

**UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**DIAGNÓSTICO, PROPUESTA DE MEJORA Y  
EVALUACIÓN DE IMPACTO PARA INCREMENTAR  
LA EFICIENCIA EN EL PROCESO DE COSTURA EN  
UNA PLANTA TEXTIL PERUANA**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Industrial

**AUTOR**

Alvaro Augusto Ludowieg Rios

**ASESORES**

Fernando Pérez Lizano (ORCID: 0000-0003-1697-7337)

Juan Carlos Bueno Villanueva (ORCID: 0000-0002-4865-8341)

Lima – Perú

2020

# TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>1. CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS</b> .....	5
<b>1.1 Objeto de estudio y enfoque</b> .....	5
<b>1.2 Problemática</b> .....	7
<b>1.3 Causas del problema</b> .....	9
<b>1.4 Objetivo general y objetivos específicos</b> .....	11
<b>2. CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1 Industria Textil</b> .....	12
<b>2.1.1 Tendencias de la Industria Textil en Países Emergentes</b> .....	12
<b>2.1.2 Tendencias de Confección y sus Principales Retos</b> .....	13
<b>2.2 Eficiencia en Plantas de Costura</b> .....	13
<b>2.2.1 Definición</b> .....	13
<b>2.2.1 Entorno</b> .....	14
<b>2.2.3 Personal</b> .....	17
<b>2.2.4 Máquina</b> .....	18
<b>2.2.4 Material</b> .....	21
<b>2.3 Tiempos de setup en costura</b> .....	22
<b>2.3.1 Definición y relevancia en la industria</b> .....	22
<b>2.3.2 SMED</b> .....	22
<b>2.3.2.1 Descripción y objetivos de SMED</b> .....	22
<b>2.3.2.2 Implementación de SMED</b> .....	23

2.3.2.4 Impacto de SMED en la industria .....	25
<b>3. CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE ORGANIZACIÓN.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Sector y productos principales .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Misión, Visión y Valores .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Descripción del proceso .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.1 Líneas de confección y estructura de equipos .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.2 Jornada Laboral y beneficios.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.3 Volúmenes de producción .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.4 Máquinas .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.4 Cambios de modelo (setups).....</b>	<b>31</b>
<b>4. CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Introducción de metodología.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Variables .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3 Diseño de metodología .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3.1 Fase 1: Análisis de líneas e ideación de propuesta.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3.2 Fase 2: Simulación, Medición y Hoja de ruta de implementación.....</b>	<b>43</b>
<b>5. CAPÍTULO 5: RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 Análisis de líneas .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1.1 Tiempos de setup en las líneas de costura de Textiles S.A.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1.2 Eficiencia en las líneas de costura de Textiles S.A.....</b>	<b>53</b>
<b>5.2 Propuesta de mejora .....</b>	<b>55</b>
<b>5.3 Simulación.....</b>	<b>58</b>
<b>5.3.1 Variables de entrada y salida .....</b>	<b>59</b>
<b>5.3.2 Flujo de simulación.....</b>	<b>62</b>
<b>5.4 Análisis de resultados de simulación.....</b>	<b>68</b>

<b>5.5 Hoja de ruta de implementación .....</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	Eficiencia de las líneas de producción en los últimos 12 meses.....	7
<b>Tabla 2.1</b>	Resumen de variables del entorno de trabajo que afectan la eficiencia.....	15
<b>Tabla 2.2</b>	Resumen de variables del personal que afectan la eficiencia .....	18
<b>Tabla 2.3</b>	Motivos de paros en las máquinas de coser .....	19
<b>Tabla 2.4</b>	Resumen de variables de paros de máquina que afectan la eficiencia.....	20
<b>Tabla 2.5</b>	Resumen de variables de material que afectan la eficiencia.....	21
<b>Tabla 2.6</b>	Ejemplo de una tabla de resultados para el paso 1 de SMED.....	24
<b>Tabla 2.7</b>	Resultados cuantitativos en la investigación de P. Naresh .....	25
<b>Tabla 3.1</b>	Detalle de máquinas y sus funciones .....	30
<b>Tabla 3.2</b>	Ejemplo de actividades en un cambio de modelo de una línea de costura en Textiles S.A .....	32
<b>Tabla 4.1</b>	Resumen de variables relevantes en la investigación .....	37
<b>Tabla 4.2</b>	Detalle de bases de dato.....	41
<b>Tabla 4.3</b>	Resumen de actividades en la fase 1 .....	43
<b>Tabla 4.4</b>	Resumen de actividades en la fase 2.....	46
<b>Tabla 5.1</b>	Tiempos externos e internos de setup por línea de costura.....	48
<b>Tabla 5.2</b>	Tiempos internos de setup promedio y número de cambios de modelo por línea de costura.....	49
<b>Tabla 5.3</b>	Resumen de líneas con mayores tiempos de setup y setup interno.....	52
<b>Tabla 5.4</b>	Eficiencia de las líneas de costura y el tiempo de setup interno total.....	54
<b>Tabla 5.5</b>	Coefficiente de correlación de Pearson entre eficiencia y tiempo de setup interno de las líneas de costura .....	55
<b>Tabla 5.6</b>	Descripción de variables de entrada de simulación .....	60
<b>Tabla 5.7</b>	Variables de entrada que varían entre líneas.....	61
<b>Tabla 5.8</b>	Descripción de los módulos de la simulación S1.....	64
<b>Tabla 5.9</b>	Descripción de los módulos de la simulación S2.....	66
<b>Tabla 5.10</b>	Descripción de los módulos de la nueva línea de la simulación S2.....	67
<b>Tabla 5.11</b>	Variable de entrada adicional para la simulación 2 .....	68

<b>Tabla 5.12</b> Registro de variables de salida para una de las repeticiones de la Línea 14.....	68
<b>Tabla 5.13</b> Valores p de las pruebas Anderson-Darling para cada una de las líneas de costura .	70
<b>Tabla 5.14</b> Valores p de las pruebas Anderson-Darling para cada una de las líneas de costura después de bootstrapping .....	70
<b>Tabla 5.15</b> Incremento de eficiencia para las 5 líneas intervenidas.....	72
<b>Tabla 5.16</b> Comparación de eficiencia entre la simulación 1 y 2 .....	72
<b>Tabla 5.17</b> Reducción de tiempos de setup interno para las 5 líneas intervenidas .....	74
<b>Tabla 5.18</b> Reducción de tiempo de setup interno – agregado y anualizado .....	75
<b>Tabla 5.19</b> Ahorro anual en horas/hombre.....	76
<b>Tabla 5.20</b> Oportunidad de ingresos adicionales por reducción de tiempo de setup interno.....	76
<b>Tabla 5.21</b> Requerimiento de horas y personal para la limpieza y clasificación de máquinas de la línea 20.....	81
<b>Tabla 5.22</b> Costo total de habilitar línea 20 .....	81
<b>Tabla 5.23</b> Horas invertidas y personal involucrado en sesiones informativas, capacitación y traslado de líneas.....	82
<b>Tabla 5.24</b> Costo en sesiones informativas, capacitación y traslado de líneas .....	83
<b>Tabla 5.25</b> Costo total de implementación.....	83

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Enfoque dentro de los procesos productivos de Textiles S.A. ....	5
<b>Figura 1.2</b> Layout de la planta de costura.....	6
<b>Figura 1.3</b> Líneas 7 y 8 de Textiles S.A.....	6
<b>Figura 1.4</b> Eficiencia Real vs. Meta de Eficiencia mensual .....	8
<b>Figura 1.5</b> Diagrama de Ishikawa .....	9
<b>Figura 1.6</b> Relación entre Eficiencia y Tiempo Invertido en Cambios de Modelo .....	10
<b>Figura 2.1</b> Visualización de los pasos de la aplicación de SMED.....	23
<b>Figura 3.1</b> Polo deportivo .....	26
<b>Figura 3.2</b> Polera deportiva.....	26
<b>Figura 3.3</b> Pantalón deportivo.....	26
Figura 3.4 Número de prendas por mes y promedio diario en el 2019.....	28
<b>Figura 3.5</b> Máquina Recta.....	29
<b>Figura 3.6</b> Máquina Remalladora .....	29
<b>Figura 3.7</b> Máquina Recubridora.....	29
<b>Figura 3.8</b> Máquina Bastera.....	30
<b>Figura 3.9</b> Máquina Tapetera.....	30
<b>Figura 3.10</b> Máquina Flat Seamer.....	30
<b>Figura 3.11</b> Máquina Atracadora .....	30
<b>Figura 4.1</b> Representación visual del tiempo de ciclo .....	34
<b>Figura 4.2</b> Fases de metodología .....	39
<b>Figura 4.3</b> Pasos a seguir en la fase 1 .....	42
<b>Figura 4.4</b> Pasos a seguir en la fase 2 .....	44
<b>Figura 5.1</b> Gráfico de tiempo de setup interno y número de cambios de modelo por línea .....	48
<b>Figura 5.2</b> Diagrama de cajas de Tiempo Total de Setup por Línea .....	50
<b>Figura 5.3</b> Diagrama de cajas de Tiempo de Setup Interno por Línea .....	51
<b>Figura 5.4</b> Diagrama de cajas de Tiempo de Setup Interno Promedio por Línea.....	52
<b>Figura 5.5</b> Gráfico de eficiencia por línea de costura .....	53
<b>Figura 5.6</b> Descripción gráfica actual de cambio de modelo en Textiles S.A.....	57
<b>Figura 5.7</b> Descripción gráfica actual de la propuesta de mejora.....	58

<b>Figura 5.8</b> Esquema de variables de entrada y salida de los escenarios de simulación 1 y 2.....	59
<b>Figura 5.9</b> Lógica del escenario 1 de la simulación.....	62
<b>Figura 5.10</b> Línea 3 del escenario 1 simulada en Rockwell Arena.....	63
<b>Figura 5.11</b> Línea 3 del escenario 1 simulada en Rockwell Arena.....	65
<b>Figura 5.12</b> Nueva línea de cambios de modelo del escenario 2 simulada en Rockwell Arena..	66
<b>Figura 5.13</b> Prueba de hipótesis Anderson Darling – Ejemplo de Línea 3 S1 .....	69
<b>Figura 5.14</b> Comparación de eficiencia en la simulación 1 y 2 para la línea 3 .....	71
<b>Figura 5.15</b> Resultado de la prueba T de dos muestras para eficiencia en S1 y S2 para la línea 3 .....	71
<b>Figura 5.16</b> Incremento de eficiencia en la línea 3 .....	73
<b>Figura 5.17</b> Incremento de eficiencia en la línea 4 .....	73
<b>Figura 5.18</b> Incremento de eficiencia en la línea 14 .....	73
<b>Figura 5.19</b> Incremento de eficiencia en la línea 15 .....	73
<b>Figura 5.20</b> Incremento de eficiencia en la línea 16.....	74
<b>Figura 5.21</b> Incremento promedio de eficiencia en las líneas intervenidas .....	74
<b>Figura 5.22</b> Reducción de tiempo de setup interno – agregado y anualizado .....	75
<b>Figura 5.23</b> Número de lotes de producción en Simulación 1 y 2.....	77
<b>Figura 5.24</b> Estado actual de la línea 20 .....	79
<b>Figura 5.25</b> Nueva distribución de líneas de costura considerando implementación .....	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Exportación de textiles del Perú en millones de USD desde el año 1998 al 2019.....	92
<b>Anexo 2</b> Proceso textil con detalle en el área de confección.....	93
<b>Anexo 3</b> Simulación 1 en Rockwell Arena.....	94
<b>Anexo 4</b> Simulación 2 en Rockwell Arena.....	95
<b>Anexo 5</b> Supuestos y limitaciones de las simulaciones.....	96
<b>Anexo 6</b> Resultados de pruebas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 3, 4 y 14 .....	97
<b>Anexo 7</b> Resultados de pruebas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 15 y 16 .....	98
<b>Anexo 8</b> Resultados de pruebas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 3, 4, 14 y 15 después de bootstrapping.....	99
<b>Anexo 9</b> Resultado de pruebas 2t para la eficiencia de las líneas 3, 4, 14, 15 y 16 .....	100
<b>Anexo 10</b> Resumen de resultados obtenidos al implementar la mejora en las líneas 3, 4, 14, 15 y 16.....	101

## **RESUMEN**

Esta investigación tiene como objetivo proponer un proyecto de mejora en el proceso de costura de una planta textil para incrementar su eficiencia. El enfoque principal para lograr este objetivo es reducir el tiempo de setup interno de las líneas de costura. Siguiendo la metodología SMED, se simuló la existencia de una nueva línea de costura destinada únicamente a realizar actividades de setup. Al simular este nuevo escenario y analizar los resultados, se logró calcular el potencial impacto que la implementación de esta nueva línea podría generar. Considerando las 5 líneas más críticas de la planta, se logró un incremento en la eficiencia de las líneas de por lo menos 1.9%. Así mismo, se logró trasladar 371 horas de setup interno a setup externo. Esta cantidad de horas corresponde a la elaboración de aproximadamente 23,543 prendas básicas, lo que generaría un ingreso adicional anual de S/. 391,600.

### **PALABRAS CLAVE:**

Setup, Tiempo de setup, SMED, Eficiencia en costura

## **ABSTRACT**

# **DIAGNOSIS, IMPROVEMENT PROPOSAL AND IMPACT ANALYSIS TO INCREASE PRODUCTIVITY IN A PERUVIAN SEWING PLANT**

This thesis aims to propose an improvement project in the sewing process of a textile plant to increase its productivity. The main approach to achieving this goal is to reduce the production lines' internal setup time. Following the SMED methodology, the existence of a new sewing line destined only to carry out setup activities was simulated. By simulating this new scenario and analyzing the results, it was possible to calculate the potential impact that the implementation of this new line could generate. Considering the 5 most critical lines in the plant, the productivity increased in at least 1.9%. Also, 371 hours of internal setup were managed to be transferred to external setup. This number of hours corresponds to the production of approximately 23,543 basic shirts, which would generate an additional annual income of S/. 391,600.

### **KEYWORDS:**

Setup, Setup Time, SMED, Productivity in a sewing plant

# INTRODUCCIÓN

En Sudamérica, Perú es el país con mayores volúmenes de producción textil. Parte de esto se atribuye a la ventajosa materia prima como la fibra de alpaca y el algodón Tangüis [1]. En el 2017, las exportaciones de la industria textil en el Perú ascendieron a \$ 1,271 millones de dólares americanos, representando el 3% de las exportaciones totales. [2], [3].

Las exigencias en la industria son cada vez mayores y algunas de las tendencias en el sector son: reducción del ciclo de la moda, acortamiento del tiempo de entrega, precios competitivos, productos de alta calidad, ambientes laborales respetuosos y responsabilidad social y ambiental [4]. El crecimiento del segmento fast fashion impulsa la relevancia de las primeras tres tendencias.

En esta investigación, se tiene como objetivo principal, proponer, en el contexto de una fábrica textil peruana, Textiles S.A, un proyecto de mejora que incremente la eficiencia en el proceso de confección. Esta empresa se ha logrado posicionar en el mercado internacional teniendo clientes que son 95% marcas estadounidenses de moda deportiva pertenecientes al segmento fast fashion.

En este contexto, se define la eficiencia de una línea de costura como el cociente de la producción real alcanzada por la línea y la producción esperada de la línea según el tiempo estándar en un determinado periodo. Uno de los principales factores que afectan la eficiencia en el proceso de confección es el tiempo interno de setup. El tiempo de setup, o también llamado tiempo de calibración de máquina, se entiende como el “tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza satisfactoria de una serie hasta la obtención de la primera pieza satisfactoria de la serie siguiente” [5]. En el caso de una planta de costura, una pieza satisfactoria sería una prenda terminada. El setup externo refiere a las actividades del proceso de setup que se pueden desarrollar mientras las máquinas siguen encendidas. El setup interno se refiere a aquellas actividades que requieren que las máquinas estén detenidas [6].

Al hacer un diagnóstico en Textiles S.A, se determinó que el tiempo de setup interno promedio es de 3 horas y en las líneas más críticas, se llegan a realizar hasta 26 setups en un año. El objetivo para aumentar la eficiencia en Textiles S.A es proponer un proyecto que logre reducir

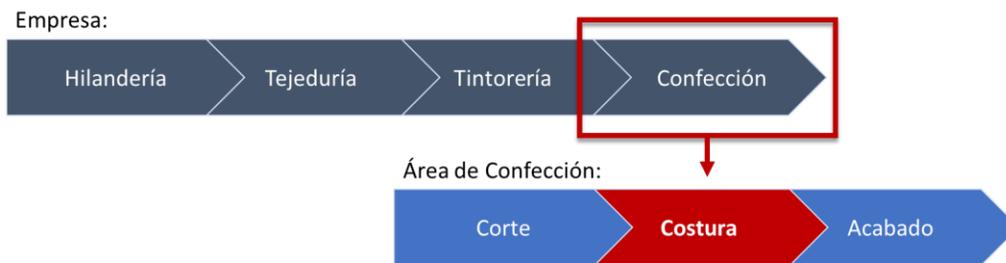
el tiempo interno de setup. La hipótesis es que, si se lograba trasladar parte del setup interno a externo, se logrará por tanto aumentar la eficiencia.

El informe se divide en 5 capítulos. El primero presenta la problemática de Textiles S.A y detalla el objetivo principal y los objetivos específicos de la investigación. En el segundo capítulo se explora la literatura que dará pie y sustento a la hipótesis de la investigación. Se describen tendencias de la industria, detalles específicos y técnicos de relevancia y ejemplos en la literatura de abordajes similares a los que se propone en este trabajo. El capítulo que le sigue describe la organización Textiles S.A. Se hace un resumen de su naturaleza y procesos más relevantes para el entendimiento del trabajo. A continuación, en el siguiente capítulo, se describe la metodología que sigue esta investigación. Se explican a detalle las variables y la secuencia de pasos que se propone seguir para validar la hipótesis en cuestión. El quinto y último capítulo tiene el objetivo de presentar los resultados de la investigación, no solo los resultados técnicos de la simulación sino también el impacto financiero de esta propuesta para Textiles S.A.

# CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y OBJETIVOS

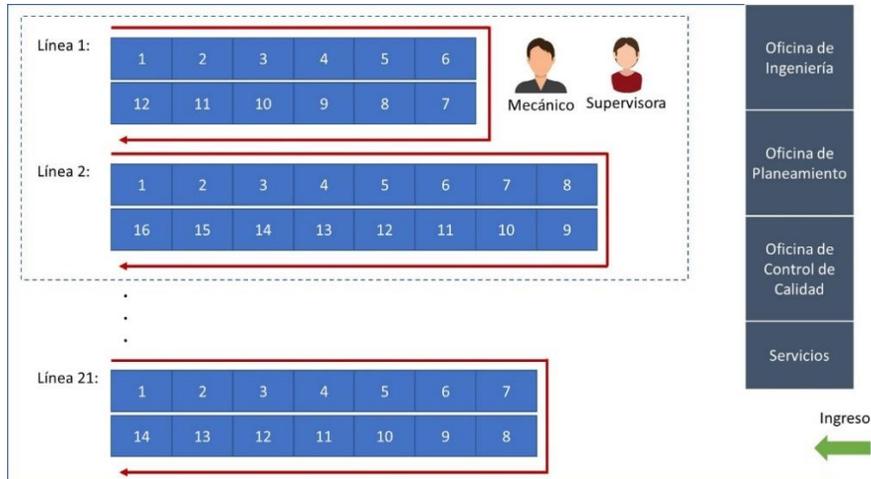
## 1.1 Objeto de estudio y enfoque

Textiles S.A. es una empresa peruana dedicada a la industria textil y confección de prendas de vestir ubicada en Los Olivos, Lima, Perú. Con más de 50 años de experiencia, se ha logrado posicionar en el mercado internacional teniendo clientes que son 95% marcas estadounidenses de moda deportiva. La empresa responde a las órdenes que colocan sus clientes y programa su producción de acuerdo a los requerimientos, operando así en un sistema *pull* con *lead times* de entre 60 y 120 días. Como se observa en la figura 1.1, la fábrica cuenta con toda la cadena productiva de las prendas, desde la hilandería, tejeduría, tintorería, hasta la confección de las prendas. Mensualmente se producen, aproximadamente 136,000 prendas sin mayor estacionalidad. En esta investigación, el foco estará en el proceso de confección. Precisamente, en el proceso de costura dentro del área de confección.



**Figura 1.1** Enfoque dentro de los procesos productivos de Textiles S.A.  
Fuente: Elaboración propia

Se escogió el enfoque en este proceso ya que es altamente manual y la falta de automatización sugería un alto potencial de mejoras. El proceso de costura concentra el 37% de los operarios de toda la empresa. La planta tiene 21 celdas de costura en forma de U – llamadas internamente líneas de costura - y cada una cuenta con entre 12 y 16 operarias. En promedio, se asignan 13 operarias por línea. Estas operan distintas máquinas de coser en un proceso continuo y secuencial. Las líneas se separan en dos sectores, una de 8 y otra de 13 líneas. Cada uno tiene un Jefe de Sector quien reporta al Jefe de Ingeniería y al Jefe de Confección. Además, se tiene un supervisor y un mecánico cada 2 líneas. Considerando todos estos cargos, el área de costura tiene 29 empleados y 277 operarios.



**Figura 1.2** Layout de la planta de costura  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 1.2 se pueden observar el *layout* de la planta de costura. El recuadro en líneas punteadas resalta las líneas de costura 1 y 2, la primera con 12 máquinas de coser y la segunda con 16 máquinas de coser. Esto no necesariamente significa que tienen 12 y 16 operarias respectivamente ya que una sola operaria puede estar encargada de más de una máquina de coser. Esto dependerá del tipo de proceso y la programación de la línea. Las flechas rojas muestran el flujo de cada una de las líneas en forma de U. También se muestra que un mecánico y una supervisora están encargados de ambas líneas. Las líneas tienen esta misma composición desde la primera hasta la número 21. En uno de los extremos están ubicadas las oficinas de ingeniería, planeamiento y control de calidad. Así mismo, los servicios que colindan con el ingreso de la planta. En la figura 1.3 se logran observar las líneas 7 y 8 de Textiles S.A.



**Figura 1.3** Líneas 7 y 8 de Textiles S.A.  
Fuente: Foto propia

## 1.2 Problemática

Textiles S.A. mide la eficiencia de cada una de las líneas y compara estos resultados mes a mes con sus metas. La eficiencia se calcula como:  $\frac{\text{Producción real}}{\text{Producción esperada}}$ . Para determinar la producción esperada, se utiliza el siguiente cálculo:  $\frac{t_{\text{turno}}}{t_{\text{estandar}}} * n_o$

Donde  $t_{\text{turno}}$  es el tiempo total en minutos que dura un turno de trabajo,  $t_{\text{estandar}}$  es el tiempo estándar en minutos que debería demorar un operario en producir una prenda y  $n_o$  es el número total de operarias en la línea.

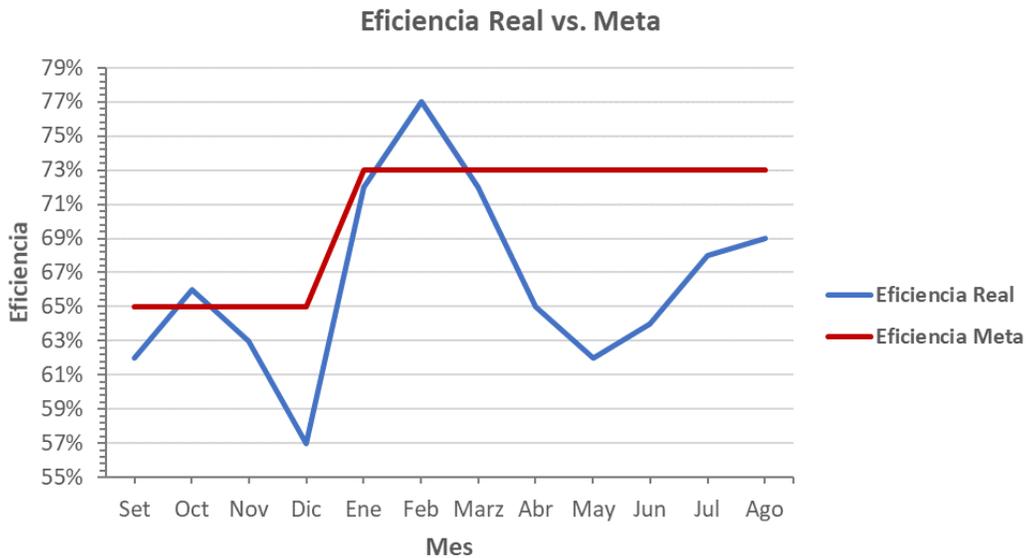
Una vez se planifica cuántas operarias estarán encargadas de la línea, se realiza un balance de línea. Esto significa, asignar una o más operaciones a cada una de las operarias.

En los últimos 12 meses, la eficiencia promedio de las líneas de costura se ha mantenido en un 66%, con un máximo de 77% en el mes de febrero y un mínimo de 57% en el mes de diciembre. La meta de eficiencia en el 2018 fue 65% mientras en el 2019 subió a 73%.

En la tabla 1.1 se puede observar estos resultados desde el mes de setiembre del 2018 hasta el mes de agosto del 2019. Se considera la brecha de eficiencia como la resta entre la eficiencia real y la meta de eficiencia:

Líneas de Costura	2018				2019								Promedio
	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	
Eficiencia Real	62%	66%	63%	57%	72%	77%	72%	65%	62%	64%	68%	69%	66%
Meta de Eficiencia	65%	65%	65%	65%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	73%	70%
Brecha de Eficiencia	-3%	1%	-2%	-8%	-1%	4%	-1%	-8%	-11%	-9%	-5%	-4%	-4%

**Tabla 1.1** Eficiencia de las líneas de producción en los últimos 12 meses  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 1.4** Eficiencia Real vs. Meta de Eficiencia mensual  
Fuente: Elaboración propia

El cumplimiento mensual de las metas de eficiencia se puede visualizar en la figura 1.4. Se puede observar que la eficiencia real solo supera la meta en el mes de octubre del 2018 y en el mes de febrero del 2019. Es decir, de los últimos 12 meses, solo en 2 se logró superar la meta. La diferencia entre la línea roja y la línea azul representa la brecha de eficiencia en un determinado mes. Este análisis da evidencia que la producción real no está llegando a los niveles esperados por la gerencia de la planta.

Esto significa un gran problema para Textiles S.A. ya que una caída de 1% en eficiencia representa un sobrecosto en horas extra de aproximadamente S/. 26,000 mensuales. Es decir, esa brecha de 4% de eficiencia en los últimos 12 meses significó un sobrecosto de cerca de S/. 1,248,000.

### 1.3 Causas del problema

Para analizar las principales causas de la problemática, se realizó un diagrama Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto. En la figura 1.5 podemos observar las causas en 6 grupos: hombre, máquina, entorno, material, método y medida:

Ishikawa – diagrama de causa-efecto

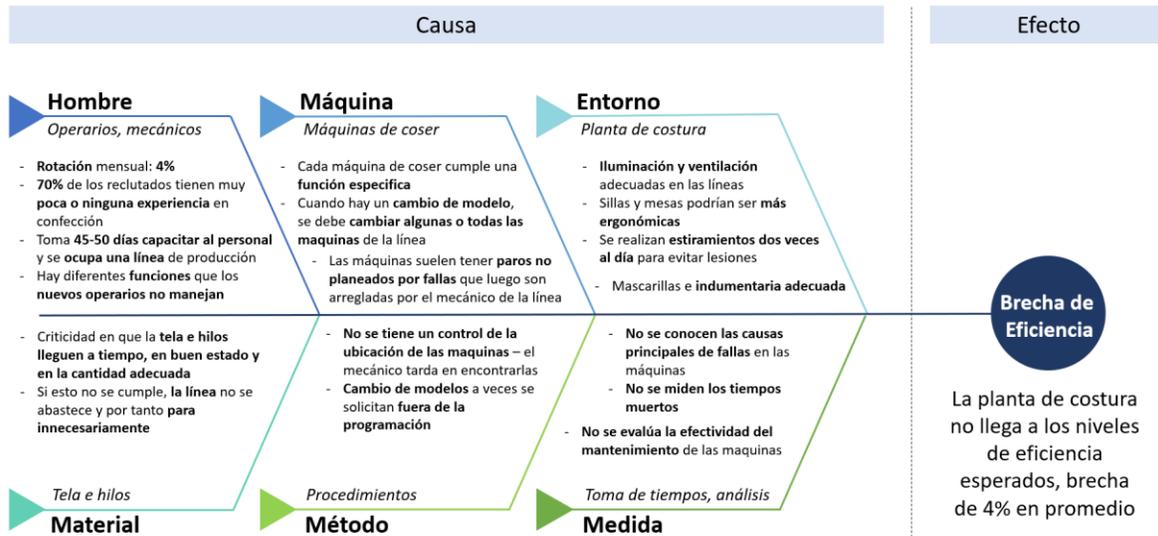
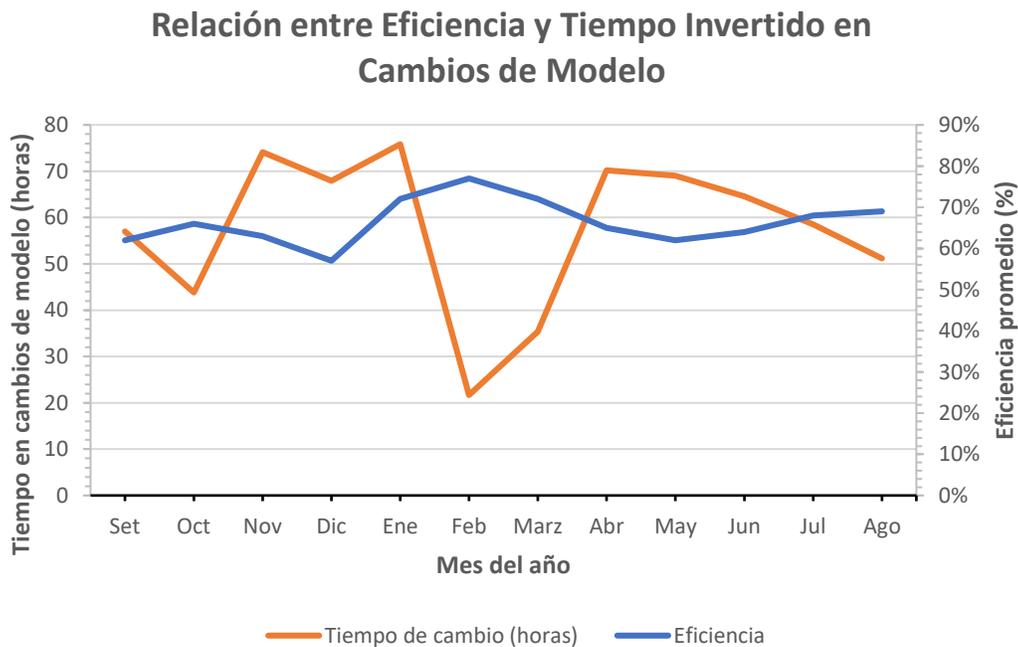


Figura 1.5 Diagrama de Ishikawa  
Fuente: Elaboración propia

Según una observación exhaustiva del proceso de costura, las principales causas de esta brecha son: tiempos de setup, paros de máquina no planificados, errores en la carga de materia prima, reprocesos por calidad, capacitación del personal por rotación constante, ausentismo y ergonomía. Si bien existen varias causas que explican este fenómeno, se priorizarán aquellas relacionadas a la dimensión máquina. Dentro de esta, resaltan dos principales. La primera es el tiempo invertido en los cambios de modelo – tiempo de setup. Los clientes de moda deportiva están constantemente cambiando de modelos y estilos. Esto significa que hacen ordenes constantes a Textiles S.A. con lotes menores a los que hacen marcas que no son de moda. Esto implica que en Textiles S.A. se debe intervenir constantemente en las líneas de confección para cambiar de máquinas de coser y hacer ajustes para que estas respondan a los requerimientos cambiantes del cliente. Esto es particularmente complicado ya que no se tiene un control de la ubicación de las máquinas en la planta. Es decir, los mecánicos pierden una buena cantidad de tiempo buscando las

máquinas que necesitan para abastecer una determinada línea. Mientras esto ocurre, las líneas de costura están detenidas, en promedio, por 3 horas. La segunda causa más relevante son los tiempos muertos en las líneas debido a fallas en las máquinas de coser. Al existir un mecánico asignado cada dos líneas esto sugiere que constantemente las máquinas tienen fallas y ellos se encargan de repararlas. Sin embargo, la empresa no registra que tipo de fallas son estas y cuánto tiempo estuvieron realmente paradas. Esto también dificulta realizar un análisis detallado ya que se tendría que invertir meses en recolectar datos.

Nos enfocaremos en el primer factor por tres motivos. En primer lugar, es una problemática bastante relevante en la compañía. El tiempo de setup explica aproximadamente un 9% de las ineficiencias de la planta. En la figura 1.6, se puede notar la relación entre la eficiencia y el tiempo invertido en cambios de modelo (o tiempo de setup) en los últimos 12 meses. Se puede ver que, con excepción del mes de diciembre, los picos en el tiempo invertido en cambio de modelo corresponden a los puntos mínimos de eficiencia y viceversa. Esto sugiere una relación entre menor eficiencia a mayor tiempo de setup. Sin embargo, existen meses como octubre, que teniendo un menor tiempo de setup que enero, tiene una eficiencia más baja. Esto se debe a que el tiempo invertido en cambio de modelo, no es el único que está afectando la eficiencia.



**Figura 1.6** Relación entre Eficiencia y Tiempo Invertido en Cambios de Modelo  
Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, los clientes de la empresa tienden a acortar su ciclo de moda haciendo pedidos más seguidos e incluyendo más tipos de modelos (SKU's) en sus pedidos. La estrategia de Textiles S.A tiene prevista seguir ampliando su cartera de clientes de moda deportiva. Por tanto, se espera que esta tendencia continúe y por consecuencia, el tiempo de setup cobrará más relevancia en la operación. En tercer lugar, al observar la secuencia de pasos de setup dentro de la planta, se detectan muchos procedimientos con potenciales mejoras. Por lo tanto, se espera que la propuesta de mejora genere un impacto relevante.

## **1.4 Objetivo general y objetivos específicos**

### **Objetivo General**

El objetivo general de esta investigación es proponer un proyecto de mejora en el proceso de costura de una planta textil para incrementar su eficiencia.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar un diagnóstico para identificar posibles causas de las ineficiencias en la planta de costura
- Determinar los factores principales vinculados a las ineficiencias de la planta de costura
- Desarrollar una propuesta de mejora y hacer simulaciones de la propuesta
- Hacer un análisis cuantitativo de las simulaciones para hallar el impacto que esta mejora generaría
- Identificar factores a considerar para la implementación de la propuesta

# CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

## 2.1 Industria Textil

### 2.1.1 Tendencias de la Industria Textil en Países Emergentes

La industria textil es el sector dedicado al diseño y fabricación de hilos, telas y prendas de vestir. La materia prima puede ser natural, como el algodón, o sintética, como el nylon. En el 2017, las exportaciones de esta industria a nivel global ascendieron a \$ 751,000 millones de USD. Es decir, un 4.2% de las exportaciones totales [7], [8].

El sector textil busca aumentar su beneficio económico mediante la deslocalización. Esto quiere decir, ubicar procesos del negocio en distintos lugares del mundo. Es muy usual que la producción de hilos y telas, así como la confección, se realice en países emergentes. Por ejemplo, mucha de la producción se hace en países como China, India, Bangladesh, Turquía, Pakistán, entre otros. Estos países son atractivos debido a sus bajos costos de mano de obra y cercanía a materias prima [9].

En Sudamérica, Perú es el país con mayores volúmenes de producción textil. Parte de esto se atribuye a la ventajosa materia prima como la fibra de alpaca y el algodón Tangüis [1]. En el 2017, las exportaciones de la industria textil en el Perú ascendieron a \$ 1,271 millones de USD, representando el 3% de las exportaciones totales. Al rededor del 49% de estas exportaciones se dirigieron a Estados Unidos [2], [3]. El crecimiento de las exportaciones se puede ver año a año en el Anexo 1 [10], donde notamos que hay una caída en el 2009 debido a la crisis económica de Estados Unidos del año 2008 y otra caída desde el año 2013 hasta el 2016 principalmente debido a la crisis política que sufre Venezuela, país que en el 2014 era el segundo en cuanto a volúmenes de exportación y hoy las exportaciones con dicho país no superan ni los 3 millones de USD [11].

Las exigencias en el sector textil son cada vez mayores. En la actualidad, algunas de las tendencias en el sector son: reducción del ciclo de la moda, acortamiento del tiempo de entrega, precios competitivos, productos de alta calidad, ambientes laborales respetuosos y responsabilidad social y ambiental [4].

### **2.1.2 Tendencias de Confección y sus Principales Retos**

La confección textil comprende los procesos de corte, costura y acabado de las prendas de vestir. Más detalle en el Anexo 2. La confección, en especial la costura, suele ser un sector intensivo en mano de obra donde la remuneración de los operarios está incluso por debajo que el de operarios que realizan funciones similares dentro de la producción textil [12]. Además, los operarios suelen sufrir problemas de salud debido al alto esfuerzo físico y a la alta presión laboral [13].

Los operarios en plantas de costura son principalmente hombres y mujeres sin títulos profesionales. Dado el creciente interés por crecer académicamente obteniendo títulos profesionales o técnicos en países emergentes, y el aumento en las opciones de empleos, cada vez la costura se vuelve menos atractiva. El bajo pago y los problemas de salud mencionados previamente contribuyen a la caída en popularidad de este tipo de empleos.

La productividad es uno de los principales retos en las plantas de confección. La propagación de tiendas de fast fashion con más de 10 colecciones anuales representan un gran desafío para los productores [14]. Tener más colecciones anuales significa un mayor reto en cuanto a la preparación de las líneas de producción, instrucción y curva de aprendizaje del personal, consistencia en la calidad del producto final, entre otros. Estos desafíos afectan directamente la productividad de la planta.

El acelerado comportamiento de compra de los consumidores está haciendo que la industria textil esté viendo el comienzo de un cambio sísmico donde los productos están siendo “jalados” al mercado en lugar de ser “empujados” en base a los pronósticos [15].

## **2.2 Eficiencia en Plantas de Costura**

### **2.2.1 Definición**

Cuando se habla de un proceso industrial, una mejora en eficiencia se refiere a producir una mayor cantidad de productos con la misma cantidad de recursos o usar menos recursos para producir la misma cantidad de productos [16]. Si consideramos una línea de costura cuyo producto final es un polo de vestir, los recursos empleados podrían ser: tiempo, algodón, polyester,

máquinas, operarios, entre otros. Usar una menor cantidad de alguno o más de uno de estos recursos para producir un polo sería incrementar la eficiencia. En la industria textil, la eficiencia es uno de los principales determinantes de crecimiento económico [17]. “En costura, la eficiencia es el principal indicador de planta y afecta directamente a la utilidad de la compañía; por lo tanto, cualquier intento de mejora se verá reflejado en los resultados al final de cada periodo” [18].

La eficiencia de una línea de producción usualmente se define como la relación entre el tiempo requerido teóricamente para realizar la operación y el tiempo real empleado [19].

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{tiempo teórico}}{\text{tiempo empleado}}$$

El tiempo empleado en elaborar un producto se conoce como tiempo de ciclo. Este tiempo se entiende como la sumatoria de todos los tiempos empleados en el proceso de producción desde que empezó hasta que terminó. Esto incluye tiempo de producción, tiempos de setup, tiempos muertos, entre otros. El tiempo teórico se refiere a cuanto demoraría esta operación si no hubiese paras en el proceso. Es decir, un proceso sin ninguna interrupción de principio a fin.

Existen muchos factores que afectan la eficiencia de una línea de costura. Por este motivo, las separaremos en 4 de las dimensiones del modelo ishikiawa: entorno, personal, máquinas y material.

### **2.2.1 Entorno**

El entorno en una planta de costura puede tener mucha relevancia en el desempeño de los operarios. Las condiciones de trabajo, como, por ejemplo, iluminación, sonido, temperatura, ventilación, limpieza, entre otras, pueden determinar parte de la eficiencia de la planta. La ergonomía también es un aspecto fundamental dentro del entorno de trabajo. Esto refiere a la disciplina que adecua los puestos de trabajo a las características físicas y psíquicas del personal que ha de ocuparlos [20].

Tomando en cuenta la literatura referente a las variables del entorno de trabajo que pueden afectar la eficiencia del mismo, se elaboró la tabla 2.1 con el resumen [21], [22].

<b>Dimensión</b>	<b>VARIABLES RELEVANTES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Iluminación</b>	• Intensidad de luz	• LUX
	• Distribución de luz (intensidad equitativa)	• LUX
	• Proporción de iluminación natural (ventanas) y artificial	• N/A
<b>Sonido</b>	• Intensidad de ruido	• dB
	• Intensidad de música	• dB
<b>Temperatura</b>	• Temperatura del ambiente	• °C
	• Humedad relativa	• %
<b>Ventilación</b>	• Temperatura del aire	• °C
	• Velocidad de aire	• m/s
<b>Ergonomía</b>	• Postura: altura de mesa, altura de silla, alcance de brazo, etc.	• cm
	• Postura: inclinación de espalda, inclinación de cuello	• °
	• Diseño: personas/m <sup>2</sup> , mesas/m <sup>2</sup> , etc.	• N/A
	• Diseño: distancia de pasillos, distancia entre operarios, etc.	• m

**Tabla 2.1** Resumen de variables del entorno de trabajo que afectan la eficiencia  
Fuentes: [20],[21],[22],[23],[24],[25]

“La iluminación, es uno de los elementos de los cuales depende la eficiencia laboral. El grado de iluminación debe responder al tipo de trabajo que se ejecuta” [22]. Esta iluminación puede ser natural (proveniente de una ventana) o artificial (proveniente de un equipo de luz eléctrica). La iluminación debe encontrarse en los rangos aceptables para que el operario pueda, sin tener que forzar los ojos, tener una clara visibilidad del trabajo que está realizando. En una planta de costura, no hacer esto correctamente puede incrementar la incidencia de accidentes.

“El ruido es un elemento perturbador, estresor, que imposibilita o dificulta la realización de una tarea” [23]. En una planta de costura, las fuentes de ruido pueden ser: máquinas, operarios, elementos de transporte interno, entre otros. Incluso, muchas plantas de costura ponen música para intentar crear un ambiente de trabajo armonioso. Es importante medir todos esos sonidos y sus intensidades y asegurar que estén dentro de los rangos aceptables y permitidos.

La temperatura y ventilación puede ser relevante en el confort y salud del operario y por tanto en su eficiencia. El excesivo calor, por ejemplo, produce fatiga, mientras el excesivo frío, afecta la sensibilidad táctil [24]. En una planta de costura esto puede ocasionar mayor ausentismo, menor nivel de producción y mayor incidencia de productos defectuosos. Cada una de estas impactará negativamente en la eficiencia de la planta.

Al igual que en el caso de la iluminación y sonido, es importante analizar las condiciones médicas individuales de los operarios. En caso tengan algún problema visual, auditivo, respiratorio u otro, las medidas del caso tienen que ser tomadas para que el ambiente de trabajo no ocasione agravar estas condiciones.

En la ergonomía se considera el diseño general del espacio de trabajo. Es importante notar que las dimensiones de la persona y de los equipos que manipula determinarán qué tan cómodo esta persona se sienta a la hora de elaborar sus tareas. Por ejemplo, si una planta de costura tiene operarios de distintas alturas y distintas dimensiones (alcance de brazo, tamaño de piernas, etc) y a todos se les da una silla de trabajo que no es regulable, algunos estarán en una postura más adecuada que otros. Una mala postura en el trabajo puede resultar en lesiones graves. Por ejemplo, lesiones en la columna vertebral [25]. Esto, sin duda generaría mayor ausentismo y menos eficiencia en una planta de costura.

### 2.2.3 Personal

Las variables que afecten el desempeño del personal afectarán directamente la eficiencia de la planta. Como Robbins y Judge mencionan en su investigación del comportamiento organizacional, “los altos índices de rotación y ausentismo afectan los niveles de productividad en las empresas” [26]. En la industria textil (basado en la experiencia mexicana) ambos índices varían entre 5% y 7% en la mayoría de empresas. Este alto porcentaje comparado con otras industrias hace difícil el cumplimiento de las metas de productividad [27]. Las tasas de rotación y ausentismo pueden variar por muchos motivos. Principalmente son afectados por poca calidad de vida laboral y reconocimiento en el trabajo [28].

Otro gran componente que puede ser determinante en la eficiencia de una planta de costura es la capacitación de los empleados. Primero, un empleado poco capacitado no va a llegar a los niveles de productividad deseados. Además, en costura, se usan líneas de producción para entrenamiento de personal o de nuevo personal. Esto significa un uso de recursos productivos, pero sin lograr el fin: la producción de una prenda. Distintos estudios, como por ejemplo el de Robles y Hernández, muestran estadísticamente cómo empresas que realizan mayor nivel de capacitación logran mejores niveles de productividad [29]. Se elaboró la tabla 2.2 con el resumen de variables relevantes.

<b>Dimensión</b>	<b>Variables relevantes</b>	<b>Unidades</b>
<b>Rotación</b>	• Rotación mensual del personal	• %
	• Rotación anual del personal	• %
<b>Ausentismo</b>	• Ausentismo diario del personal	• %
	• Ausentismo semanal del personal	• %
<b>Capacitación</b>	• Inversión anual en capacitación	• %

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveles de capacitación del personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escala (1-3)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo en entrenar un nuevo operario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Días</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo en entrenar un nuevo mecánico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Días</li> </ul>

**Tabla 2.2** Resumen de variables del personal que afectan la eficiencia  
Fuentes: [26], [27], [28], [29]

En textiles, muchas veces hay operarios más experimentados que otros. Esto suele estar relacionado al nivel de experiencia realizando la tarea en cuestión y el tiempo que tiene en la empresa. Para diferenciarlos, se separan en diferentes categorías. Por ejemplo: principiantes, intermedios y expertos. Cuando un empleado llega sin ningún nivel de experiencia, se le capacita por varios días hasta que llegue a ese primer nivel. Esto explica las variables en la dimensión de capacitación.

#### **2.2.4 Máquina**

En la operación de costura de una planta textil, se usan distintos tipos de máquinas que cumplen diferentes tareas. Esto suele ser un proceso manual así que el funcionamiento de las máquinas dependerá de los operarios manejándolas. Se entiende que cualquier momento en el que las máquinas no están elaborando su función, ese tiempo contribuye a la ineficiencia del proceso.

Algunos de los motivos por los que paran las máquinas de coser son: falla en máquina, cambio de modelo, inspección y revisión de prenda, paro por descanso de operarios, paro planeado por mantenimiento y espera de proceso dependiente. Se elaboró la tabla 2.3 con el resumen de los motivos de paro más comunes.

<b>Motivo de paro</b>	<b>Explicación</b>
<b>Falla en máquina</b>	Las máquinas de coser suelen tener problemas técnicos. Por ejemplo, se rompe una aguja, se descalibra, etc. Ante estas eventualidades, el operario deja de realizar su tarea y un mecánico interviene para arreglar la máquina.
<b>Cambio de modelo</b>	Cuando una línea de costura va a cambiar de prenda de producción, la línea se tiene que adecuar para poder ejecutar el nuevo modelo de prenda. Esto puede requerir: trasladar máquinas, trasladar personal, calibrar máquinas, realizar pruebas, entre otros.
<b>Inspección y revisión de prenda</b>	En muchas empresas, los operarios de costura tienen la tarea de hacer una revisión del elemento que reciben y una posterior inspección del elemento cuando la tarea ha sido realizada. En estos momentos, las máquinas están paradas.
<b>Descanso de operarios</b>	Cuando los operarios tienen recreos o hora de refrigerio, suelen trasladarse a otra área de la planta y dejar la línea de costura sin funcionamiento.
<b>Mantenimiento</b>	En las plantas de costura donde se trabaja las 24 horas del día, se tienen que programar paros de producción para realizar el mantenimiento de las máquinas.
<b>Espera de proceso dependiente</b>	Cuando las líneas de costura trabajan en celdas, las tareas de un operario dependen del anterior. Por ello, sucede que uno de los operarios puede estar esperando que su compañero termine su tarea para el poder recién empezar la suya.

**Tabla 2.3** Motivos de paros en las máquinas de coser  
Fuente: Trabajo de campo propio en Textiles S.A.

Cada uno de estos motivos tiene una o más variables que afectan en el tiempo de producción. Por este motivo, afectan directamente en la eficiencia de las líneas. Se elaboró la tabla 2.4 con el resumen de las variables relevantes.

<b>Dimensión</b>	<b>Variables relevantes</b>	<b>Unidades</b>
<b>Falla en máquina</b>	• Tiempo en reportar incidente	• Min
	• Tiempo transcurrido desde que se reporta la falla hasta que se resuelve	• Min
<b>Cambio de modelo</b>	• Tiempo de setup interno	• Min
	• Tiempo de setup externo	• Min
<b>Inspección y revisión de prenda</b>	• Tiempo de revisión	• Seg
	• Tiempo de inspección	• Seg
<b>Descanso de operarios</b>	• Tiempo de refrigerio	• Min
	• Tiempo de recreos por día	• Min
<b>Mantenimiento</b>	• Frecuencia de mantenimiento anual	• N/A
	• Tiempo en realizar mantenimiento	• Min
<b>Espera de proceso dependiente</b>	• Tiempo de espera de operarios	• Min

**Tabla 2.4** Resumen de variables de paros de máquina que afectan la eficiencia  
Fuente: Trabajo de campo propio en Textiles S.A.

## 2.2.4 Material

En la operación de costura de textiles, la carga de materias primas puede traer algunas ineficiencias. No solo por el tiempo que puede demorar suministrarlas sino también por incremento de mermas y problemas de calidad. El proceso de costura empieza con el suministro de telas. La calidad (grosor, uniformidad, etc.) de estas telas pueden afectar la incidencia de errores en la costura del producto final.

Como menciona Kaya Serpil en su investigación de calidad en una planta de costura, las plantas buscan reducir su tasa de defectos para ser más competitivos en el mercado [30]. Tener fallas en la calidad de una prenda en costura significa que todo el proceso se debe volver a ejecutar. Esto alarga el tiempo de ciclo y por tanto afecta la eficiencia de la planta. Se elaboró la tabla 2.5 con el resumen de las variables relevantes.

<b>Dimensión</b>	<b>VARIABLES RELEVANTES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Calidad</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Porcentaje de prendas que no pasaron control de calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• %</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo invertido en control de calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Min</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo invertido en reprocesos por problemas de calidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Min</li></ul>
<b>Suministro de materia</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo en reprocesos por errores en el suministro de materia prima</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Min</li></ul>

**Tabla 2.5** Resumen de variables de material que afectan la eficiencia  
Fuente: [30], [31]

Estos problemas de calidad mencionados en la tabla 6 generan sobre costos en el personal de calidad y los operarios de costura [31]. Es así como tienen una relación directa con la eficiencia de las líneas.

## **2.3 Tiempos de setup en costura**

### **2.3.1 Definición y relevancia en la industria**

El tiempo de setup o también llamado tiempo de calibración de máquina se entiende como el “tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza satisfactoria de una serie hasta la obtención de la primera pieza satisfactoria de la serie siguiente” [5]. En el contexto de una planta de costura, una pieza satisfactoria sería una prenda terminada. Cuando una línea de costura termina la fabricación de uno de sus modelos, comienza el tiempo de setup, en el que mecánicos intervienen la línea para adecuarla para la costura del siguiente modelo.

El setup externo refiere a las actividades del proceso de setup que se pueden desarrollar mientras las máquinas siguen encendidas. El setup interno se refiere a aquellas actividades que requieren que las máquinas estén detenidas [6]. Una reducción en el tiempo de setup se enfoca en reducir o eliminar actividades que no agregan valor durante el proceso de setup [32].

En la actualidad, la manufactura requiere alta variedad de productos en cantidades reducidas [32]. Por ejemplo, en textiles, las marcas de moda, requieren cada vez más modelos en menores cantidades. Esto genera pedidos más pequeños a las empresas de costura y por tanto esto incrementa el tiempo de setup [33]. Reducir el tiempo de setup puede incrementar la eficiencia de la compañía [34]. Es por esto, que analizar el tiempo de setup es relevante en esta investigación.

Para entender cómo se puede abordar un proyecto de mejora en el tiempo de setup, es importante revisar la literatura una de las herramientas de la metodología de lean Manufacturing llamada SMED.

### **2.3.2 SMED**

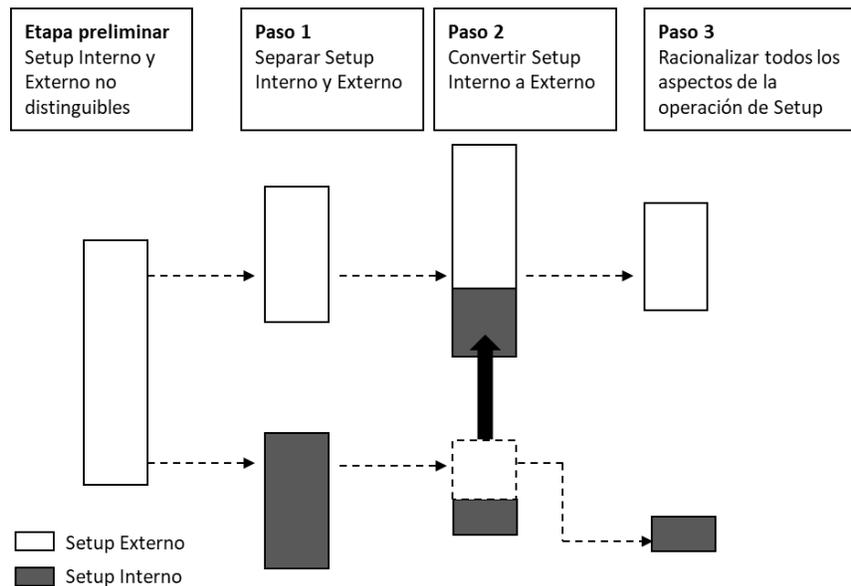
#### **2.3.2.1 Descripción y objetivos de SMED**

SMED (Single Minute Exchange of Die) es una herramienta que tiene como objetivo reducir el tiempo de cambio de herramientas a un solo dígito de minutos. Es decir, que ningún tiempo de setup debería durar más de 9 minutos. En la industria de fabricación de prendas de vestir, SMED se puede aplicar en toda la cadena de suministro, desde la planta de tejido, la planta de

costura hasta el acabado y el embalaje de las prendas. Sin embargo, la aplicación más exitosa de SMED es reducir el tiempo de setup para adaptar la línea de costura de un estilo a otro [35].

### 2.3.2.2 Implementación de SMED

Existen 3 pasos para la implementación de SMED. En la figura 2.1 se describen estos pasos visualmente.



**Figura 2.1** Visualización de los pasos de la aplicación de SMED  
Fuente: [36], Traducción propia

Paso 1: Observar el proceso y separar setup interno y externo - En este paso, se debe observar a detalle el proceso de setup. Para esto, una buena herramienta es filmar todo el proceso de inicio a fin. El setup externo se refiere al tiempo que se invierte en ajustes mientras las máquinas siguen encendidas y el proceso está fluyendo. El setup interno, por el contrario, hace referencia al tiempo invertido cuando las máquinas están apagadas. Se debe observar qué proporción del tiempo total de setup representa el interno para luego intentar minimizarlo o volverlo parte del setup externo. Se debe tener como resultado una tabla con todas las actividades realizadas, a qué tipo de setup corresponden en la actualidad y cuánto tiempo tardaron en minutos. Un ejemplo de esta se puede observar en la tabla 2.6.

#	Actividad	Tipo de Setup	Tiempo (minutos)
1	Programación del layout de la línea	Externo	120
2	Mecánico busca las herramientas y máquinas necesarias según el programa	Interno	60
3	Cambio de máquinas de coser	Interno	50
4	Ajustes de aguja en las nuevas máquinas	Interno	30

**Tabla 2.6** Ejemplo de una tabla de resultados para el paso 1 de SMED  
Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Convertir setup interno en setup externo - Una vez se identifican los tiempos de setup internos y externos, se determina las operaciones que podrían pasar de ser internas a externas. Esto quiere decir, cuáles de las operaciones se pueden hacer mientras que las máquinas siguen prendidas y el proceso fluyendo. Por ejemplo, en la tabla 2.5, la actividad número 2 consiste en que el operario vaya a buscar las herramientas y máquinas necesarias. Esta actividad podría fácilmente suceder mientras las máquinas siguen encendidas y de esta manera ser parte del setup externo.

Paso 3: Racionalizar todos los aspectos de la operación de setup - Se optimizan los procesos para así reducir tiempos y estandarizarlos. Por ejemplo, se podrían reducir tiempos haciendo dos procedimientos en simultaneo en lugar de secuencialmente como menciona Shingo en su libro “A Revolution in Manufacturing: The SMED System” [37].

En el caso de Pablo Guzman Ferradas y su investigación en la aplicación de SMED, el menciona un paso adicional en el que se busca reducir los tiempos externos. Si bien esto no va a mejorar el tiempo de setup, menciona que hay valor agregado en hacerlo como, por ejemplo, menos desgaste total de operarios y equipos [38].

#### 2.3.2.4 Impacto de SMED en la industria

Existen muchas investigaciones donde se ha implementado SMED de manera satisfactoria en diversas industrias. En la industria textil, la investigación de M. A. Ibrahim muestra cómo se logró disminuir el tiempo de setup en una máquina de estampado en 26%, reduciendo aproximadamente 223 minutos [39]. La investigación J. D. Bajpai implementa SMED en una planta de costura, justamente para reducir el tiempo de setup en los cambios de modelo. Bajpai concluye afirmando que el tiempo empleado en realizar los cambios de modelo en una planta de costura textil pueden ser altamente reducidos mediante la aplicación de la metodología SMED con poco gasto financiero. En su caso, muestra como el tiempo de setup disminuyó en 34% [40]. La investigación de P. Naresh, también en costura muestra reducciones en las dimensiones detalladas en la tabla 2.7.

<b>Dimensión</b>	<b>Reducción (variación %)</b>
<b>Tiempo de producción</b>	8%
<b>Operarios requeridos</b>	14%
<b>Reprocesos</b>	80%

**Tabla 2.7** Resultados cuantitativos en la investigación de P. Naresh  
Fuente: [41]

P. Naresh menciona también mejoras en cuanto a la motivación de los operarios, curva de aprendizaje y flujo de la información [41]. Esto nos indica que las mejoras a partir de esta metodología no son solo reducciones de tiempo sino también en la calidad y ambiente laboral de una perspectiva de motivación, sentido de pertenencia y mejora en habilidades.

## CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE ORGANIZACIÓN

### 3.1 Sector y productos principales

Textiles S.A. es una empresa peruana dedicada a la industria textil y a la confección de prendas de vestir para exportación. Como se describió en la figura 1.1, la fábrica cuenta con todos los procesos de la producción textil, desde la hilandería, donde se desarrolla el hilo a partir del algodón hasta la confección de la prenda de vestir.

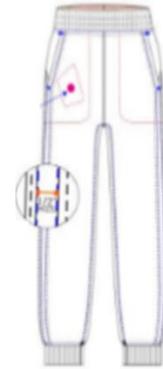
Los clientes de Textiles S.A. son 95% marcas estadounidenses de moda deportiva. El 90% de las prendas son polos deportivos mientras el otro 10% son pantalones y poleras. En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se pueden observar siluetas de diseños que elabora la planta de costura.



**Figura 3.1** Polo deportivo  
Fuente: Textiles S.A.



**Figura 3.2** Polera deportiva  
Fuente: Textiles S.A.



**Figura 3.3** Pantalón deportivo  
Fuente: Textiles S.A.

### 3.2 Misión, Visión y Valores

#### Misión

La misión de Textiles S.A. es ser una empresa manufacturera sostenible y rentable de textiles y prendas de vestir de alta calidad. Fusionando su profesionalismo y pasión para superar las expectativas de sus clientes desafiándose permanentemente para crear productos innovadores.

#### Visión

La visión de Textiles S.A. es ser considerada en el mercado global, como una empresa innovadora en la industria textil y de confecciones ofreciendo productos tecnológicos y servicios diferenciados que superen las expectativas de sus clientes.

## **Valores**

A nivel organizacional, la compañía tiene 5 valores que exige cumplir a los colaboradores: innovación, compromiso, calidad, trabajo en equipo, Integridad. Además, cada área puede priorizar o proponer valores específicos para sus colaboradores. En el caso de la planta de costura, se tiene una lista de valores llamada “Código de honor”. Este código tiene 10 puntos:

1. Nunca abandonar a un compañero que necesita ayuda
2. Comprometerse con las metas del equipo
3. Ser puntual
4. Celebrar siempre los triunfos obtenidos
5. Respetar los acuerdos establecidos
6. Ser responsable:
  - a. Con el personal
  - b. Liquidando órdenes
  - c. Recuperando las prendas
  - d. Completando la información diaria
7. Ser ingenioso: encuentra soluciones antes de pedir apoyo
8. Capacitar al personal
9. No desquitar mal humor con los demás
10. Ser respetuoso, pedir por favor, agradecer y ser amable

## **3.3 Descripción del proceso**

### **3.3.1 Líneas de confección y estructura de equipos**

La empresa tiene 21 líneas de producción divididas en dos sectores. Cada línea de producción tiene, en promedio, 12 operarias que manipulan distintas máquinas de coser. La línea se conforma en forma de U y el proceso es continuo. Se tiene un supervisor, un mecánico, una auditora de proceso y una auditora de acabado cada 2 líneas. Además, cada sector tiene un jefe y un mecánico volante. Los Jefes de Sector reportan al Jefe de Ingeniería y al Jefe de Confección. El flujo de las líneas de costura se puede entender a más detalle en el capítulo 1, en la explicación de la figura 1.2

### 3.3.2 Jornada Laboral y beneficios

Todas las líneas están operativas de lunes a sábado, 18 de ellas funcionan en un solo turno diario, mientras las 3 líneas restantes operan en doble turno. De lunes a viernes, el primer turno comienza a las 8:00am y culmina a las 5:30pm, incluyendo 45 minutos de refrigerio. Los días sábados, inicia a las 8:00am y termina a la 1:00pm. De lunes a viernes, el segundo turno comienza a las 9:00pm y culmina a las 7:00am. Los días sábados, comienza a las 3:00pm y termina a las 8:00pm.

### 3.3.3 Volúmenes de producción

La planta maneja volúmenes de producción en número de prendas sin defectos. En promedio, se producen 136,000 prendas mensuales. En la figura 3.4 se muestra el número de prendas producidas mes a mes en el año 2019. Además, el promedio de prendas diario en cada uno de estos meses. La planta de costura tiene un modelo de make to order. Esto significa que todas las prendas producidas corresponden a una orden específica del cliente. Estas órdenes tienen un lead time de entre 60 y 120 días. Los clientes tienen, en promedio, 3 temporadas al año con pedidos de tamaños similares en cada una de ellas. Es por esto que la demanda es relativamente uniforme. No tiene una estacionalidad marcada. En el 2019, el mes con menor producción de prendas fue el mes de setiembre con 105,240 prendas y el mes con mayor producción fue el mes de enero con 161,576. En este año, en promedio 2.3% de las prendas fueron defectuosas y el 34% requirió algún tipo de reproceso.

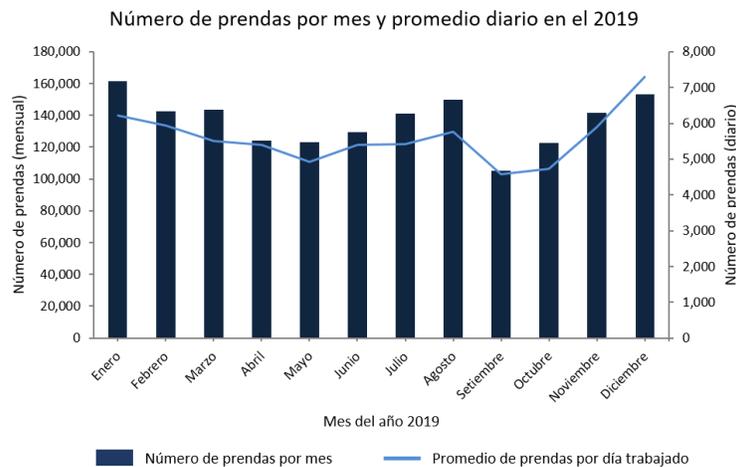


Figura 3.4 Número de prendas por mes y promedio diario en el 2019  
Fuente: elaboración propia

### 3.3.4 Máquinas

Las líneas de costura cuentan con distintas máquinas de acuerdo a la prenda que se esté confeccionando. La empresa cuenta con un stock de máquinas de 7 tipos. En la tabla 3.1 se detalla las funciones de cada una. Uno de las limitaciones que tiene Textiles S.A. es que no cuentan con un inventario del número de máquinas ni el estado en el que se encuentran.

<b>Máquina</b>	<b>Función</b>	<b>Imagen</b>
<b>Recta</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cose puntadas rectas. Se usa para unir la parte delantera con la parte trasera de la prenda.</li></ul>	 <p data-bbox="1008 877 1299 936"><b>Figura 3.5</b> Máquina Recta Fuente: Foto propia</p>
<b>Remalladora</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realiza puntadas decorativas.</li></ul>	 <p data-bbox="976 1281 1334 1339"><b>Figura 3.6</b> Máquina Remalladora Fuente: Foto propia</p>
<b>Recubridora</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realiza unión de costuras de canto a canto. También, uniones de cuello y puños.</li></ul>	 <p data-bbox="976 1684 1334 1743"><b>Figura 3.7</b> Máquina Recubridora Fuente: Foto propia</p>

<p><b>Bastera</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hace la basta de las prendas.</li> </ul>	 <p><b>Figura 3.8</b> Máquina Bastera Fuente: Foto propia</p>
<p><b>Tapetera</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorpora un tapete en la prenda. Por ejemplo, en la parte superior o en el cuello.</li> </ul>	 <p><b>Figura 3.9</b> Máquina Tapetera Fuente: Foto propia</p>
<p><b>Flat Seamer</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cose una puntada doble. Uso específica solo en algunas prendas.</li> </ul>	 <p><b>Figura 3.10</b> Máquina Flat Seamer Fuente: Foto propia</p>
<p><b>Atracadora</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar aberturas y afirmar bolsillos</li> </ul>	 <p><b>Figura 3.11</b> Máquina Atracadora Fuente: Foto propia</p>

**Tabla 3.1** Detalle de máquinas y sus funciones  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 Cambios de modelo (setups)

Debido a la variedad de prendas que piden los clientes, las 21 líneas de producción no se dan abasto para producir un solo modelo de prenda continuamente. En una temporada de 4 meses, se producen alrededor de 90 modelos distintos de prendas. Estos pueden ser polos, poleras o pantalones. Cada vez que una línea va a ser modificada para que cumpla con los requerimientos de un modelo distinto, se le llama “cambio de modelo”. En esta investigación estamos definiendo el tiempo de cambio de modelo como el tiempo de setup de la línea. En Textiles S.A, el tiempo de cambio de modelo promedio es de 5.2 horas. El tiempo de setup interno es, en promedio, 3.1 horas y el tiempo de setup externo 2.2 horas. Esto significa que, en promedio, cada vez que se programa un cambio de modelo en una línea, el proceso se detiene por 3.1 horas.

Un ejemplo de las actividades realizadas y el rango de tiempo que demoran en el proceso de cambio de modelo de una línea de costura se detalla en la tabla 3.2. El tiempo puede variar por algunos factores. El factor más relevante es el nivel de variación entre el modelo pasado y el futuro. Por ejemplo, si la línea está produciendo un polo y va a pasar a producir un pantalón, esa variación representa cambios significativos en la línea. Esto tomará más tiempo que cambiar a otro polo de diseño similar.

#	Actividad	Tipo de Setup	Tiempo (minutos)
1	Revisión de programa de cambio de modelo	Externo	5-10
2	Mecánicos busca las herramientas y máquinas necesarias según el programa	Externo	40-60
3	Mecánicos trasladan las máquinas a un lugar cercano a la línea	Externo	40-60
4	Mecánicos trasladan y colocan las máquinas en las	Interno	60-100

	posiciones correctas dentro de la línea		
<b>5</b>	Mecánicos hacen ajustes en las máquinas que acaban de ser liberadas por los operarios	Interno	60-100
<b>6</b>	Operarios prueban las máquinas y solicitan ajustes específicos a los mecánicos	Interno	10-20
<b>7</b>	Mecánicos realizan los ajustes solicitados por los operarios	Interno	20-30

**Tabla 3.2** Ejemplo de actividades en un cambio de modelo de una línea de costura en Textiles S.A  
Fuente: Elaboración propia con trabajo de campo en Textiles S.A

# CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

## 4.1 Introducción de metodología

El objetivo de este capítulo es explicar detalladamente cómo se lograrán los objetivos de la investigación. Para ello, se deben definir las variables de interés: variables dependientes, independientes, de control y de soporte. Luego, detallar la secuencia de pasos a seguir y explicar qué inputs y outputs se obtienen en cada una de estas etapas.

Es importante mencionar que esta metodología aplica para la realidad y contexto de la planta de costura de la empresa Textiles S.A. ubicada en Lima, Perú. Según la descripción de esta empresa, realizada en el capítulo 3, se podría extrapolar esta metodología para ser aplicada en empresas similares.

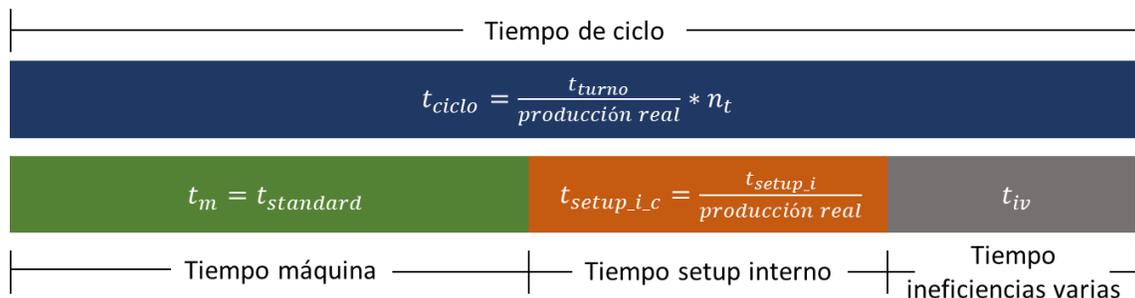
La hipótesis que se plantea es: al conocer el contexto de la empresa y las causas de las ineficiencias en la planta de costura, se propondrá una mejora que logre disminuir los tiempos de setup interno de las líneas de producción. Con la disminución de este tiempo se alcanzarán mayores niveles de eficiencia en las líneas de costura y esto generará un ahorro en los costos de la empresa y una oportunidad de generar ingresos adicionales.

## 4.2 Variables

Antes de detallar cuáles son las variables dependientes, independientes, de control y de soporte en la investigación, es importante entender y definir la interrelación entre todas las variables relevantes.

Una de las variables más relevantes en esta investigación es la eficiencia de las líneas. Para medirla, se usará el método que actualmente usan en Textiles S.A. Se calcula la eficiencia (en porcentaje) cómo:  $\frac{\text{Producción real}}{\text{Producción esperada}} \times 100$ . Para determinar la producción esperada, se utiliza la siguiente ecuación:  $\frac{t_{\text{turno}}}{t_{\text{estandar}}} * n_o$ . Donde  $t_{\text{turno}}$  es el tiempo total en minutos que dura un turno de trabajo,  $t_{\text{estandar}}$  es el tiempo estándar en minutos que debería demorar la línea en producir una prenda y  $n_o$  es el número total de operarias en la línea. La producción real es el número de prendas que produce la línea de costura.

Otra de las variables más relevantes es el tiempo de setup. Como se define en el marco teórico, el tiempo de setup es “el tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza satisfactoria de una serie hasta la obtención de la primera pieza satisfactoria de la serie siguiente” [30]. El tiempo de setup interno es el tiempo que transcurre al realizar las actividades de setup que requieren la inactividad del proceso. Es decir, requieren que las máquinas estén apagadas.



**Figura 4.1** Representación visual del tiempo de ciclo  
Fuente: Elaboración propia

Es importante notar cómo se relaciona la eficiencia con el tiempo de setup interno. Para la practicidad de esta investigación, se define el tiempo de ciclo como la sumatoria de: tiempo de máquina (o tiempo estándar), tiempo de setup interno y tiempo de ineficiencias varias. La figura 4.1 muestra esta definición. Cada una de estas se explican más adelante en la tabla 4.1. Con esta definición se entiende el tiempo de setup interno como uno de los componentes del tiempo de ciclo. Entonces, manteniendo las demás variables constantes, minimizar el tiempo de setup interno, reducirá el tiempo de ciclo. A su vez, el tiempo de ciclo se representa matemáticamente cómo:  $\frac{t_{turno}}{producción\ real} * n_t$ . Donde  $n_t$  es el número de turnos en análisis. Con esta ecuación se nota la relación inversa entre el tiempo de ciclo y la producción real. Por ende, al reducir el tiempo de ciclo, se logra aumentar la producción real. Entonces, considerando la manera en la que estamos midiendo eficiencia, al aumentar la producción real, logramos aumentar la eficiencia. Esta secuencia demuestra cómo se espera que minimizando el tiempo de setup interno se aumente la eficiencia de las líneas de costura. En la tabla 4.1 se resumen todas las variables relevantes y como interactúan entre sí:

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
<b>Eficiencia de la línea <math>i</math> (<math>E_{Li}</math>)</b>	<p>Cociente de la producción real alcanzada por la línea <math>i</math> y la producción esperada de la línea <math>i</math> en un determinado periodo.</p> $\frac{P_i}{P_{Ei}} \times 100$ <p><math>i</math> es el número de la línea. <math>i = \{1,2,3, \dots, 21\}</math></p>	%
<b>Producción real de la línea <math>i</math> (<math>P_i</math>)</b>	Número de prendas producidas sin defectos por la línea de producción $i$ en un determinado periodo. Esta variable es medida por los analistas de ingeniería de Textiles S.A. y registrada en bases de datos.	#Prendas
<b>Producción real de la planta (<math>P_G</math>)</b>	Número de prendas producidas sin defectos por todas las líneas de producción en un determinado periodo.	#Prendas
	$\sum_{i=1}^{21} P_{Li}$	
<b>Producción esperada de la línea <math>i</math> (<math>P_{Ei}</math>)</b>	Número de prendas producidas sin defectos que se espera que la línea $i$ produzca según el tiempo estándar ( $t_{standard}$ ) de producción.	#Prendas
	$\frac{t_{turno}}{t_{estandar}} * n_o$	
<b>Producción esperada de la planta (<math>P_{EG}</math>)</b>	Número de prendas producidas sin defectos que se espera de todas las líneas según el tiempo estándar ( $t_{standard}$ ) de producción.	#Prendas
	$\sum_{i=1}^{21} P_{Ei}$	
<b>Tiempo de turno de trabajo (<math>t_{turno}</math>)</b>	Tiempo total en un turno de trabajo. En Textiles S.A, los turnos suelen durar 512 minutos de lunes a viernes y 300 minutos los sábados. Pueden variar de acuerdo a la temporada.	Minutos

<b>Tiempo estándar</b> ( $t_{estandar}$ )	Tiempo requerido para que un operario de tipo medio, cualificado y trabajando a un ritmo constante, lleve a cabo la costura de una prenda. Este tiempo es medido por Textiles S.A para cada una de las prendas que desarrolla. También lo llamaremos Tiempo máquina ( $t_m$ )	Minutos
<b>Número de operarios</b> ( $n_o$ )	Número de operarios en una determinada línea de costura asignados para elaborar una determinada prenda. Las bases de datos de Textiles S.A contemplan esta variable para cada una de sus líneas.	#Operarios
<b>Tiempo de ciclo de la línea</b> $i$ ( $t_{ci}$ )	Tiempo en el que la línea $i$ produce una prenda sin defectos. $\frac{t_{turno}}{P_i} * n_t .$ También definida en esta investigación como la sumatoria del tiempo estándar, tiempo de setup interno de ciclo y tiempo de ineficiencias varias: $t_{estandar} + t_{setup_{i_c}} + t_{iv}$	Minutos
<b>Número de turnos</b> ( $n_t$ )	Número de turnos en el periodo siendo evaluado.	#Turnos
<b>Tiempo de setup</b> ( $t_{setup}$ )	Tiempo total invertido en ajustes de máquinas en la operación de cambio de modelo. También se define como la sumatoria del tiempo de setup interno y externo: $t_{setup_i} + t_{setup_e}$	Minutos
<b>Tiempo de setup interno</b> ( $t_{setup_i}$ )	Tiempo que transcurre al realizar las actividades de setup que requieren la inactividad del proceso. Esta variable es medida por los analistas de Textiles S.A usando cronómetros y observando el proceso de setup de las líneas.	Minutos
<b>Tiempo de setup externo</b> ( $t_{setup_e}$ )	Tiempo que transcurre al realizar las actividades de setup que no requieren la inactividad del proceso. Esta variable es medida por los analistas de Textiles S.A usando cronómetros y observando el proceso de setup de las líneas.	Minutos

<p><b>Tiempo de setup interno de ciclo</b> (<math>t_{setup_{i_c}}</math>)</p>	<p>Cociente del tiempo de setup interno y la producción real. Variable creada para cuantificar el tiempo de setup interno en proporción al tiempo de ciclo.</p> $\frac{t_{setup_{i_c}}}{P_i}$	<p>Minutos</p>
<p><b>Tiempo de ineficiencias varias</b> (<math>t_{iv}</math>)</p>	<p>Como fue descrito en el marco teórico, existen un sin fin de variables que generan ineficiencias en el proceso de costura. Para no entrar en detalle de cada una de estas y solo enfocar el análisis en el tiempo de setup interno, cualquier ineficiencia adicional será considerada dentro de esta variable. Se define como la diferencia entre el tiempo de ciclo y la sumatoria del tiempo estándar y el tiempo de setup interno de ciclo.</p> $t_{ciclo} - (t_{estandar} + t_{setup_{i_c}})$	<p>Minutos</p>
<p><b>Número de mecánicos</b> (<math>n_m</math>)</p>	<p>Número de mecánicos en una determinada línea de costura asignados para el soporte en cambio de modelo (setup). Las bases de datos de Textiles S.A contemplan esta variable para cada una de sus líneas.</p>	<p>#Mecánicos</p>

**Tabla 4.1** Resumen de variables relevantes en la investigación  
Fuente: Elaboración propia

### **Variables dependientes:**

Las variables dependientes son aquellas en las que se busca influir. En este caso, la variable dependiente es:

- $E_{Li}$  : Eficiencia de la línea  $i$  (%)

Como se manifiesta en el capítulo 1, el objetivo principal de esta investigación es proponer una mejora en el proceso de costura de una planta textil para incrementar su eficiencia. Se buscará entonces, que la eficiencia de las líneas de costura aumente. En la tabla 4.1 se presenta el detalle de cómo van a ser medidas estas dos variables dependientes. Para dimensionar el impacto de la mejora, se tendrá que observar esta variable de forma agregada, considerando todas las líneas relevantes en la investigación.

### **Variables independientes**

Las variables independientes son aquellas que se modifican con el fin de lograr el efecto esperado en las variables dependientes. Es decir, las variables que buscamos alterar para lograr el aumento de eficiencia en las líneas de costura. Estas variables son:

- $t_{setup_i}$  : Tiempo de setup interno (min)
- $t_{ci}$  : Tiempo de ciclo de la línea  $i$  (min)
- $P_i$  : Producción real de la línea  $i$  (#Prendas)

La propuesta de mejora buscará minimizar el tiempo de setup interno. Como ya fue descrito y visualmente representado en la figura 4.1, al minimizar el tiempo de setup interno, se reducirá el tiempo de ciclo. Al tener un tiempo de ciclo más corto, se logrará más producción de prendas (producción real) en un determinado periodo. Al analizar esto en un periodo considerable de tiempo, por ejemplo, un mes, se espera notar un aumento en la producción real de todas las líneas de costura. Es así como se espera que se modifiquen estas 3 variables y logren impactar en las variables dependientes.

## VARIABLES DE CONTROL

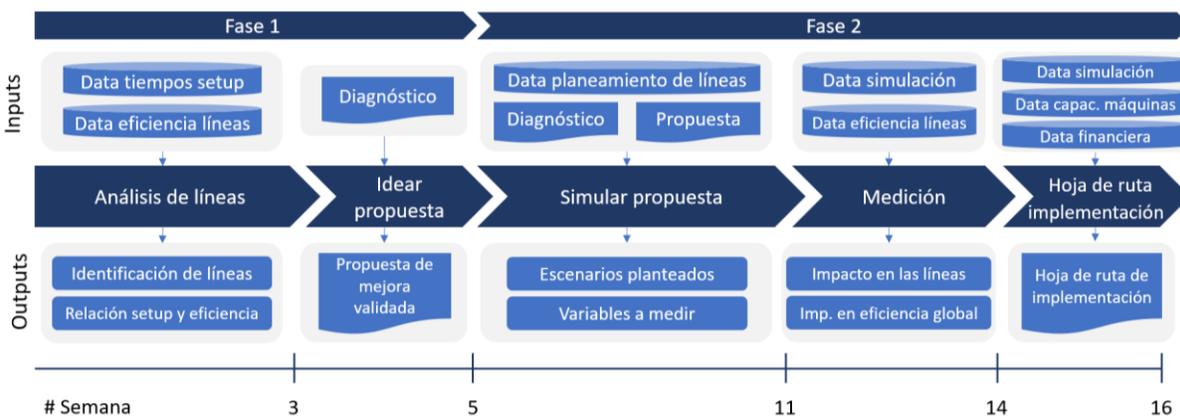
Las variables de control son aquellas que de alguna manera afectan las variables dependientes o independientes, pero no se buscará alterar en la investigación. Estas son:

- $t_{turno}$  : Tiempo de turno de trabajo (minutos)
- $t_{estandar}$  : Tiempo estándar (minutos)
- $n_o$  : Número de operarios (#Operarios)
- $n_m$  : Número de mecánicos (#Mecánicos)

Todas las demás variables, no mencionadas en las variables dependientes, independientes y de control se consideran variables de soporte. La función de estas variables son ayudar a calcular las demás variables.

## 4.3 Diseño de metodología

La metodología será desplegada en 16 semanas en 2 fases. El objetivo de la primera fase es tener la propuesta desarrollada y aprobada por la planta. Para idear esta propuesta, se debe hacer un análisis de líneas primero. Esta primera fase tiene una duración de 5 semanas. La segunda fase tiene una duración de 11 semanas y el objetivo es simular dicha propuesta y cuantificar su impacto. Adicionalmente, hacer una hoja de ruta de implementación. Es decir, detallar qué consideraciones (personal, costos, etc.) debe tener la empresa en caso decida implementar la propuesta.



**Figura 4.2** Fases de metodología

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.2 se puede ver el flujo de los pasos a seguir en cada fase. Además, qué inputs se necesitan para elaborar cada proceso y qué outputs se obtendrán de cada etapa. Es importante mencionar que cada etapa depende de la etapa previa, aprovechando la información y conclusiones que se van generando. Por ejemplo, no se puede hacer la simulación sin antes tener el análisis de las líneas de costura y la propuesta desarrollada. De igual manera, no se puede desarrollar la hoja de ruta de implementación sin antes tener las mediciones de impacto de los escenarios simulados.

Las bases de datos mencionadas en la figura 4.2, con excepción de “data simulación” son documentos elaborados por el equipo de ingeniería de la empresa. Cuentan con registros históricos de estos datos. En la tabla 4.2 se detallan las variables que se encuentran en cada una de estas bases de datos:

<b>Base de datos</b>	<b>VARIABLES DE INTERÉS</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>Data tiempos setup</b>	• Tiempo de setup ( $t_{setup}$ )	• Minutos
	• Tiempo de setup interno ( $t_{setup_i}$ )	• Minutos
	• Tiempo de setup externo ( $t_{setup_e}$ )	• Minutos
<b>Data eficiencia de líneas</b>	• Eficiencia de la línea $i$ ( $E_{Li}$ )	• %
	• Eficiencia global de planta ( $E_G$ )	• %
<b>Data planeamiento</b>	• Producción real de la línea $i$ ( $P_i$ )	• #Prendas
	• Producción real de la planta ( $P_G$ )	• #Prendas
	• Tiempo de turno de trabajo ( $t_{turno}$ )	• Minutos

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo estándar (<math>t_{estandar}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minutos</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de operarios (<math>n_o</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• #Operarios</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de mecánicos (<math>n_m</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• #Mecánicos</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de ciclo de la línea <math>i</math> (<math>t_{ci}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minutos</li> </ul>
<b>Data simulación</b>	*Todas las anteriores variables (antes y después de incorporar propuesta)	
<b>Data capacidad máquinas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de máquinas disponibles por tipo (<math>N_m</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• #Máquinas</li> </ul>
<b>Data financiera</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de espacio por <math>m^2</math> (<math>C_e</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soles</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de máquinas por tipo (<math>C_m</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soles</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de contratar personal (<math>C_p</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soles</li> </ul>

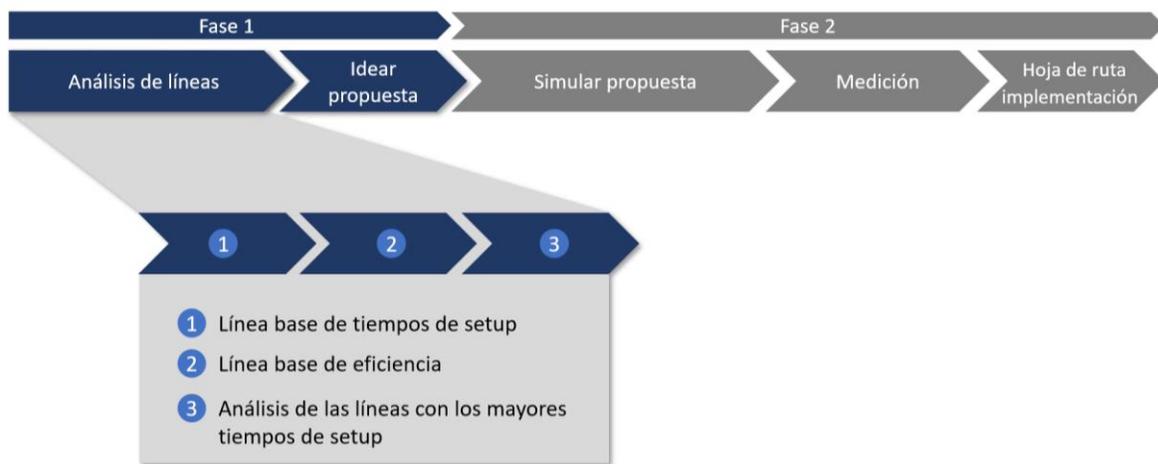
**Tabla 4.2** Detalle de bases de dato  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1 Fase 1: Análisis de líneas e ideación de propuesta

La primera parte de la fase 1 es realizar un análisis detallado de las líneas de costura. Esta consta de tres tareas: realizar una línea base de tiempos de setup, realizar una línea base de eficiencia de las líneas y hacer un análisis de las líneas con los mayores tiempos de setup. Lo que se busca es analizar la data histórica de las líneas para luego seleccionar un número de semanas, hallando los parámetros que se manejan de tiempos de setup internos y externos. Hecho esto, se analizará la relación de estos tiempos con la eficiencia lograda. Con esta información se logrará

identificar las líneas que más se podrían beneficiar producto de una disminución en los tiempos de setup.

Con el análisis realizado, se ideará una propuesta de mejora. Esta propuesta debe lograr disminuir los tiempos de setup de las líneas. Específicamente impactar aquellas líneas que históricamente tienen mayor rotación. Esta propuesta se debe simular mediante softwares Rockwell Arena y Rstudio. Una vez desarrollada esta propuesta, se debe presentar y validar con la gerencia de la empresa. Las actividades de esta primera fase se pueden visualizar en la figura 4.3. Estas actividades se describen en la tabla 4.3.



**Figura 4.3** Pasos a seguir en la fase 1  
Fuente: Elaboración propia

#	Actividad	Descripción	Herramientas
1	Línea base de tiempos de setup	Se usará data histórica de la empresa de 26 semanas para analizar los tiempos de setup en cada una de las líneas – se evaluará la proporción de setup interno y externo y se evaluará cómo esta métrica varía semana a semana.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excel</li> </ul>

2	Línea base de eficiencia	Se usará data histórica de la empresa del mismo periodo que la actividad previa para entender la relación entre los tiempos de setup y las eficiencias de las líneas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excel</li> </ul>
3	Análisis de las líneas con los mayores tiempos de setup	Con el análisis elaborado en las 2 actividades previas, se identificarán las líneas con mayores tiempos de setup y mayores ineficiencias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excel</li> </ul>
4	Ideación de propuesta	Se ideará una propuesta de solución que tenga como objetivo reducir el tiempo de setup de la mayor cantidad de líneas y por tanto incrementar sus eficiencias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N/A</li> </ul>
5	Validar propuesta con la empresa	Se presentará la propuesta al Gerente de Ingeniería de la planta de costura para recibir feedback e iterarla si es necesario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N/A</li> </ul>

**Tabla 4.3** Resumen de actividades en la fase 1  
Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2 Fase 2: Simulación, Medición y Hoja de ruta de implementación

La fase 2 de la metodología comprende 3 partes: simular la propuesta, hacer una medición del impacto de dicha propuesta y desarrollar una hoja de ruta para la implementación. Para elaborar la simulación, primero se consolidarán los datos. Para esto se usará la data histórica de la programación de todas las prendas elaboradas en las líneas de costura en un determinado periodo de tiempo. Al procesar esta información, se buscará entender los niveles de producción diarios de cada línea y las distinciones entre líneas. En el siguiente paso, se analizará las variables para el modelamiento de distribuciones. Para ello, se usará el lenguaje de programación R. Con las variables obtenidas, se procederá a desarrollar la simulación en el software Rockwell Arena.

Además, se realizarán pruebas de funcionamiento para asegurar que la simulación esté funcionando correctamente.

Con la simulación en funcionamiento, se hará la medición del impacto. En esta sección se evaluará cómo la solución está afectando la eficiencia de la planta. Para ello, se harán mediciones de productos en proceso, tiempos de setup internos y externos, tiempo de ciclo, eficiencia de las líneas y otras variables que puedan ser relevantes en el desarrollo de la medición. Es importante interpretar estos resultados y cuantificar los resultados para validar qué impacto tienen en la eficiencia global de la planta de costura.

El último paso de la fase 2 es elaborar una hoja de ruta de implementación. En esta, se quiere enumerar las distintas consideraciones que debe tener la planta en caso se desee implementar la solución. Se verán temas complementarios como: personal, espacio, herramientas, personal, cambio cultural, etc. No se realizará la implementación misma ya que escapa del alcance de la investigación. Las actividades de esta segunda fase se pueden visualizar en la figura 4.4. Estas actividades se describen en la tabla 4.4.



**Figura 4.4** Pasos a seguir en la fase 2  
Fuente: Elaboración propia

#	Actividad	Descripción	Herramientas
6	Consolidar datos	Usando las primeras 3 bases de datos que se describen en la tabla x, se limpiará y consolidará la información en un solo documento de Excel para asegurar que se tengan las variables necesarias que serán el input de la simulación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excel</li> </ul>
7	Procesar datos	Hay algunas variables que son necesarias en la simulación que no necesariamente están en la data cruda que se extraerá de las bases de datos, pero pueden ser creadas usando las que se tienen. Para esto, se deben procesar los datos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excel</li> <li>• Rstudio</li> </ul>
8	Análisis de variables y modelamiento de distribuciones	Se deben analizar las variables para determinar qué tipo de variables son. Por ejemplo, pueden ser continuas, discretas, categóricas, etc. Identificando el tipo, se procede a modelar su comportamiento. Para ello, se usa Rstudio y analizar estadísticamente qué distribuciones y con qué parámetros se ajustan al comportamiento de las variables.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excel</li> <li>• Rstudio</li> </ul>
9	Construcción de simulación	Con las variables identificadas y modeladas, se comienza la construcción de la simulación en Arena. Se construirán dos escenarios. El primero será el escenario base. Este representa la planta de costura sin incorporar la propuesta de mejora. El segundo escenario contempla la mejora.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rockwell Arena</li> </ul>
10	Ajustes y pruebas de funcionamiento	Se debe probar que la simulación esté funcionando correctamente. Esto quiere decir que el proceso fluya de manera realista y los	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rockwell Arena</li> </ul>

		resultados sean coherentes. Al no tener esto, se deben hacer los ajustes correspondientes.	
<b>11</b>	Correr simulaciones	Se determinará cuántas repeticiones de la simulación son suficientes para tener una base de resultados suficiente para su posterior análisis. Se correrá la simulación esta cantidad de veces y se guardaran los resultados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rockwell Arena</li> </ul>
<b>12</b>	Análisis de datos	Se compararán los resultados obtenidos en los dos escenarios de la simulación. Con esto se busca evaluar qué diferencias relevantes se notan entre el escenario base y el escenario que contempla la mejora.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rstudio</li> <li>• Excel</li> </ul>
<b>13</b>	Interpretación de datos	Se busca cuantificar el impacto de los resultados de la simulación. Encontrar cuantitativamente cuánto mejora la eficiencia de las líneas de costura con la mejora que ha sido propuesta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rstudio</li> <li>• Excel</li> </ul>
<b>14</b>	Considerar variables y factores de implementación	Hacer un listado de los factores más relevantes que la fábrica debe tener en cuenta en caso quiera implementar la propuesta. Algunas preguntas que ayudarán a desarrollar esta lista: ¿Qué recursos adicionales se necesitan? Cómo se va afectar la dinámica de trabajo de los operarios?, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N/A</li> </ul>
<b>15</b>	Análisis de costos de implementación	En base a los recursos adicionales que sean necesarios para implementar la propuesta, se cuantificará un aproximado de cuánto costaría la implementación de la propuesta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excel</li> </ul>

**Tabla 4.4** Resumen de actividades en la fase 2  
Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

### 5.1 Análisis de líneas

#### 5.1.1 Tiempos de setup en las líneas de costura de Textiles S.A

Se usaron registros de la empresa Textiles S.A para analizar el tiempo de setup de las líneas en un periodo de 6 meses. Como se mencionó en el capítulo 3, la planta cuenta con 21 líneas: tres de ellas en turno de madrugada y una dedicada a un cliente específico. Dado que la data de la empresa se limita a las 17 líneas restantes, se considerarán solo estas para el análisis. Las 17 líneas se separan en dos sectores. El primer sector tiene las líneas numeradas del 2 al 9 mientras el segundo sector cuenta con las líneas del 11 al 19.

En la tabla 5.1 podemos notar el tiempo de setup interno y externo por línea. El periodo considera los días laborables entre el 1 de julio del 2019 y el 23 de diciembre del 2019.

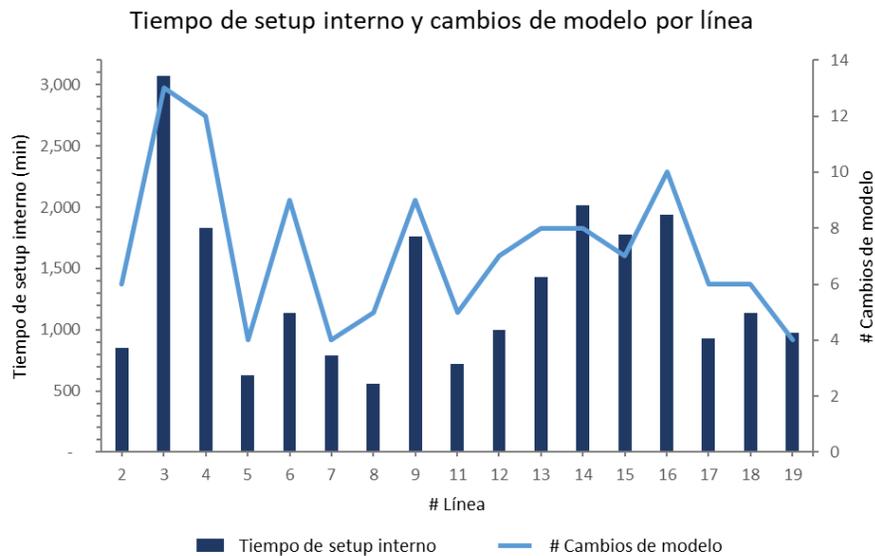
<b>#Línea (i)</b>	<b><math>t_{setup_e}</math> : Tiempo de setup Externo (min)</b>	<b><math>t_{setup_i}</math> : Tiempo de setup Interno (min)</b>	<b><math>t_{setup_e}</math> (%)</b>	<b><math>t_{setup_i}</math> (%)</b>
<b>2</b>	777	848	48%	52%
<b>3</b>	1,447	3,071	32%	68%
<b>4</b>	1,999	1,832	52%	48%
<b>5</b>	615	630	49%	51%
<b>6</b>	1,384	1,138	55%	45%
<b>7</b>	669	786	46%	54%
<b>8</b>	594	561	51%	49%
<b>9</b>	1,097	1,758	38%	62%
<b>11</b>	588	717	45%	55%
<b>12</b>	903	996	48%	52%
<b>13</b>	1,369	1,427	49%	51%
<b>14</b>	931	2,015	32%	68%
<b>15</b>	1,232	1,780	41%	59%
<b>16</b>	984	1,938	34%	66%

<b>17</b>	602	928	39%	61%
<b>18</b>	466	1,139	29%	71%
<b>19</b>	366	975	27%	73%
<b>TOTAL</b>	16,023	22,538	42%	58%

**Tabla 5.1** Tiempos externos e internos de setup por línea de costura  
Fuente: Elaboración propia con datos de Textiles S.A.

El tiempo de setup interno representa un 58% del tiempo total de setup. Esto quiere decir que la mayoría del setup ocurre cuando las máquinas están apagadas y el proceso no está fluyendo. En la línea 19, esta proporción asciende a 73%. Sería interesante analizar el detalle de cuánto impacta el número de mecánicos y la habilidad de los mismos en estas proporciones y en el tiempo total de setup. Sin embargo, ese análisis escapa de la investigación.

En cuanto a la magnitud del tiempo de setup interno, hay líneas, como la número 3, con 3,071 minutos (51.2 horas) mientras otras, como la línea 8, tienen 561 minutos (9.4 horas). Un factor que explica estas diferencias es el número de cambios de modelo que se realizaron en cada una de las líneas. En el periodo estudiado, se realizaron 13 cambios de modelo en la línea 3 mientras solo se hicieron 5 en la línea 8. En la figura 5.1 se observa esta relación y en la tabla x se muestran los datos con una columna de tiempo de setup interno promedio por cambio de modelo.



**Figura 5.1** Gráfico de tiempo de setup interno y número de cambios de modelo por línea  
Fuente: Elaboración propia con datos de Textiles S.A

La figura 5.1 muestra cómo los tiempos internos de setup en las diferentes líneas varían de acuerdo al número de cambios de modelo. El número de cambios de modelo es lo mismo que el número de setups que se realizaron en el periodo.

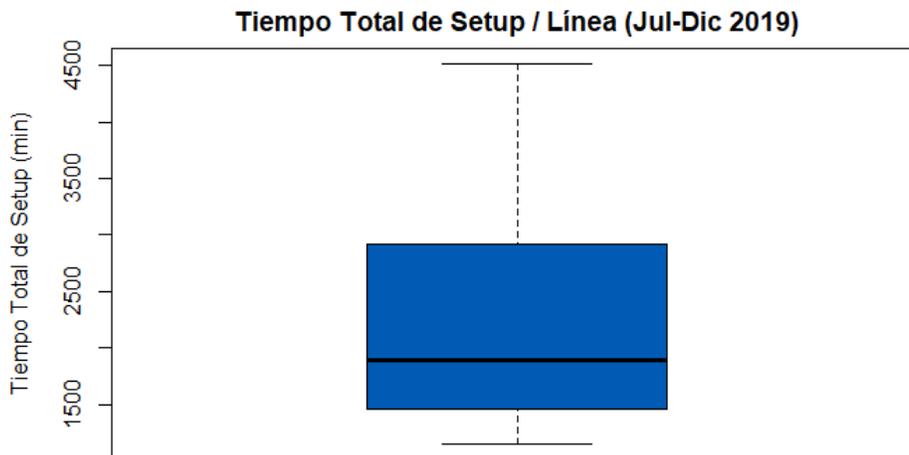
<b>#Línea (i)</b>	<b>Número de cambios de modelo (número de setups)</b>	<b><math>\overline{t_{setup_i}}</math> : Tiempo de setup Interno promedio (min)</b>	<b><math>\overline{t_{setup_i}}</math> : Tiempo de setup Interno promedio (horas)</b>
<b>2</b>	6	141	2.36
<b>3</b>	13	236	3.94
<b>4</b>	12	153	2.54
<b>5</b>	4	158	2.63
<b>6</b>	9	126	2.11
<b>7</b>	4	197	3.28
<b>8</b>	5	112	1.87
<b>9</b>	9	195	3.26
<b>11</b>	5	143	2.39
<b>12</b>	7	142	2.37
<b>13</b>	8	178	2.97
<b>14</b>	8	252	4.20
<b>15</b>	7	254	4.24
<b>16</b>	10	194	3.23
<b>17</b>	6	155	2.58
<b>18</b>	6	190	3.16
<b>19</b>	4	244	4.06
<b>TOTAL</b>	123	183	3.05

**Tabla 5.2** Tiempos internos de setup promedio y número de cambios de modelo por línea de costura  
Fuente: Elaboración propia con datos de Textiles S.A.

La tabla 5.2 muestra el tiempo de setup interno promedio de cada una de las líneas en minutos y en horas. Estos cálculos fueron hechos al dividir el tiempo total de setup interno entre el número de setups. En los 6 meses estudiados, se tuvieron 123 cambios de modelo y cada uno duró en promedio 3.05 horas. Esto quiere decir que, en promedio, las máquinas pararon por 3.05 horas cada vez que las líneas cambiaron de producir un modelo a otro.

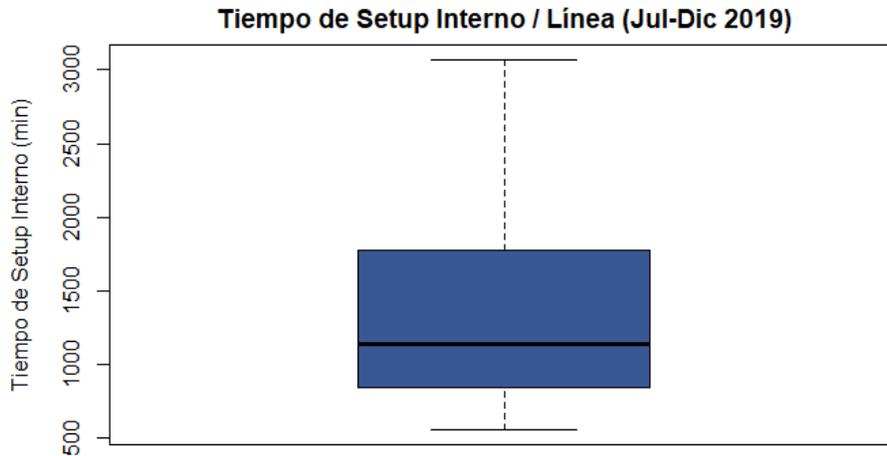
La variación en el tiempo de setup interno promedio entre las líneas se puede explicar por la forma en la que fueron programados los cambios de modelo. En el caso que se cambie de un modelo de prenda muy similar al siguiente, el setup tiende a demorar menos. Este factor se toma en consideración en el área de planeamiento (área que decide en qué líneas se confeccionarán las prendas). Si bien se pueden buscar mejoras en este proceso que logren minimizar el tiempo de setup, este planteamiento escapa del enfoque de esta investigación.

Para identificar las líneas con mayores tiempos de setup y setup interno, se realizaron 3 diagramas de cajas. El primero, en la figura 5.2 muestra el diagrama de cajas de los tiempos totales de setup que tuvieron las 17 líneas de costura desde el 1 de julio hasta el 31 de diciembre del 2019.



**Figura 5.2** Diagrama de cajas de Tiempo Total de Setup por Línea  
Fuente: Elaboración propia con datos de Textiles S.A

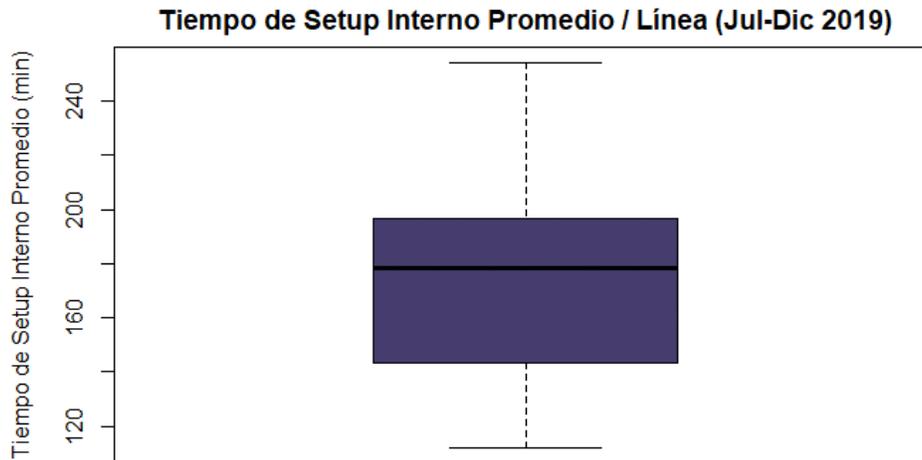
Al interpretar el diagrama y hallar los valores estadísticos asociados, se concluye que 13 de las líneas representan el 75% inferior de los tiempos. Las líneas que superan el cuartil inferior son las líneas 3,4,14 y 15. Estas líneas representan el cuartil superior de los tiempos totales de setup. Es decir, son las líneas con mayor tiempo de setup en este periodo. Para hallar si estas líneas también representan los mayores tiempos de setup interno, se hizo el diagrama de cajas de esta variable para todas las líneas. Así, se obtuvo el diagrama mostrado en la figura 5.3.



**Figura 5.3** Diagrama de cajas de Tiempo de Setup Interno por Línea  
Fuente: Elaboración propia con datos de Textiles S.A

El comportamiento de los datos de tiempo de setup interno son similares a los datos de setup total. Ambos tienen un cuartil superior mayor a cualquier otro cuartil. Esto quiere decir que los datos están sesgados hacia arriba. Se hizo el mismo proceso para hallar cuáles son las líneas cuyos tiempos de setup interno se encuentran en el cuarto cuartil. Al hacer esto se concluye que las líneas 3,4,14 y 16 son las líneas con tiempos más extensos en esta variable.

También es importante hacer este mismo análisis considerando el tiempo de setup interno promedio. En este análisis se busca determinar si los mecánicos demoran más en realizar las operaciones de setup interno en algunas líneas. Para ello, se graficó el diagrama de cajas del tiempo de setup interno promedio en el mismo periodo.



**Figura 5.4** Diagrama de cajas de Tiempo de Setup Interno Promedio por Línea  
Fuente: Elaboración propia con datos de Textiles S.A

En la figura 5.4 se puede notar que cuando se analiza el tiempo de setup interno promedio, los datos están menos sesgados hacia arriba. Se realizó el mismo proceso que en los dos análisis previos y se halló que las 4 líneas con mayores tiempos de setup interno promedio son las líneas 3,14,15 y 19. En la tabla 5.3 se resumen los hallazgos de estos análisis:

<b>Variable</b>	<b>Líneas con tiempos en el cuartil superior</b>
<b>Tiempo de Setup Total</b>	3,4,14,15
<b>Tiempo de Setup Interno</b>	3,4,14,16
<b>Tiempo de Setup Interno Promedio</b>	3,14,15,19

**Tabla 5.3** Resumen de líneas con mayores tiempos de setup y setup interno  
Fuente: Elaboración propia

Al considerar las tres variables, se determina que las líneas que podrían beneficiarse más de la mejora de esta investigación son 6. Estas son las líneas 3,4,14,15,16 y 19. Es importante mencionar que las 5 primeras líneas mencionadas concentran el 47% del tiempo de setup interno.

### 5.1.2 Eficiencia en las líneas de costura de Textiles S.A

Para analizar la eficiencia de las líneas de costura, se utilizó la data disponible proporcionada por Textiles S.A. Esta data se recolectó por la empresa entre el 20 de setiembre y 20 de noviembre del 2019. En estos dos meses, a través de la producción esperada y producción estándar, se calcula la eficiencia de cada una de las 17 líneas día a día. En el capítulo 4 de esta tesis se encuentran los detalles de este cálculo y la relación entre variables.



**Figura 5.5** Gráfico de eficiencia por línea de costura  
Fuente: Elaboración propia con datos de Textiles S.A

En la figura 5.5 se grafica la eficiencia de cada una de las líneas en el periodo mencionado. Existe mucha variabilidad la eficiencia. Como fue discutido en el capítulo 1 y 2 de esta investigación, existen muchas variables que explican la variabilidad de la eficiencia de una línea de costura. Las líneas 7 y 12 tuvieron una eficiencia de 95% en este periodo mientras la línea 3 solo 31%. Hacer un análisis detallado de todos los factores que explican esta diferencia en un mismo periodo de tiempo escapa de esta investigación. Lo que se busca hacer es identificar si esta variabilidad se puede explicar parcialmente por el tiempo de setup interno.

En la tabla 5.4 se muestra la eficiencia de las líneas y el tiempo de setup interno de cada una en este periodo.

<b>#Línea (i)</b>	<b><math>E_{Li}</math> : Eficiencia de la línea <math>i</math> (%)</b>	<b><math>t_{setup_i}</math> : Tiempo de setup Interno (min)</b>
2	78 %	312
3	31 %	585
4	53 %	762
5	76 %	180
6	64 %	444
7	95 %	0
8	83 %	0
9	47 %	816
11	65 %	345
12	95 %	138
13	50 %	750
14	64 %	539
15	63 %	674
16	49 %	270
17	61 %	618
18	82 %	431
19	60 %	555
<b>TOTAL</b>	<b>66 %</b>	<b>7,418</b>

**Tabla 5.4** Eficiencia de las líneas de costura y el tiempo de setup interno total  
Fuente: Elaboración propia con datos de Textiles S.A

En el periodo analizado, las líneas 7 y 8 no tuvieron ningún cambio de modelo. Por ese motivo, su tiempo de setup interno es 0. Estas dos líneas tuvieron eficiencias de 95% y 83% respectivamente, valores significativamente por encima del promedio. Sin embargo, la línea 3 con la menor eficiencia no es la línea con mayor tiempo de setup interno. Para determinar la relación entre la eficiencia y el tiempo de setup interno, se debe hacer un análisis estadístico.

Al hallar el coeficiente de correlación de Pearson, se puede determinar el tipo de relación que tiene una variable con otra. En este caso, la variable dependiente (Y) es la eficiencia de las

líneas y la variable independiente (x) el tiempo de setup interno. Se usa la siguiente ecuación para determinar el coeficiente de correlación de Pearson:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

Se realizó este cálculo excluyendo las líneas 7 y 8 ya que no tuvieron cambios de modelo en el periodo. Se incluyeron las 15 líneas restantes.

<b>Componente</b>	<b>Valor</b>
<b>r</b>	-0.6443
<b>Valor p</b>	0.0095
<b>Resultado</b>	Correlación negativa moderada - la correlación es estadísticamente significativa en un intervalo de confianza de 99%

**Tabla 5.5** Coeficiente de correlación de Pearson entre eficiencia y tiempo de setup interno de las líneas de costura  
Fuente: Elaboración propia

Considerando el valor del coeficiente de correlación de Pearson y el valor p, se puede concluir que en Textiles S.A, en un periodo de 2 meses, existe una relación negativa moderada entre la eficiencia de las líneas de costura y el tiempo de setup interno total en las líneas. Esto quiere decir que a medida que se disminuya el tiempo de setup interno, se incrementará la eficiencia. El detalle se muestra en la tabla 5.5.

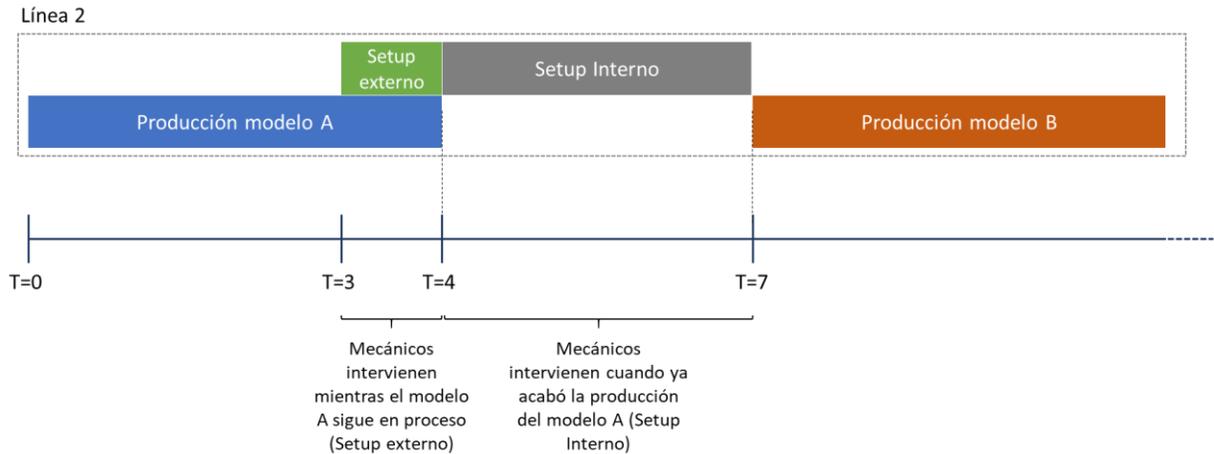
## 5.2 Propuesta de mejora

En base al análisis cuantitativo y el conocimiento del contexto de Textiles S.A, se elabora una propuesta de mejora que logre cumplir con el objetivo de la investigación. Este es: minimizar el tiempo de setup interno para incrementar la eficiencia de las líneas de costura.

Siguiendo los principios de la metodología SMED, descritos en el capítulo 2, una manera de minimizar los tiempos de setup internos es trasladarlos a setup externos. Es decir, encontrar la manera de realizar las operaciones de setup que requieren que el proceso se detenga mientras el proceso está fluyendo. Si se mantiene la forma en la que se trabaja hoy en Textiles S.A, este objetivo representa una complejidad considerable ya que hay operaciones que necesariamente requieren que el proceso de costura se detenga para ser realizados. Por ejemplo, cuando el mecánico encargado del cambio de modelo interviene en una de las líneas, una de las operaciones es cambiar una de las máquinas por otra. Esto no lo puede hacer mientras la línea sigue desarrollando la prenda.

Sin embargo, existe la posibilidad de que toda la operación de cambio de modelo ocurra en una línea paralela. Por ejemplo, si se tiene la línea 20 vacía, y la línea 2 va a realizar un cambio de modelo en las próximas 4 horas, los mecánicos pueden intervenir la línea 20, preparándola para los requerimientos del siguiente modelo de la línea 2. Con una buena programación, la línea 20 estará lista antes que la línea 2 termine su ciclo de producción. Cuando esto ocurra, los operarios de la línea 2 se trasladan a la nueva línea 20 y comienzan con la ejecución del nuevo modelo. Considerando esta posibilidad, una gran parte del setup interno puede pasar a ser setup externo.

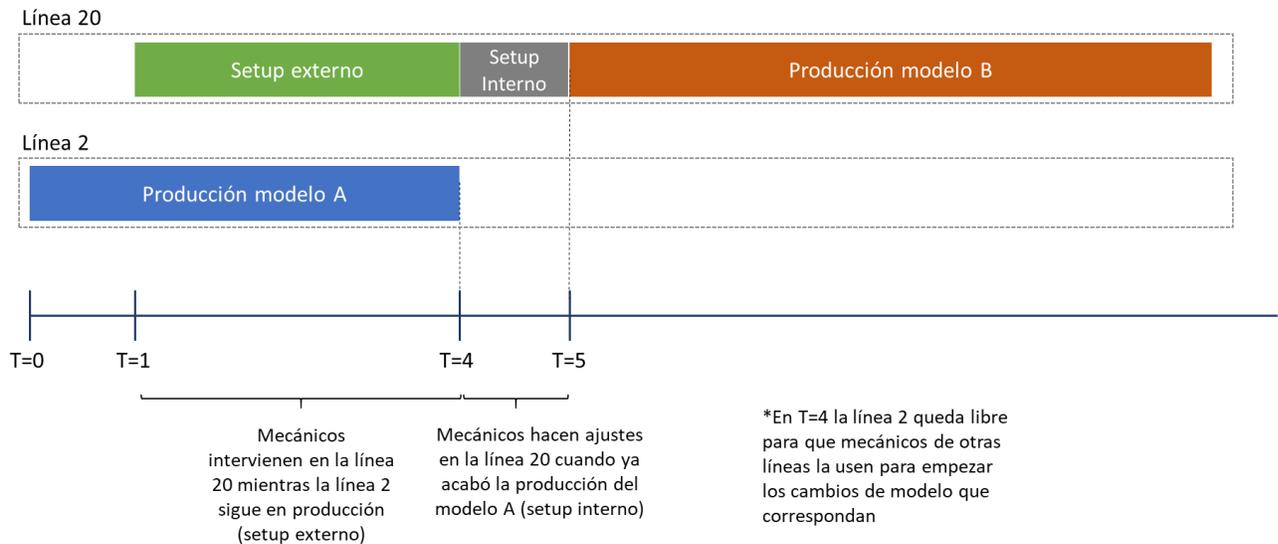
En la figura 5.6 se describe cómo se lleva a cabo un cambio de modelo actualmente en Textiles S.A. El ejemplo supone que la línea 2 está produciendo un modelo A (una prenda específica). Según la programación de las líneas, el siguiente modelo en cola es el modelo B. Se sabe que la adecuación de la línea va a demorar aproximadamente 4 horas. Una hora antes que demore la producción del modelo A, ( $T=3$ ) los mecánicos empiezan a hacer las primeras intervenciones en la línea. Los mecánicos deben esperar a que este proceso acabe para realizar algunas de las operaciones. Por ejemplo, cambiar algunas máquinas de coser por otras, sentarse en la línea a regular las máquinas, entre otras. Estas operaciones se realizan desde el tiempo  $T=4$  hasta  $T=7$ . En el  $T=7$ , la producción del modelo B ya está en proceso. En este ejemplo, el tiempo de setup de 4 horas tiene un setup interno de 3 horas y un setup externo de 1 hora.



**Figura 5.6** Descripción gráfica actual de cambio de modelo en Textiles S.A.  
Fuente: Elaboración propia

El planteamiento de la mejora supone que existe una línea adicional a disposición para realizar las operaciones que se necesitan para cambiar la configuración de las líneas de un modelo A a un modelo B. Sabiendo que el setup demora aproximadamente 4 horas, 3 horas antes de que acabe la producción del modelo A en la línea 2, los mecánicos empiezan a hacer las adecuaciones en la línea adicional (línea 20). A diferencia del escenario anterior, las operaciones como reemplazar máquinas, calibrarlas y otras si se pueden realizar ya que esta nueva línea está vacía. Llegado el T=4, la línea 2 acaba con su ciclo de producción y los operarios se trasladan a la línea 20. Una vez ahí, pueden demorar un tiempo en acomodarse y asegurar que las máquinas estén reguladas a su gusto. Es por esto que se considera un tiempo adicional de setup hasta T=5. En el T=5, la línea 2 queda libre y disponible para que otros mecánicos de otras líneas puedan intervenir en ella para ejecutar sus setups.

Para evitar colas en la nueva línea disponible, solo serán las 5 líneas mas representativas las que usarán la propuesta de mejora. Según el análisis hecho en la sección anterior, las líneas 3,4,14,15 y 16 son las líneas con tiempo de setup interno más elevado – representando el 47% del tiempo total. Entonces, serán estas 5 las que usarán la nueva línea 20 como soporte.



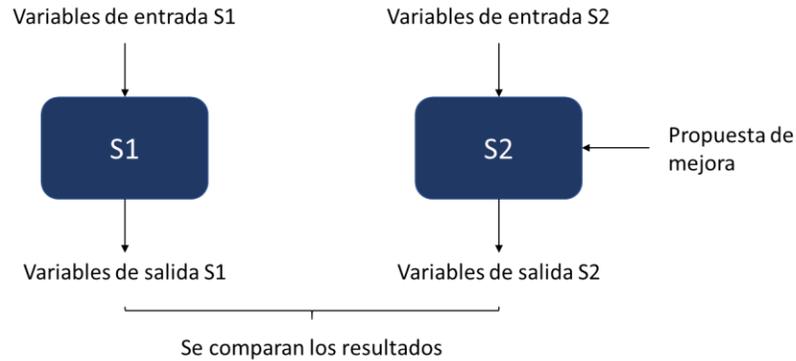
**Figura 5.7** Descripción gráfica actual de la propuesta de mejora  
 Fuente: Elaboración propia

Al contrastar los dos escenarios – figura 5.6 y figura 5.7, vemos que, en un mismo cambio de modelo, en el primero se tiene un tiempo de setup de 3 horas y en el segundo, este disminuye a 1 hora. Ya que es un ejemplo simplificado de la realidad, no se propone que la disminución se va a lograr en esa magnitud, sin embargo, se espera que, al incorporar esta nueva línea de costura, se logre el efecto esperado.

### 5.3 Simulación

La simulación tiene como objetivo representar dos escenarios. El primer escenario (S1) debe representar la realidad de la planta de costura. El segundo (S2), debe representar la planta de costura con la propuesta de mejora implementada. De esta manera, al analizar los resultados y compararlos, se puede cuantificar el impacto de esta mejora. Esto se visualiza en la figura 5.8.

Los escenarios serán construidos en el software Rockwell Arena. La simulación será dinámica ya que el tiempo es una de las variables fundamentales de la investigación. Las múltiples variables de ingreso de la simulación serán continuas o discretas y tendrán distribuciones determinísticas o estocásticas dependiendo de su comportamiento según la data histórica de la empresa.



**Figura 5.8** Esquema de variables de entrada y salida de los escenarios de simulación 1 y 2  
Fuente: elaboración propia

### 5.3.1 Variables de entrada y salida

Las variables de entrada tendrán distribuciones específicas de acuerdo al análisis de la data histórica de la empresa. En la tabla 5.6 se explica cada una de estas variables.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
<b>Tiempo de turno de trabajo (<math>t_{turno}</math>)</b>	Se consideran 24 días laborales cada mes de 8 horas cada uno. Esto es 192 horas mensuales de trabajo por línea de costura.	Determinística
<b>Tiempo estándar (<math>t_{estandar}</math>)</b>	Las prendas se separan en dos tipos: simples y complejas. Las simples tienen, en promedio, 12.3 minutos de tiempo estándar mientras las complejas 27. Ya que el 82% de las prendas son simples, se considera una distribución discreta.	Estocástica – Distribución discreta
<b>Número de operarios (<math>n_o</math>)</b>	Se considera 13 como el número fijo de operarios para cada una de las líneas. Este es el promedio de la planta.	Determinística
<b>Número de turnos (<math>n_t</math>)</b>	Se consideran 4 meses de evaluación en la simulación. Esto significa 768 horas de producción o 96 turnos.	Determinística
<b>Tiempo de setup (<math>t_{setup}</math>)</b>	Cada línea tiene una distribución triangular específica para este valor. Considerando un periodo de 6 meses,	Estocástica – Distribución triangular

	se toma el valor mínimo, promedio y máximo para la construcción de la distribución.	
<b>Proporción de tiempo de setup interno (<math>P_{setup_i}</math>)</b>	Ya que el tiempo de setup total se define de manera estocástica, el tiempo de setup interno se ingresa considerando una proporción promedio de cada una de las líneas. Por ejemplo, en una de las líneas, el 60% del tiempo de setup total es interno.	Determinística
<b>Proporción de tiempo de setup externo (<math>P_{setup_e}</math>)</b>	Ya que el tiempo de setup total se define de manera estocástica, el tiempo de setup externo se ingresa considerando una proporción promedio de cada una de las líneas. Por ejemplo, en una de las líneas, el 40% del tiempo de setup total es interno.	Determinística
<b>Proporción de ineficiencias varias (<math>t_{iv}</math>)</b>	Se considera que las ineficiencias varias de todas las líneas de producción representan un 30% del tiempo productivo. Esto significa que la variable eficiencia tendrá un límite superior en 70%. Se esta variable constante para asilar cualquier tipo de ineficiencia fuera de las actividades de setup.	Determinística
<b>Número de mecánicos (<math>n_m</math>)</b>	Se considera 3 como el número fijo de mecánicos involucrados en cada setup.	Determinística
<b>Tamaño de lote (L)</b>	Se considera una distribución normal para el tamaño de lote en cada una de las líneas. Estas variables se generan a partir de la data histórica de la empresa.	Estocástica – Distribución normal

**Tabla 5.6** Descripción de variables de entrada de simulación  
Fuente: elaboración propia

Las variables de entrada que son distintas para cada una de las líneas se pueden observar en la tabla 5.7. Los tiempos de setup tienen distribuciones triangulares mientras los tamaños de lote tienen distribuciones normales.

<b>Línea</b>	<b><math>t_{setup}</math></b>	<b>L</b>	<b><math>P_{setup_i}</math></b>	<b><math>P_{setup_e}</math></b>
<b>2</b>	Tri (3,4,5,6,8)	Norm (5732,287)	52%	48%
<b>3</b>	Tri (2,5,5.8,10)	Norm (2646,132)	68%	32%
<b>4</b>	Tri (3.5,5.3,8.5)	Norm (2866,143)	48%	52%
<b>5</b>	Tri (3.3,5.2,7.5)	Norm (8598,430)	51%	49%
<b>6</b>	Tri (3,4,7,6,3)	Norm (4913,246)	48%	52%
<b>7</b>	Tri (4,6,1,8)	Norm (8598,430)	54%	46%
<b>8</b>	Tri (2,3,9,7)	Norm (6879,344)	49%	51%
<b>9</b>	Tri (3.3,5.3,7.5)	Norm (4299,215)	63%	37%
<b>11</b>	Tri (3.3,4,4,5)	Norm (6879,344)	55%	45%
<b>12</b>	Tri (2,5,4,5,5.8)	Norm (5732,287)	51%	49%
<b>13</b>	Tri (3.5,5.8,8.9)	Norm (4913,246)	50%	50%
<b>14</b>	Tri (3.5,6.1,8.6)	Norm (4299,215)	68%	32%
<b>15</b>	Tri (5.2,7.2,12.6)	Norm (6879,344)	62%	38%
<b>16</b>	Tri (2,4,9,10)	Norm (3439,172)	66%	34%
<b>17</b>	Tri (3.5,4.3,5.3)	Norm (5732,287)	61%	39%
<b>18</b>	Tri (3,4,5,6,5)	Norm (5732,287)	71%	29%
<b>19</b>	Tri (3,5,6,7,6)	Norm (8598,430)	73%	27%

**Tabla 5.7** Variables de entrada que varían entre líneas  
Fuente: elaboración propia

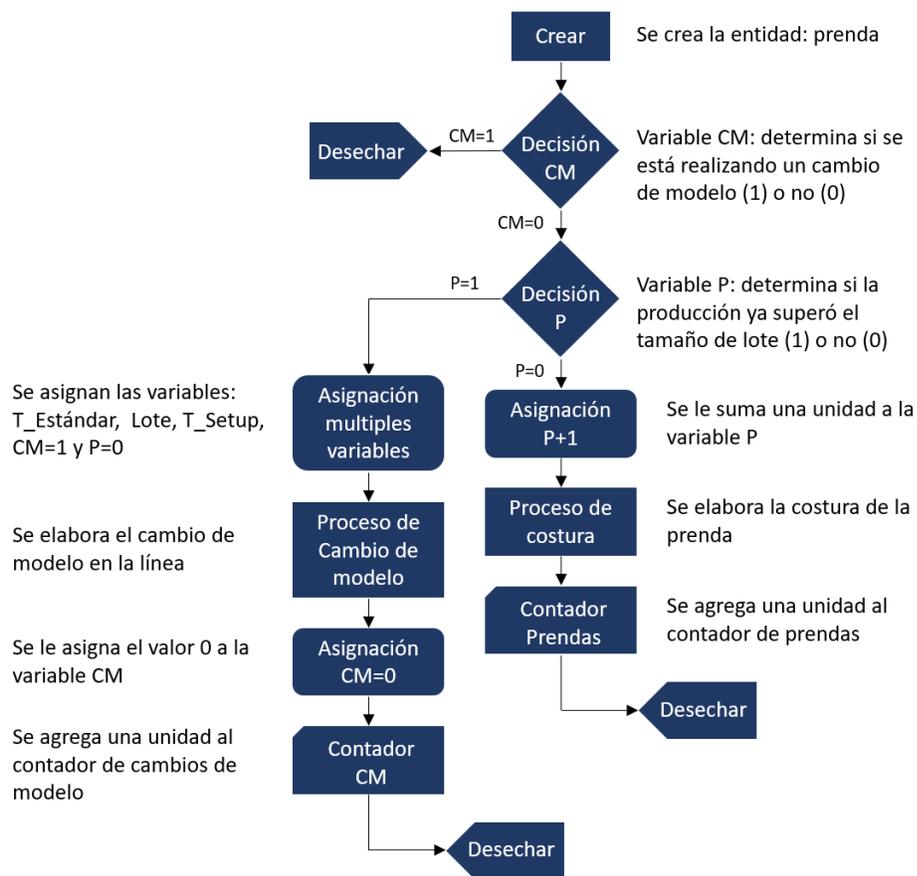
En ambos escenarios las variables de salida serán las mismas. Estas variables se explican a detalle en el capítulo 4 en la tabla 4.1. Las variables de salida son:

- Tiempo total de setup
- Tiempo interno de setup
- Tiempo externo de setup
- Producción esperada
- Producción real
- Número de cambios de modelo

Con esta información, se procederá a calcular las variables dependientes: la eficiencia de cada una de las líneas y la eficiencia global de la planta.

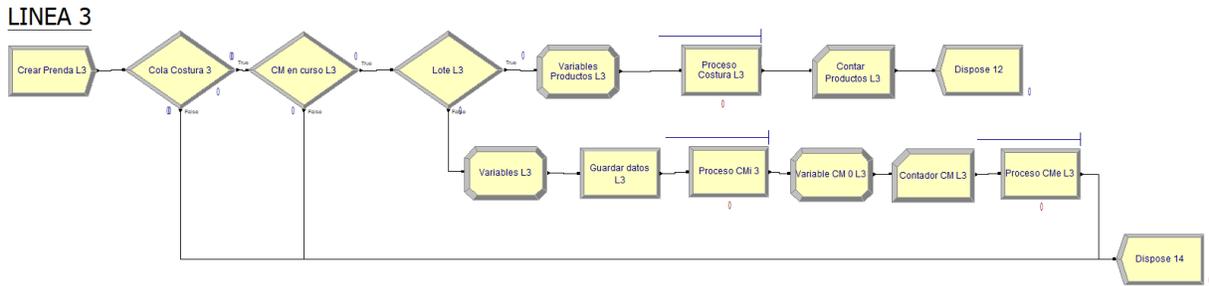
### 5.3.2 Flujo de simulación

El primer escenario busca replicar el estado actual de la planta de costura de Textiles S.A. Según la data histórica de la empresa, lo observado en la planta y las variables descritas en las tablas 5.6 y 5.7, se elaboró la lógica que debía seguir esta simulación. El diagrama de la lógica puede ser observado en la figura 5.9.



**Figura 5.9** Lógica del escenario 1 de la simulación  
Fuente: elaboración propia

Siguiendo esta lógica, se elaboró la simulación en el software Rockwell Arena. Un ejemplo de la línea 2 se muestra en la figura 5.10. A continuación, en la tabla 5.8 se explica cada uno de los módulos y se describen sus funciones



**Figura 5.10** Línea 3 del escenario 1 simulada en Rockwell Arena  
Fuente: elaboración propia

<b>Modulo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Crear Prenda L3</b>	Crea la entidad Prenda L3 a un ritmo constante de una entidad por minuto
<b>Cola costura L3</b>	La función de este módulo de decisión es desviar las entidades creadas hacia el Dispose 14 cuando la cola en el proceso de costura supera 2 entidades.
<b>CM en curso L3</b>	Este módulo de decisión desvía las entidades al Dispose 14 en caso se esté realizando un cambio de modelo (setup) en ese momento
<b>Lote L3</b>	Este módulo de decisión compara la cantidad de productos producidos por la línea con el tamaño del lote. Si el número de productos supera el lote, se desvía la entidad hacia abajo – sección de cambio de modelo.
<b>Variable Productos L3</b>	Se le suma una unidad a la variable Productos L3 (P). Esta variable es la que se compara en el módulo anterior con el tamaño de lote.
<b>Proceso Costura L3</b>	Se realiza el proceso de costura.
<b>Contador Productos L3</b>	El contador va sumando todos los productos que va produciendo el módulo de Proceso Costura L3. Este valor será la variable de salida para la producción real de la línea.

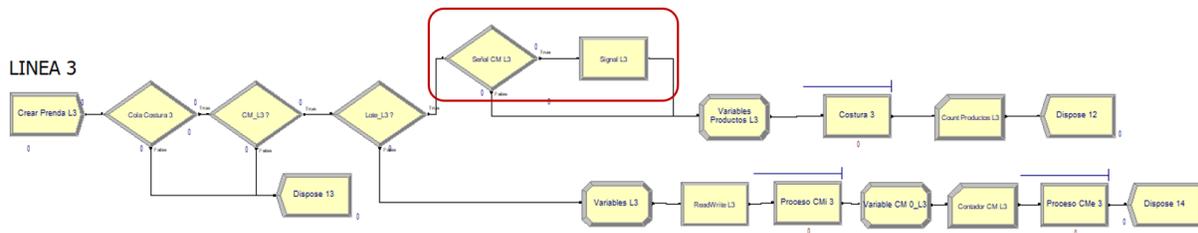
<b>Dispose 12</b>	Descarta las entidades que ya fueron producidos
<b>Variables L3</b>	Este módulo asigna 5 variables: Tiempo de setup, Tamaño de lote, tiempo estándar, CM y P. Las primeras tres tienen distribuciones estocásticas descritas en la tabla 5.6. La variable CM toma el valor de 1 para indicar al módulo de decisión CM en curso L3 que se está realizando una operación de setup. Además, se asigna 0 a la variable P para que una vez se reanude la producción después del setup, se considere un nuevo lote de producción.
<b>Guardar datos L3</b>	Guarda 3 variables y las exporta a un documento Excel para luego ser analizadas. Estas son: tiempo de simulación, tiempo estándar y tiempo de setup. Con las primeras dos se logra calcular la producción esperada de la línea.
<b>Proceso CMi L3</b>	Se realiza el proceso de cambio de modelo (setup) interno.
<b>Variable CM 0 L3</b>	Se le asigna el valor 0 a la variable CM. Esto le indica al módulo de decisión CM en curso L3 que ya no se está realizando una operación interna de setup.
<b>Contador CM L3</b>	El contador suma la cantidad de veces que una entidad circula por el proceso de cambio de modelo. Es decir, cuanta la cantidad de setups.
<b>Proceso CMe L3</b>	Se realiza el proceso de cambio de modelo (setup) externo.
<b>Dispose 14</b>	Descarta las entidades por exceso de colas, cambio de modelo en curso y aquellas que ya pasaron por el proceso de setup.

**Tabla 5.8** Descripción de los módulos de la simulación S1  
Fuente: elaboración propia

La simulación completa del escenario 1 comprende las 5 líneas de costura de la planta y se puede observar en el Anexo 3. Una sección se puede observar en la figura 5.11. El modelo se simula en un periodo corrido de 768 horas. Esto equivale a 4 meses de producción.

Las líneas de costura de la simulación del escenario 2 siguen la misma lógica que la del escenario 1 pero cuenta con una diferencia. Tienen dos módulos adicionales. En la figura 5.10 se observa un ejemplo de la línea 3 en el escenario 2 y representado en un cuadro rojo los módulos adicionales. Estos nuevos módulos se explican en la tabla 5.9.

Según el análisis de líneas elaborado en este capítulo, se determinó que las 5 líneas con tiempos de setup total y tiempos de setup interno más relevantes son las líneas: 3, 4, 14, 15 y 16. Por este motivo, estas son las líneas que comprenden la simulación 2. Es decir, estas serán las únicas líneas que usarán la nueva línea de cambio de modelo para agilizar sus tiempos de setup.



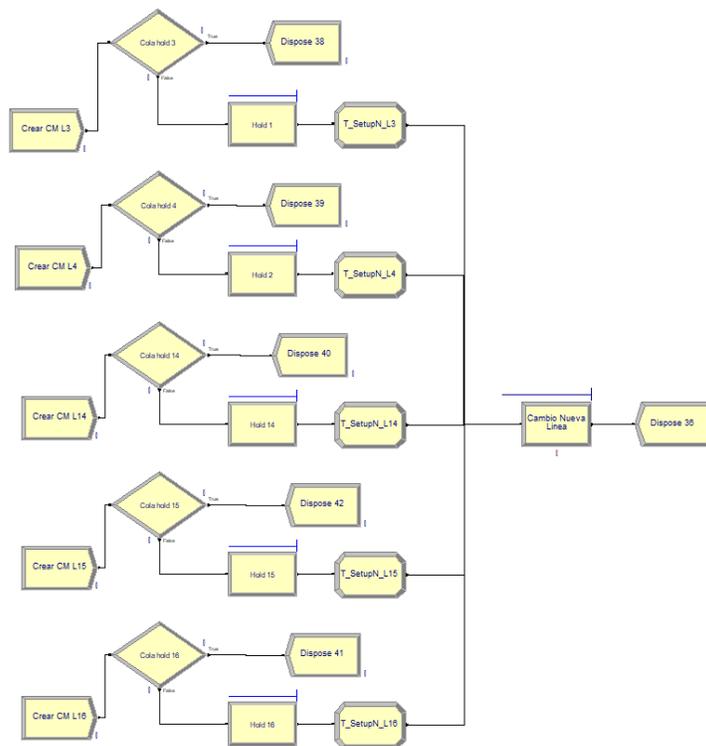
**Figura 5.11** Línea 3 del escenario 1 simulada en Rockwell Arena  
Fuente: elaboración propia

<b>Modulo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Señal CM L3</b>	Este módulo de decisión se activa en un momento de la simulación para que la entidad se dirija a la señal que avisará a la nueva línea de cambios de modelo que empiece a realizar las actividades de setup. Este momento es la cantidad de horas promedio de setup que demora normalmente la línea. Es decir, si la línea demora normalmente 5 horas en hacer el setup, 5 horas antes que se culmine el lote de producción, este módulo de decisión desvía la entidad hacia el módulo Signal L3.

<b>Signal L3</b>	Cuando una entidad llega a este módulo, automáticamente se genera una señal que llega a la nueva línea de cambios de modelo. Esta nueva línea empieza a ejecutar las tareas de setup de acuerdo al siguiente modelo que se producirá en la línea que envía la señal.
------------------	--

**Tabla 5.9** Descripción de los módulos de la simulación S2  
Fuente: elaboración propia

La nueva línea de cambios de modelo se puede observar en la figura 5.12. En la tabla 5.10 se describen los módulos de esta nueva línea. Solo se describirán 7 de los módulos ya que los primeros 5 se repiten 3 veces – cada bloque de 5 módulos correspondiendo a una línea de costura distinta.



**Figura 5.12** Nueva línea de cambios de modelo del escenario 2 simulada en Rockwell Arena  
Fuente: Elaboración propia

<b>Modulo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Crear CM L3</b>	Crea una entidad a un ritmo constante de una unidad cada 50 horas. Se usa este tiempo ya que ningún lote dura menos de 60 horas.
<b>Cola hold L3</b>	Desvía entidades al Dispose 37 en caso exista una unidad en cola en el Hold 1. Esto genera que el módulo Hold 1 no tenga colas mayores a una unidad.
<b>Dispose 37</b>	Desecha las unidades para evitar colas en Hold 1.
<b>Hold 1</b>	Recibe una señal cuando la línea 3 está a 4 horas de terminar su lote de producción. Esta señal libera la entidad y hace que fluya hacia el proceso de cambio de modelo.
<b>T_SetupN_L3</b>	Este módulo asigna el nuevo tiempo de setup que ejecutará la nueva línea.
<b>Cambio nueva línea</b>	Este proceso ejecuta la tarea de setup según el tiempo definido en el módulo T_SetupN_L3.
<b>Dispose 36</b>	Desecha las entidades que ya pasaron por el proceso de cambio de modelo.

**Tabla 5.10** Descripción de los módulos de la nueva línea de la simulación S2  
Fuente: elaboración propia

La simulación 2 tiene una variable adicional de entrada. Esta variable se describe en la tabla 5.11. En el desarrollo de estas variables, se determinan diversos supuestos. Por este motivo, ambas simulaciones cuentan con limitaciones. En el Anexo 5 se listan los supuestos y limitaciones para ambas.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
<b>Tiempo de setup interno de nueva línea (T_Sn)</b>	El tiempo que demoran los operarios en trasladarse a la nueva línea y alistarse para empezar el siguiente lote sería el nuevo tiempo de setup interno en la S2. Este comportamiento ha sido observado en la compañía y por su comportamiento se modela como una distribución triangular (0.50,0.75,1.00) en horas	Estocástica

**Tabla 5.11** Variable de entrada adicional para la simulación 2  
Fuente: elaboración propia

#### 5.4 Análisis de resultados de simulación

Para determinar el número de veces que se debía correr la simulación se utilizó la siguiente fórmula de desviación estándar para encontrar n:  $n = [ \frac{z_a}{2} * S / E ]^2$  donde  $\frac{z_a}{2}$  es el valor Z para el intervalo de confianza deseado, S la desviación estándar y E el margen de error deseado. Se realizaron 30 repeticiones para poder estimar estos valores y se halló el valor n, 76. Se decidió hacer 80 repeticiones para cada una de las simulaciones en el sistema Rockwell Arena. Con esta cantidad de información, se agruparon los resultados por línea de costura y se analizaron individualmente. Cada repetición contiene 768 horas continuas de producción. Esto equivale a 4 meses de 24 días laborales cada uno. En la tabla 5.12 se muestra un ejemplo de la información de salida para una de las repeticiones de la línea 14.

<b># Lote</b>	<b>T_Sim (h)</b>	<b>T_Estándar (min)</b>	<b>T_Setup (min)</b>	<b>T_S_i (min)</b>	<b>T_S_e (min)</b>	<b>P_Esperada</b>	<b>P_Real</b>
<b>1</b>	97	12.3	-	-	-	6,144	
<b>2</b>	102	12.3	367	250	117	6,440	
<b>3</b>	103	12.3	460	313	147	6,508	
<b>4</b>	216	27.0	355	241	114	6,251	
<b>5</b>	100	12.3	412	280	132	6,359	
<b>6</b>	103	12.3	433	295	139	6,522	
<b>7</b>	47	12.3	329	224	105	3,007	
<b>Total</b>	768	-	2,357	1,603	758	41,232	27,739

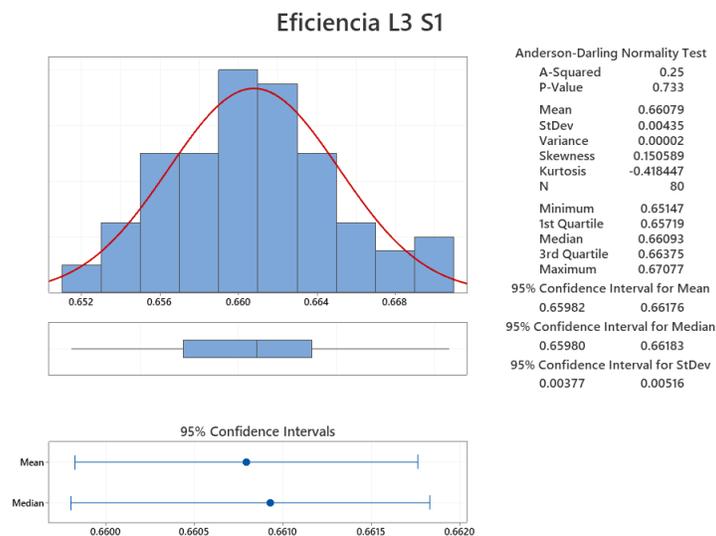
**Tabla 5.12** Registro de variables de salida para una de las repeticiones de la Línea 14  
Fuente: elaboración propia

En este ejemplo, la línea 14 tuvo 7 lotes de producción en los 4 meses simulados. Esto significa que se tuvo 6 cambios de modelo o setups en este periodo. En la primera línea no se registran tiempos de setup ya que se asume que el periodo comienza con el setup listo para empezar a producir el primer lote. La segunda columna T\_Sim (h) nos da el tiempo de cada lote en horas. La siguiente columna muestra los tiempos estándar para cada lote. En las siguientes tres columnas, se registraron los tiempos de setup: total, interno y externo todos en minutos. Para este caso específico, para hallar la eficiencia de la línea en esta primera corrida se divide la producción real entre la producción esperada. Así, se halla una eficiencia de 67.3%. Este mismo proceso se repite 80 veces para cada línea.

Al repetir este proceso 80 veces para ambas simulaciones, se calcula la eficiencia en cada una de las repeticiones. De esta manera, se tiene 80 valores para la eficiencia de la línea en la simulación 1 y 80 valores de eficiencia para la línea en la simulación 2. Para poder demostrar de manera estadística que la eficiencia aumentó en la simulación 2, primero se evalúa la normalidad de los datos. Usando el programa Minitab, se realizaron pruebas de hipótesis Anderson Darling para cada muestra de datos para determinar si los datos se distribuyen de manera normal. Las dos hipótesis para esta prueba son:

$H_0$ : La data sigue una distribución normal

$H_1$ : La data no sigue una distribución normal



**Figura 5.13** Prueba de hipótesis Anderson Darling – Ejemplo de Línea 3 S1  
Fuente: elaboración propia

En la figura 5.13 se muestra el análisis gráfico y los valores de la prueba estadística. En este ejemplo, el valor P es de 0.733. Solamente cuando el valor es menor a 0.05, no se tiene suficiente información para rechazar la hipótesis nula. Entonces, en este caso, se asume que la data se distribuye de manera normal. Sin embargo, no todas las muestras mostraron este comportamiento. En el anexo 6 y 7 se pueden observar todas las pruebas estadísticas y notar cuáles muestras se distribuyen de manera normal y cuáles no. En la tabla 5.13, un resumen de los valores p para cada una de estas pruebas. Los valores en color verde son aquellos mayores a 0.05, en los que se asume un comportamiento normal.

Línea	3	4	14	15	16
<b>Simulación 1</b>	0.733	0.006	0.301	0.005	0.084
<b>Simulación 2</b>	0.005	0.127	0.014	0.005	0.273

**Tabla 5.13** Valores p de las pruebas Anderson-Darling para cada una de las líneas de costura  
Fuente: elaboración propia

Para poder comparar las muestras entre sí, se realizó un bootstrapping en aquellas muestras que no evidenciaron un comportamiento normal. Este método de remuestreo se elaboró en el programa R studio. En el anexo 8 se pueden observar las pruebas estadísticas de estas muestras después de hacer el bootstrap. En la tabla 5.14, el resumen de los valores p. Se puede observar cómo después de este remuestreo, todas las muestras tienen un comportamiento normal.

Línea	3	4	14	15	16
<b>Simulación 1</b>	0.733	0.823	0.301	0.690	0.084
<b>Simulación 2</b>	0.409	0.127	0.393	0.578	0.273

**Tabla 5.14** Valores p de las pruebas Anderson-Darling para cada una de las líneas de costura después de bootstrapping  
Fuente: elaboración propia

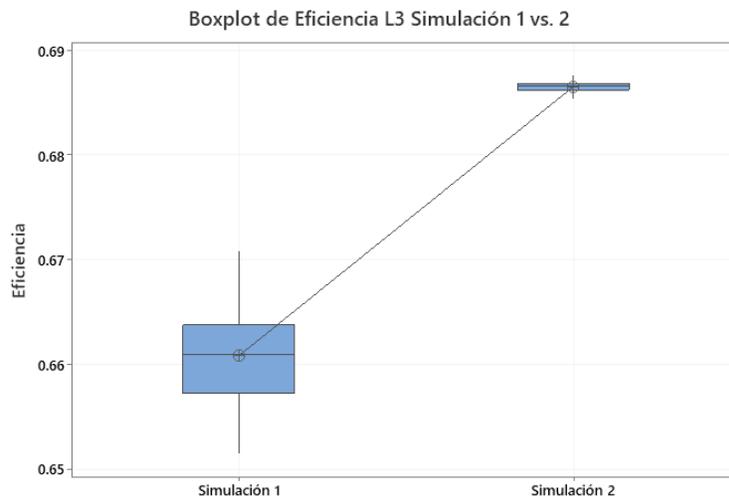
Al determinar que la información sigue este comportamiento, podemos hacer una prueba T de dos muestras. El objetivo de esta prueba es determinar estadísticamente que la eficiencia de la simulación 2 es mayor a la eficiencia de la simulación 1 para cada una de las líneas. Para ello, se elaboran dos hipótesis:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$$

Donde  $\mu_1$  es el promedio de las eficiencias en la simulación 1 y  $\mu_2$  es el promedio de las eficiencias en la simulación 2 para una misma línea.

La comparación de estas variables se muestra visualmente en el boxplot de la figura 5.14. Los resultados de la prueba estadística se muestran en la figura 5.15. Adicionalmente, en el anexo 9 se muestran las pruebas 2t para todas las líneas.



**Figura 5.14** Comparación de eficiencia en la simulación 1 y 2 para la línea 3  
Fuente: elaboración propia

### Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Eficiencia L3 E1	80	0.66079	0.00435	0.00049
Eficiencia L3B E2	80	0.686486	0.000440	0.000049

### Estimation for Difference

Difference	95% Upper Bound for Difference
-0.025693	-0.024879

### Test

Null hypothesis  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$   
Alternative hypothesis  $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

T-Value	DF	P-Value
-52.52	80	0.000

**Figura 5.15** Resultado de la prueba T de dos muestras para eficiencia en S1 y S2 para la línea 3  
Fuente: elaboracion propia

El valor p menor a 0.05 permite rechazar la hipótesis nula. De esta manera, se concluye que la eficiencia en la simulación 2 es mayor a la eficiencia en la simulación 1. Esto demuestra que la propuesta de mejora logró incrementar la eficiencia de la línea. La prueba también genera un estimado para la diferencia de eficiencias. En la tabla 5.15 se muestran estas diferencias. Es decir, el valor porcentual estimado en el que se incrementó la eficiencia.

<b>Línea</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>Estimado de incremento de eficiencia</b>	<b>2.5%</b>	<b>1.8%</b>	<b>2.0%</b>	<b>1.4%</b>	<b>2.1%</b>
<b>Intervalo de confianza 95%</b>	<b>2.5%</b>	<b>1.7%</b>	<b>1.9%</b>	<b>1.4%</b>	<b>2.0%</b>

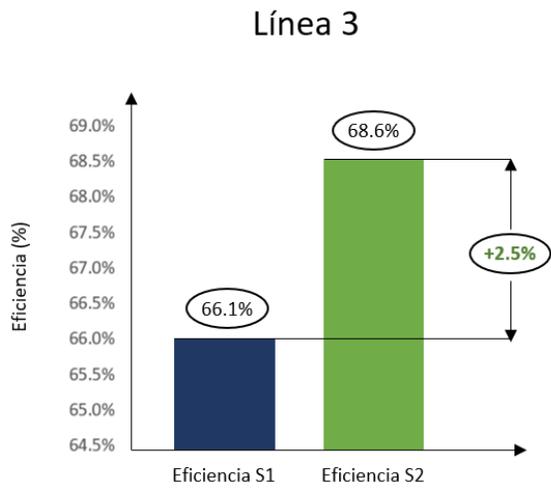
**Tabla 5.15** Incremento de eficiencia para las 5 líneas intervenidas  
Fuente: elaboración propia

Al ver que la variación entre el estimado y el valor considerando un intervalo de confianza de 95% es no mayor a 0.1%, se tomará el estimado para el análisis posterior. Por la naturaleza del modelo, se sabe que estos incrementos en eficiencia fueron producidos únicamente por disminuciones en el tiempo interno de setup. Por este motivo, se debe analizar como variaron estos tiempos entre la simulación 1 y 2 para cada una de las líneas.

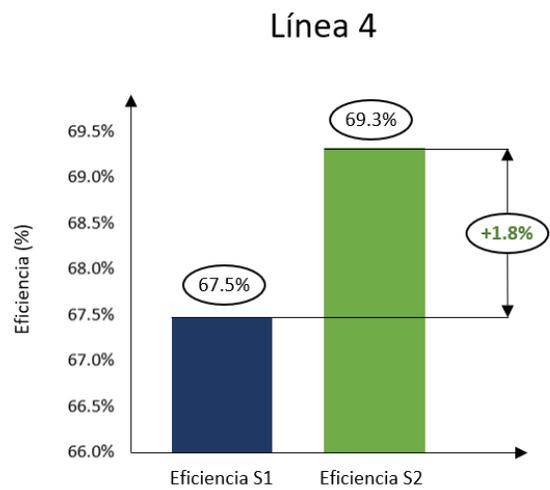
Según la media estimada de la eficiencia alcanzada por cada una de las líneas en ambas simulaciones, se comparan estos valores en la tabla 5.16 y figuras 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 y 5.21. Notamos que la línea 3 fue la que más aumento de eficiencia tuvo con 2.5% mientras la 15 la que menos con 1.6%. Todas las líneas presentaron mejores considerables y en promedio, se logró una mejora de 2.0% en la eficiencia de las líneas de costura.

<b>Línea</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>Promedio</b>
<b>Eficiencia Simulación 1 (%)</b>	66.1%	67.5%	67.5%	68.3%	67.2%	67.3%
<b>Eficiencia Simulación 2 (%)</b>	68.6%	69.3%	69.5%	69.7%	69.3%	69.3%
<b>Variación (p.p)</b>	<b>2.5%</b>	<b>1.8%</b>	<b>2.0%</b>	<b>1.4%</b>	<b>2.1%</b>	<b>2.0%</b>

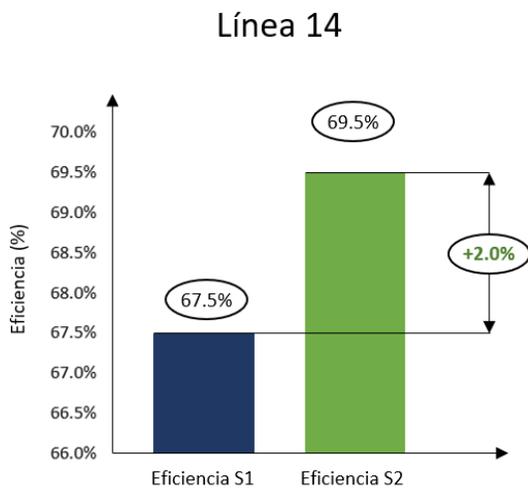
**Tabla 5.16** Comparación de eficiencia entre la simulación 1 y 2  
Fuente: elaboración propia



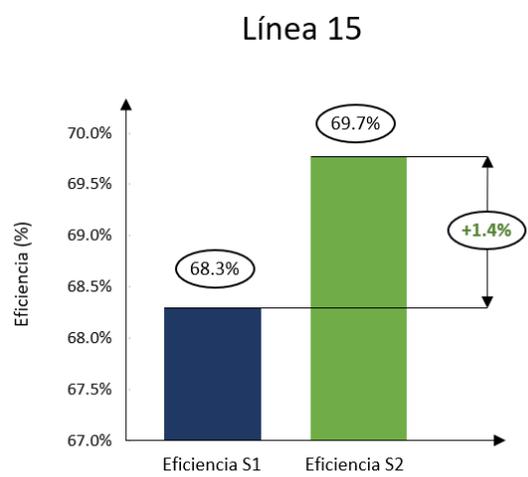
**Figura 5.16** Incremento de eficiencia en la línea 3  
Fuente: elaboración propia



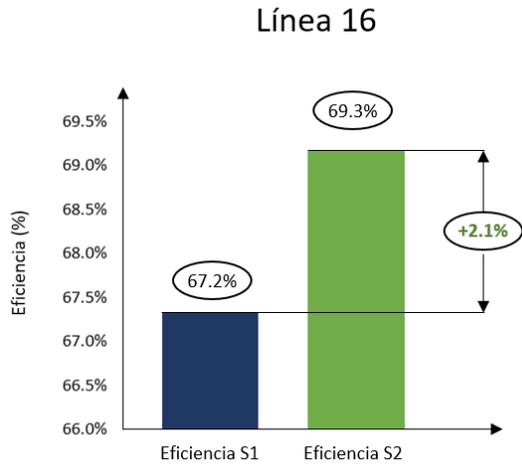
**Figura 5.17** Incremento de eficiencia en la línea 4  
Fuente: elaboración propia



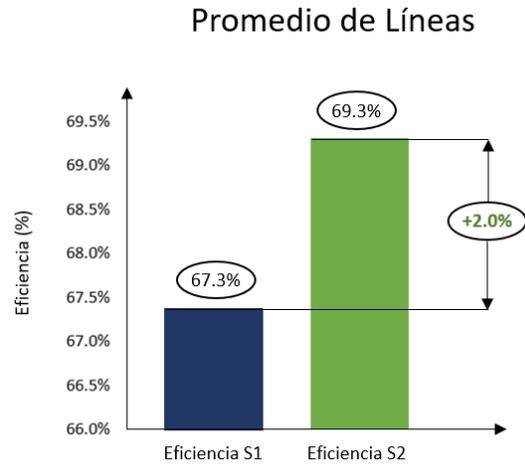
**Figura 5.18** Incremento de eficiencia en la línea 14  
Fuente: elaboración propia



**Figura 5.19** Incremento de eficiencia en la línea 15  
Fuente: elaboración propia



**Figura 5.20** Incremento de eficiencia en la línea 16  
Fuente: elaboración propia



**Figura 5.21** Incremento promedio de eficiencia en las líneas intervenidas  
Fuente: elaboración propia

Por la forma que fue construida la simulación, se atribuye este beneficio en la eficiencia únicamente a el traslado de tiempo de setup interno a externo. Por este motivo, se compara el tiempo interno en la simulación 1 con el tiempo interno de la simulación 2 para cada una de las líneas en la tabla 5.17.

Línea	3	4	14	15	16
<b>Tiempo de setup interno Simulación 1 (h)</b>	133	83	88	67	94
<b>Tiempo de setup interno Simulación 2 (h)</b>	24	23	16	10	21
<b>Variación (h)</b>	<b>108</b>	<b>60</b>	<b>72</b>	<b>57</b>	<b>73</b>
<b>Reducción porcentual</b>	<b>82%</b>	<b>72%</b>	<b>82%</b>	<b>85%</b>	<b>78%</b>

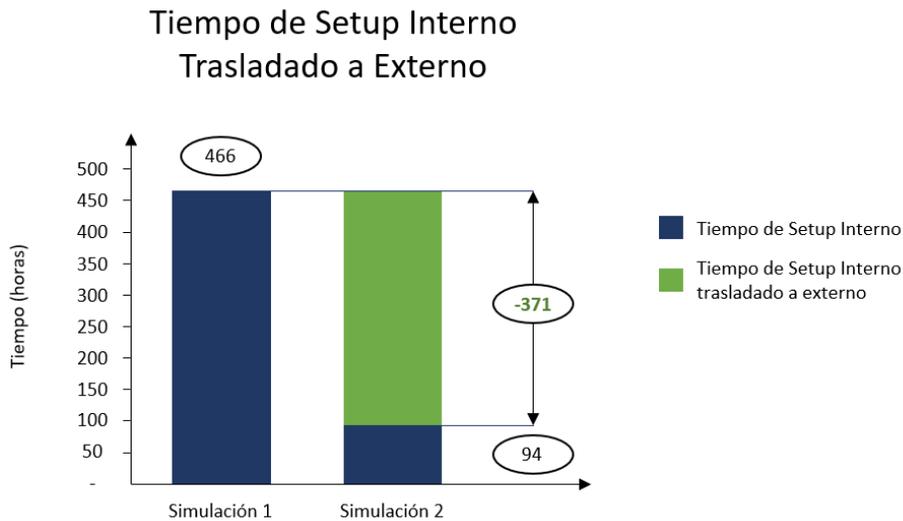
**Tabla 5.17** Reducción de tiempos de setup interno para las 5 líneas intervenidas  
Fuente: elaboración propia

Ya que la simulación solo contempla 4 meses de producción, para encontrar el efecto anualizado, se multiplicaron los valores totales por 3. En la tabla 5.18 y la figura 5.22 se puede observar el efecto en el tiempo de setup agregado, considerando las 5 líneas.

**Líneas** **3,4,14,15 y 16**  
**Agregadas**

<b>Tiempo de setup interno</b>	
<b>Simulación 1 (h)</b>	466
<b>Tiempo de setup interno</b>	
<b>Simulación 2 (h)</b>	94
<b>Variación (h)</b>	<b>371<sup>1</sup></b>
<b>Reducción porcentual</b>	<b>80%</b>

**Tabla 5.18** Reducción de tiempo de setup interno – agregado y anualizado  
Fuente: elaboración propia



**Figura 5.22** Reducción de tiempo de setup interno – agregado y anualizado  
Fuente: elaboración propia

Al reducir el tiempo de setup interno en 80%, se logran agregar 371 horas al tiempo productivo – distribuidas en las 5 líneas. Este beneficio se puede interpretar económicamente de dos maneras. En primer lugar, podrías ahorrar esa cantidad de horas/hombre y por otro lado se está dejando de aprovechar un beneficio económico de producir prendas en todo ese tiempo. Estos dos escenarios se interpretan en las tablas 5.19 y 5.20.

<sup>1</sup> Considerando un intervalo de confianza de 95%, se calcula que el rango de variación de tiempo de setup interno está entre **354 y 387 horas**. Es decir, una reducción de **entre 78% y 81%**

Componentes	Valores	Formula/ Fuente
<b>VT: Variación total de setup interno (h)</b>	371	Dato de simulación (output)
<b>TTE: Turnos de trabajo equivalentes</b>	46	VT / Tiempo de turno 371/8
<b>ST: Salario promedio por turno de trabajo (soles)</b>	66	Salario mensual promedio / turnos 1,580/24
<b>N: Número de operarios promedio por línea</b>	13	Dato de simulación (input)
<b>AHH: Ahorro en horas / hombre (soles)</b>	S/. 39,700 <sup>2</sup>	TTE * ST * N 43*65.83*13

**Tabla 5.19** Ahorro anual en horas/hombre  
Fuente: elaboración propia

Componentes	Valores	Formula/ Fuente
<b>VT: Variación total de setup interno (min)</b>	22,275	Dato de simulación (output)
<b>TE: Tiempo estándar de prenda básica (min)</b>	12.3	Dato de simulación (input)
<b>N: Número de operarios promedio por línea</b>	13	Dato de simulación (input)
<b>P: Número de prendas básicas posibles</b>	23,543	VT / (TE/N) 20,660/ (12.3/13)
<b>E: Eficiencia promedio</b>	69.3%	Dato de simulación (output)
<b>PP: Precio promedio de prenda básica (soles)</b>	24	Dato de empresa
<b>OI: Oportunidad de ingreso adicional (soles)</b>	S/. 391,600 <sup>3</sup>	P * E * PP 21,833*0.692*24

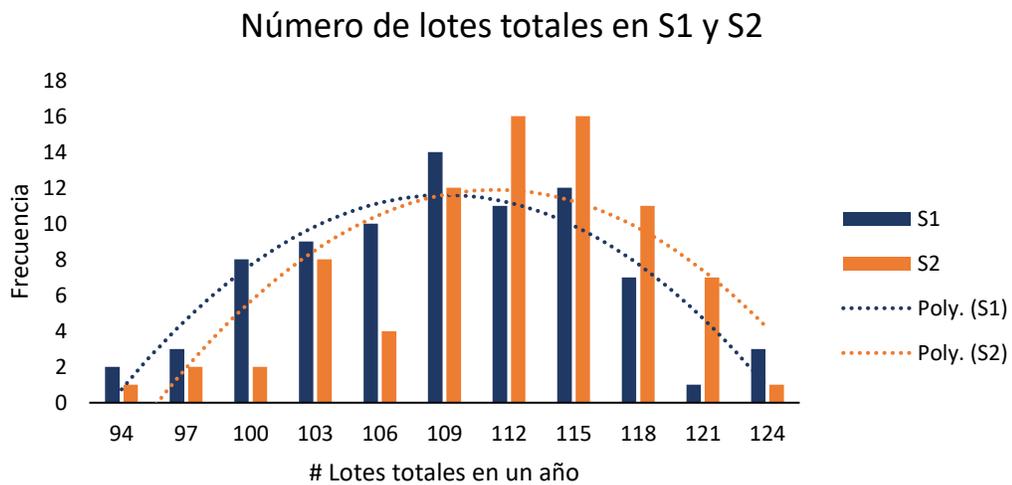
**Tabla 5.20** Oportunidad de ingresos adicionales por reducción de tiempo de setup interno  
Fuente: elaboración propia

<sup>2</sup> Considerando un intervalo de confianza de 95% para los tiempos de setup interno, se calcula el rango de potenciales ahorros entre S/. 37,900 y S/. 41,400

<sup>3</sup> Considerando un intervalo de confianza de 95% para los tiempos de setup interno, se calcula el rango de potenciales ingresos adicionales entre S/. 373,800 y S/. 407,900

En el primer escenario, en la tabla 5.19, se asume que la fábrica podría decidir reducir anualmente 43 turnos de trabajo produciendo la misma cantidad de prendas. Esto generaría un ahorro en planillas de aproximadamente S/. 39,700 todos los años. Sin embargo, un escenario más cercano a la realidad puede ser que la fábrica decida incrementar su producción aprovechando este tiempo adicional. En ese caso, podría elaborar 23,543 prendas básicas adicionales valorizadas en S/. 391,600 considerando una eficiencia promedio de 69.2%.

Otra manera de ver el efecto que tuvo esta mejora es el impacto en el valor esperado de número de lotes producidos. Cada vez que se realiza un cambio de modelo, se inicia un nuevo lote de producción. Al tener más horas de producción efectivas en la simulación 2, se tiene un mayor número de cambios de modelo y por tanto un mayor número de lotes producidos. Este efecto se puede observar en la figura 5.23.



**Figura 5.23** Número de lotes de producción en Simulación 1 y 2  
Fuente: elaboración propia

Las barras azules corresponden a la cantidad de lotes producidos en la simulación 1 y las naranjas, los lotes en la simulación 2. El valor esperado, en la simulación 1 es de 109 lotes mientras para la simulación 2, 111.8. Las líneas punteadas muestran estos valores esperados en sus puntos máximos. Se puede decir entonces que, con la implementación de la mejora, se puede esperar un incremento de aproximadamente  $2.8^4$  lotes de producción anualmente. Esto equivale, según el lote

<sup>4</sup> Considerando un intervalo de confianza de 95% para la diferencia en el número de lote, se halla que este valor podría ser **por lo menos 1.0 lote anual**. Considerando este valor y el límite inferior para las horas de setup interno, la disminución del **tiempo de ciclo sería 3.2 horas** por lote de producción.

promedio, a un aumento en el número de prendas de 15,932 entre prendas básicas y complejas. Considerando este tamaño de lote de 111.8 y el tiempo ahorrado en setup interno de 371 horas, se puede calcular la disminución de tiempo de ciclo promedio:  $371/111.8 = 3.3$  horas. Esto corresponde a una reducción de aproximadamente 4%. En el anexo 10 se presentan todos los resultados más relevantes considerando los intervalos de confianza.

## **5.5 Hoja de ruta de implementación**

En caso la compañía decida implementar esta mejora, hay varios factores a considerar. Estos se pueden agrupar en dos categorías: adecuación del espacio físico y capacitación y adaptabilidad del personal. Se deben tener algunas consideraciones para poder habilitar la nueva línea. No solo habilitarla y que esté disponible sino también distribuir las demás líneas (3,4,14,15 y 16) para que estén lo más cerca posible a la nueva línea. En cuanto al personal, los operarios van a adoptar una nueva manera de trabajo al cambiar de línea de producción cada vez que se cambie de modelo. Esto requiere capacitación y entrenamiento. Además, culturalmente es importante que los operarios, supervisores, mecánicos y jefes de la planta de costura estén de acuerdo con el proyecto y lo vean como una oportunidad de hacer su trabajo mejor. Sin esta última consideración, se minimizará el éxito de la implementación.

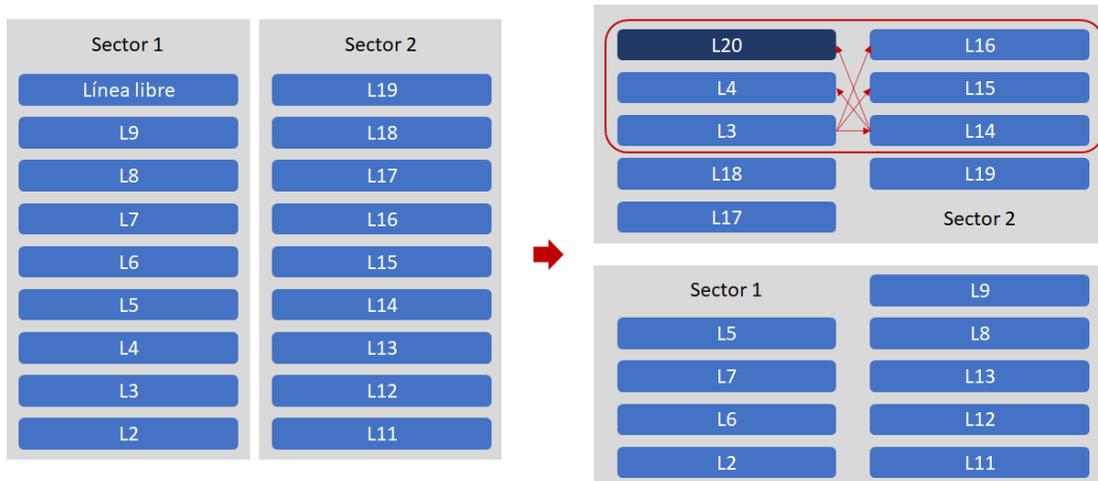
En primer lugar, para poder tener adecuar el espacio físico, se necesita habilitar la línea 20. En la figura 5.24 se muestra el estado actual de la línea y algunos atributos que ya tiene y otros que no. Por ejemplo, la línea ya cuenta con iluminación, extensiones de energía para conectar las máquinas y mesas de trabajo. Entre las adecuaciones que faltaría realizar se encuentran: señalar el espacio, hacer una limpieza del espacio y comprar o traer sillas de algún otro lugar de la planta. Actualmente esta línea se usa como depósito de máquinas viejas que quedaron retiradas de las líneas de costura por mal funcionamiento. Lo primero que se debe hacer es una limpieza de este espacio. Esto contempla revisar rigurosamente cuáles máquinas pueden ser recuperadas y cuáles deben ser vendidas o desechadas. Además, se debe mandar a hacer la señalética que todas las líneas tienen. Esto es: señalización de seguridad, detalles de línea, avances de producción, etc. Por último, se necesitan por lo menos 16 líneas ya que este es el número máximo de operarios por línea.



**Figura 5.24** Estado actual de la línea 20  
Fuente: elaboración propia

La adecuación del espacio físico también contempla que las líneas 3,4,14,15 y 16 estén lo más cerca posible a la línea 20. Es por esto que se deben trasladar muchas de las líneas a distintas posiciones. Para hacer esta restructuración se tomaron 4 criterios en el siguiente orden de importancia: cercanía de las líneas 3,4,14,15 y 16 de la línea 20, mantener las líneas 3,4,14,15,16 y 20 en un mismo sector, mantener el mayor número de líneas en el mismo sector y cambiar de posición el menor número de líneas. El primer criterio es el más importante ya que si no se logra, el tiempo de setup interno no se minimizará como se planea. El segundo criterio es relevante ya que un mismo supervisor, encargado de un solo sector, debe encargarse de la inspección del funcionamiento de esta nueva forma de trabajo. El tercer criterio es importante ya que cada sector tiene un supervisor que conoce a detalle el funcionamiento de cada línea y sus operarios. Por eso, se debe evitar que se le asignen una gran cantidad de líneas nuevas que no conoce. En cuarto lugar, considerando los primeros elementos, se deben hacer estos cambios con el menor desplazamiento posible para requiera el menor tiempo y gasto posible.

En la figura 5.25 se muestra la nueva distribución propuesta. El rectángulo rojo resalta las líneas 3,4,14,15,16 y 20 juntas y las flechas indican algunos de los posibles traslados dentro de ellas. Así mismo, se muestran las líneas que pertenecen a los nuevos sectores 1 y 2 y sus nuevas posiciones.



**Figura 5.25** Nueva distribución de líneas de costura considerando implementación  
Fuente: elaboración propia

Ambos sectores tendrían 3 nuevas líneas a su cargo: el sector 2, las líneas 3, 4 y 20 mientras el sector 1, las líneas 11,12 y 13. Las únicas líneas que mantendrían su posición inicial son las líneas 2,5,11,12,13 y 20. Todas las demás tendrán que desplazarse. Es importante mencionar que el desplazamiento sería mover todas las máquinas y sillas. Es decir, los operarios trabajarán usando los mismos equipos, pero en otro espacio físico.

El segundo componente a considerar es la capacitación que se debe brindar a los operarios. Especialmente a los operarios de las líneas 3,4,14,15 y 16. En primera instancia, el jefe de la planta de costura debe comunicar a todo el personal los cambios que se realizarán. Debe comentar los cambios de posición y de cómo esta implementación va a mejorar la productividad de la planta, así como evitar arduos turnos de trabajo. Es decir, debe transmitir que esta mejora impactará positivamente a todos los colaboradores. Adicionalmente, los analistas de ingeniería serán los encargados de capacitar a los operarios de las líneas 3,4,14,15 y 16 a cómo se deben realizar los traslados de una línea a otra cuando se cumplan los lotes de producción. El jefe de mecánicos, será el encargado de instruir a los mecánicos de estas líneas a realizar estos setups en la línea que se encuentre disponible. En simultáneo el jefe de la planta debe comprometer al equipo de planeamiento para que ellos desarrollen el plan de producción de tal manera que optimice la utilización de las líneas.

Para poder cuantificar económicamente cuánto tendría que invertir la compañía en adecuar este espacio, se calculó la cantidad de horas necesarias en la limpieza y clasificación de máquinas de la línea 20 así como el personal requerido. Este detalle se observa en la tabla 5.21.

<b>Actividad</b>	<b>Horas</b>	<b>Personal</b>
Limpieza de línea - Trasladar máquinas al patio principal de la planta - Hacer una limpieza profunda del lugar	8 horas	1 persona de limpieza 1 mecánico
Clasificación de máquinas - Clasificar máquinas abandonadas en tres categorías: por recuperar, para vender y para desechar - Las máquinas en la primera categoría se llevan al taller y el resto se trasladan fuera de la planta	16 horas	3 mecánicos

**Tabla 5.21** Requerimiento de horas y personal para la limpieza y clasificación de máquinas de la línea 20  
Fuente: elaboración propia

Considerando las remuneraciones promedio de personal de limpieza y mecánicos, se elaboró la tabla 5.22 para determinar el costo total. Además, se consideraron S/. 300 soles en señalización y S/. 960 en sillas según cotización de proveedores.

<b>Actividad</b>	<b>Costo</b>	<b>Formula</b>
Limpieza de línea	S/. 116	Remuneración / 24
Clasificación de máquinas	S/. 395	3 mecánicos
Señalización de líneas	S/. 300	Dato proveedor
Sillas	S/. 960	16 sillas de 60 soles cada una – dato proveedor
Costo total de habilitar línea 20	S/. 1,771	Suma de los componentes

**Tabla 5.22** Costo total de habilitar línea 20  
Fuente: elaboración propia

Si bien el costo total de habilitar la línea 20 es de S/. 1,771 también se deben cuantificar las horas invertidas en la comunicación y capacitación de la reubicación de las líneas y la nueva forma en la que trabajarán las líneas 3,4,14,15 y 16. La primera sesión de comunicación, o información, durará 1 hora y será a todos los operarios de la planta de costura. Adicionalmente, se necesitarán 10 mecánicos por un turno de 8 horas para realizar todos los traslados de máquinas y sillas a los lugares correspondientes. También se elaborará una sesión de 1 hora con todos los operarios de las líneas 3,4,14,15 y 16 y otra sesión de una hora con los 3 mecánicos de estas líneas para explicar cómo será su nueva dinámica de trabajo cuando ocurra un cambio de modelo. Estas instrucciones serán fortalecidas constantemente por la supervisora del sector 2. Se elaboró un resumen de actividades en la tabla 5.23.

<b>Actividad</b>	<b>Horas</b>	<b>Personal</b>
C1: Sesión informativa a todos los operarios de la planta de costura	1 hora	221 operarios
C2: Sesión informativa con mecánicos de las líneas 3,4,14,15 y 16	2 hora	3 mecánicos
C3: Sesión informativa con operarios de líneas 3,4,14,15 y 16	1 hora	65 operarios
C4: Capacitación para operarios de líneas 3,4,14,15 y 16	2 horas	65 operarios
T1: Traslado de líneas de costura a sus nuevas posiciones	8 horas	10 mecánicos

**Tabla 5.23** Horas invertidas y personal involucrado en sesiones informativas, capacitación y traslado de líneas  
Fuente: elaboración propia

Es importante que las horas invertidas del jefe de la planta de costura, jefe de mantenimiento y jefe de ingeniería no están involucrados porque sus honorarios no se miden por hora y además tienen espacio en sus agendas para reuniones de esta índole.

<b>Actividad</b>	<b>Costo</b>	<b>Formula</b>
C1	S/. 1,819	Remuneración promedio por hora de operarios * 221
C2	S/. 49	Remuneración promedio por hora de mecánicos * 6
C3	S/. 535	Remuneración promedio por hora de operarios * 65
C4	S/. 1,605	Remuneración promedio por hora de operarios * 65 * 3
T1	S/. 658	Remuneración promedio por turno de mecánico * 10
Costo de informar, capacitar y trasladar líneas	S/. 4,666	Suma de los componentes

**Tabla 5.24** Costo en sesiones informativas, capacitación y traslado de líneas  
Fuente: elaboración propia

Al cuantificar las horas invertidas por los operarios y mecánicos se llega a la suma de S/.4,666 en el costo de informar, capacitación y traslado de líneas. Se elaboró un resumen en la tabla 5.24. Sumando este monto con el costo de adecuar las líneas se llega a un total de S/. 6,377.

<b>Actividad</b>	<b>Costo</b>
Costo de habilitar línea 20	S/. 1,711
Costo de informar, capacitar y trasladar líneas	S/. 4,666
<b>Total</b>	<b>S/. 6,377</b>

**Tabla 5.25** Costo total de implementación  
Fuente: elaboración propia

Al ponderar todos los hallazgos de la investigación se determina que el costo de implementación de esta mejora es S/. 6,377 mientras la oportunidad de ingresos es de S/. 391,600. Se elaboró un resumen en la tabla 5.25.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Al finalizar el análisis de la investigación y los resultados obtenidos, se logra extraer un número de conclusiones. En esta sección se busca resumir los hallazgos más relevantes de la investigación y vincularlos a los efectos que podrán tener en la empresa Textiles S.A.

- Se concluye, de acuerdo al análisis y diagnóstico del estado actual de Textiles S.A, que la brecha de eficiencia en las líneas de costura, se puede explicar principalmente por los siguientes factores: tiempos de setup, paros de máquina no planificados, errores en la carga de materia prima, reprocesos por calidad, capacitación del personal por rotación constante, ausentismo y ergonomía.
- Se concluye que la propuesta de mejora – agregar una nueva “línea de cambio de modelo” con la función de agilizar las actividades de setup trasladando así parte del setup interno al setup externo – puede contribuir en la disminución de la brecha de eficiencia que presenta la planta de costura de Textiles S.A. Podemos, con un nivel de confianza de 95%, concluir que la eficiencia de las líneas puede mejorar en por lo menos 1.9%.
- Se concluye que la nueva “línea de cambio de modelo” puede trasladar un aproximado de 371 horas de setup interno a setup externo anualmente – pudiendo convertir estas horas adicionales en horas productivas. Considerando la eficiencia promedio de la planta, en esta cantidad de horas adicionales, se pueden producir 23,543 prendas básicas, correspondiendo una oportunidad de generar ingreso adicional de S/. 391,600. En caso la planta esté buscando ahorrar la mano de obra que estas horas adicionales de producción le generaría, el ahorro aproximado sería de S/. 39,700.
- Se concluye que el aumento en las horas de producción, puede aumentar el número de lotes que se producen en la planta de costura. Este valor se estima en un promedio de 2.8 lotes adicionales anualmente. Esto corresponde a una reducción de 3.3 horas en promedio en el tiempo de ciclo de producción lo que representa aproximadamente 4%.
- Se concluye que, la implementación de la propuesta de mejora comprende una responsabilidad de todo el personal de la planta para su ejecución satisfactoria. Además, la reorganización del espacio físico de las líneas de costura, limpieza del lugar y la capacitación del personal. Esta implementación tendría un costo total de S/. 6,377.

## Recomendaciones

Según el análisis de los resultados, los factores a considerar para la implementación de la propuesta y las conclusiones, se determinan algunas recomendaciones que debe considerar Textiles S.A.

- Para seguir disminuyendo la brecha de eficiencia en la planta de costura, es necesario tener un programa de medición continua de los principales factores de ineficiencias de las líneas. Por ejemplo, llevar un registro de los motivos de paros de máquinas, tiempos de paros no planeados y detalle de la intervención hecha por el mecánico. Con una información que tenga esta rigurosidad, se puede proceder a elaborar otros proyectos asociados a lean management con el fin de minimizar la brecha de eficiencia.
- Una manera de seguir la mejora continua en la reducción de tiempos de setup, es el orden y la limpieza. En este contexto específicamente, mantener un inventario claro y actualizado frecuentemente con la relación de máquinas de coser y su ubicación. Mientras menos tiempo pasen los mecánicos buscando las máquinas en el proceso de setup, mayor será la eficiencia lograda.
- En la etapa de implementación de esta mejora, la empresa debe ser muy cuidadosa con las expectativas y motivaciones de los empleados. Especialmente los operarios y supervisores, quienes vivirán el cambio de manera cotidiana. Es importante medir constantemente su satisfacción, compromiso y rendimiento, así como conocer sus inquietudes.
- De acuerdo a las mejoras capturadas al implementar la mejora en las 5 líneas, se puede evaluar continuar desplegando el mismo proyecto para las líneas restantes. Esto generaría mejoras adicionales en la eficiencia global de la planta de costura.
- Es recomendable que el área de ingeniería esté en constante coordinación con planeamiento en la implementación de este proyecto. El área de planeamiento debe ver esta mejora como una oportunidad para agendar los lotes más cortos en las líneas 3, 4, 14, 15 y 16. Así mismo, debe considerar planear estos lotes de manera escalonada para no generar colas en la línea de cambio.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] “Latin America Textile Business Review, Emerging Textile Markets”. [En línea]. Disponible en: <https://www.textilemedia.com/textile-reports/emerging-textile-markets/latin-america-textile-review/>. [Accedido: 07-nov-2019].
- [2] “Industria textil peruana sorprende al mundo”. [En línea]. Disponible en: <https://peru.info/es-pe/comercio-exterior/noticias/7/32/industria-textil-peruana-sorprende-al-mundo>. [Accedido: 07-nov-2019].
- [3] “Peru | Trade Summary | 2017 | WITS | Text.” [Online]. Available: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/PER/Year/LTST/Summarytext>. [Accedido: 05-Nov-2019].
- [4] J. D. Bajpai, “SMED (Single-Minute Exchange of Die) methodology in Garment manufacturing Industry: Case study in reducing Style Change over Time”, p. 7, 2014.
- [5] “¿Qué es el SMED y cuándo se aplica?”. [En línea]. Disponible en: <http://www.actiongroup.com.ar/curso-teorico-practico-sobre-smed/>. [Accedido: 08-nov-2019].
- [6] M. A. Aguilar, “Setup Reduction Time at a Batch Manufacturing Plant”, p. 98.
- [7] World Trade Organization, “WORLD TRADE STATISTICAL REVIEW 2018”, World Trade Organization, p. 11, 2018.
- [8] “World | Trade Summary | WITS | Data”. [En línea]. Disponible en: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/WLD/Year/LTST/Summary>. [Accedido: 07-nov-2019].
- [9] D. B. Keesing y M. Wolf, “Textile quotas against developing countries. “, Textile quotas against developing countries., N°.23, 1980.

- [10] “Gráfico de Exportaciones por grupo de productos - valores FOB (millones US\$)”. [En línea]. Disponible en:  
<https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/consulta/grafico>. [Accedido: 08-nov-2019].
- [11] P. Benza, “Exportación textil y de confecciones acumula caída interanual de 27% a septiembre”, *Semana Económica*, 10-nov-2015. [En línea]. Disponible en:  
<http://semanaeconomica.com/article/economia/comercio-exterior/173575-exportacion-textil-y-de-confecciones-acumula-caida-interanual-de-27-a-septiembre/>. [Accedido: 08-nov-2019].
- [12] T. Kudo, “Myanmar's apparel industry in the new international environment: prospects and challenges “, 2013
- [13] M. Steinisch et al., “Work stress: Its components and its association with self-reported health outcomes in a garment factory in Bangladesh—Findings from a cross-sectional study”, *Health & Place*, vol. 24, pp. 123-130, nov. 2013.
- [15] “¿Cuáles son los principales desafíos de la industria de confección?”, *Audaces*, 07-mar-2017
- [15] McKinsey, “The State of Fashion 2019”, p. 108, 2019.
- [16] T. H. Oum, M. W. Tretheway, y W. G. Waters, “Concepts, methods and purposes of productivity measurement in transportation”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 26, n° 6, pp. 493-505, nov. 1992.
- [17] D. A. Hashim, “COST & PRODUCTIVITY IN INDIAN TEXTILES: POST MFA IMPLICATIONS”, p. 56.
- [18] Herrera, J. (2018). “Mejora en la eficiencia y en el ambiente de trabajo en Texgroup S.A”, *Ingeniería Industrial*, 0(036), 35-66, 2018.

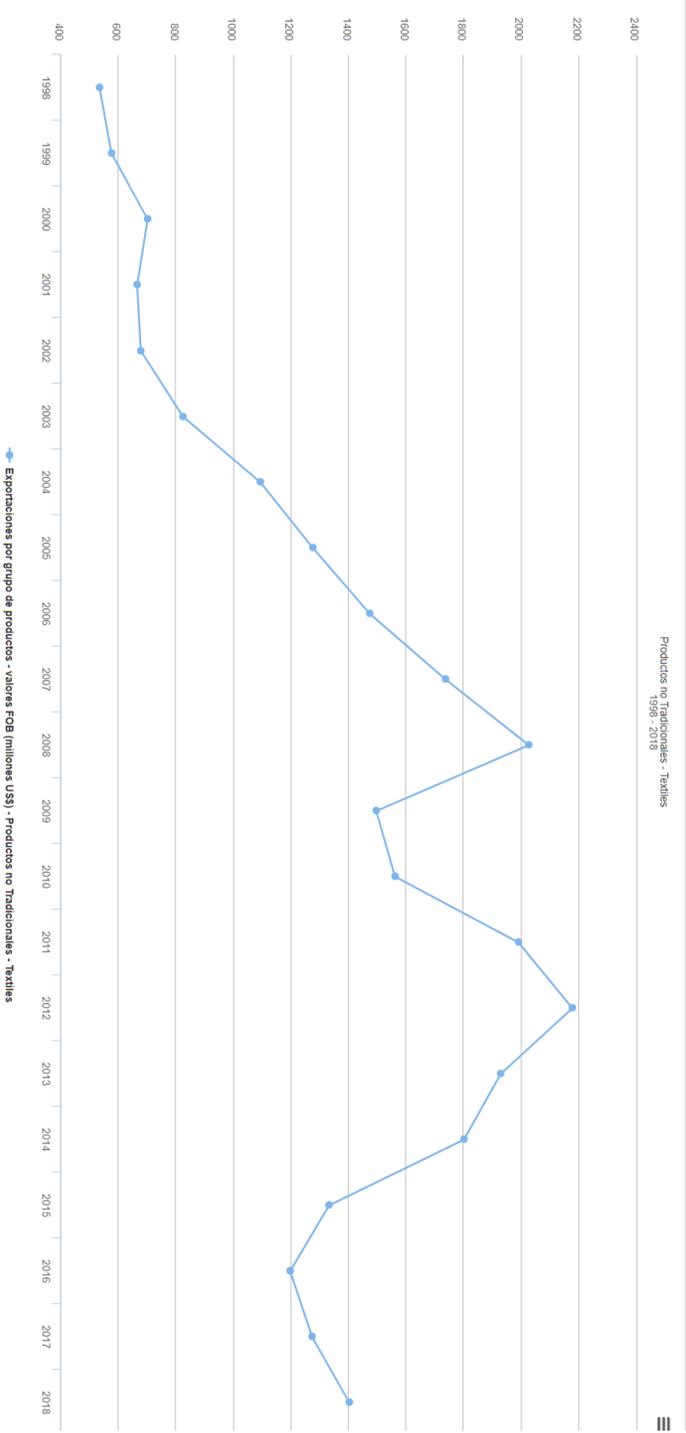
- [19] H. R. Cepeda Sánchez y L. V. Sigüencia Villa, “Enfoque Global para el balance de una línea de Producción de Harinas de origen Animal”, Repositorio de la Universidad Estatal de Milagro, dic. 2018.
- [20] Mondelo, Pedro R., et al. “Ergonomía 4.” Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica, 2002.
- [21] Mondelo, Pedro R. y Enrique Gregori Torada. “Ergonomía 1.” Fundamentos. Universitat Politècnica de Catalunya, 1999.
- [22] López Torres, Virginia Guadalupe, y Marín Vargas, Ma. Enselmina, y Alcalá Álvarez, Ma. Carmen, “Ergonomía y Productividad: variables que se relacionan con la competitividad de las plantas maquiladoras.” Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, vol. III, no. 9, 2012, pp.17-32.
- [23] Llana, A., “Ergonomía y Psicología aplicada, cuarta edición.” Valladolid: Editorial Lex Nova., 2004
- [24] C. Ramírez, “Ergonomía y Productividad”, México: Editorial Limusa, 1991
- [25] “Cinco enfermedades ocasionadas por una mala postura en el trabajo”. [En línea]. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/salud/2017/03/1/cinco-enfermedades-ocasionadas-por-una-mala-postura-en-el> [Accedido: 06-mayo-2020].
- [26] S. Robbins y T. Judge, “Comportamiento organizacional”, México: Pearson Prentice Hall, 15ª. ed., 2013
- [27] F. Barroso, “CVL en maquiladoras textiles yucatecas”, Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Iztapalapa, 2009
- [28] Tanoira, Francisco Gerardo Barroso y Laura Balderas Martínez, “XIV Congreso Internacional de la Academia de Ciencias Administrativas AC (ACACIA)”, 2010
- [29] V. Robles Marín, A. Hernández y A. Badillo, “Análisis de la relación entre educación, capacitación y productividad de las empresas de los sectores: metalmeccánico, textil y

- transporte de la ciudad de Barrancabermeja”, Revista CITECSA, vol. 5, n.º 9, pp. 4-24, 2015.
- [30] S. Kaya y M. Ç. Erdoğan, “A RESEARCH ABOUT FACTORS WHICH CAUSE QUALITY DEFECTS IN APPAREL PLANTS AT THE SEWING DEPARTMENT”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, vol. 18, n.º 2, pp. 135-141, dic. 2008.
- [31] G. Mateo y A. Maria, “Reducción de costos generados por no conformidades de costura mediante la implementación de herramientas Lean Manufacturing”, *Repositorio de Tesis - UNMSM*, 2016
- [32] A. Abraham, “Setup Time Reduction through SMED Technique in a Stamping Production Line”, vol. 11, n.º 2, p. 6, 2012.
- [33] J. Kušar, “Reduction of Machine Setup Time”, *Journal of Mechanical Engineering*, p. 14, 2010.
- [34] M. A. Almomani, M. Aladeemy, A. Abdelhadi, y A. Mumani, “A proposed approach for setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 66, n.º 2, pp. 461-469, oct. 2013
- [35] U. Berna, “An Application of SMED Methodology” *World Academy of Science, Engineering and Technology*, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, vol. 5, n.º 7, 2011
- [36] J. Filla, “The Single Minute Exchange of Die Methodology in a High-Mix Processing Line”, *Journal of Competitiveness*, vol. 8, pp. 59-69, jun. 2016.
- [37] S. Shingo, *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Routledge, 2019.
- [38] P. G. Ferradás y K. Salonitis, “Improving Changeover Time: A Tailored SMED Approach for Welding Cells”, *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 598-603, ene. 2013.

- [39] M. A. Ibrahim, E. Mohamad, M. H. Arzimi, M. A. Rahman, A. Saptari, A. S. Shibghatullah, M. A. Sulaiman y M.A. Ali, “Enhancing Efficiency of Die Exchange Process Through Single Minute of Exchanging Die at a Textile Manufacturing Company in Malaysia “, J Appl Sci, vol. 15, n.º 3, pp. 456-464, 2015
- [40] J. D. Bajpai, “SMED (Single-Minute Exchange of Die) methodology in Garment manufacturing Industry: Case study in reducing Style Change over Time”, p. 7, 2014.
- [41] P. Naresh “Implementation of lean manufacturing tools in garment manufacturing process focusing sewing section of men’s shirt “, 2011

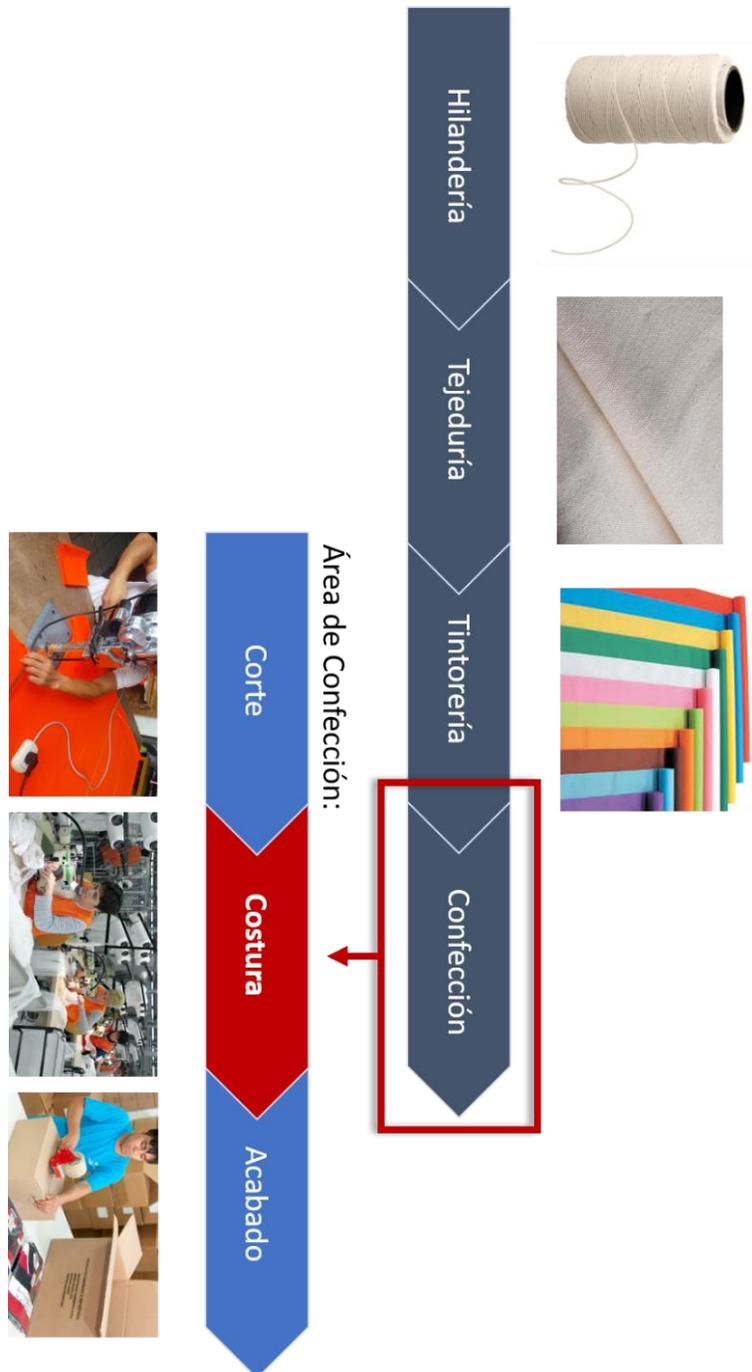
# ANEXOS

# Anexo 1: Exportaciones de textiles en millones de USD desde el año 1998 al 2018



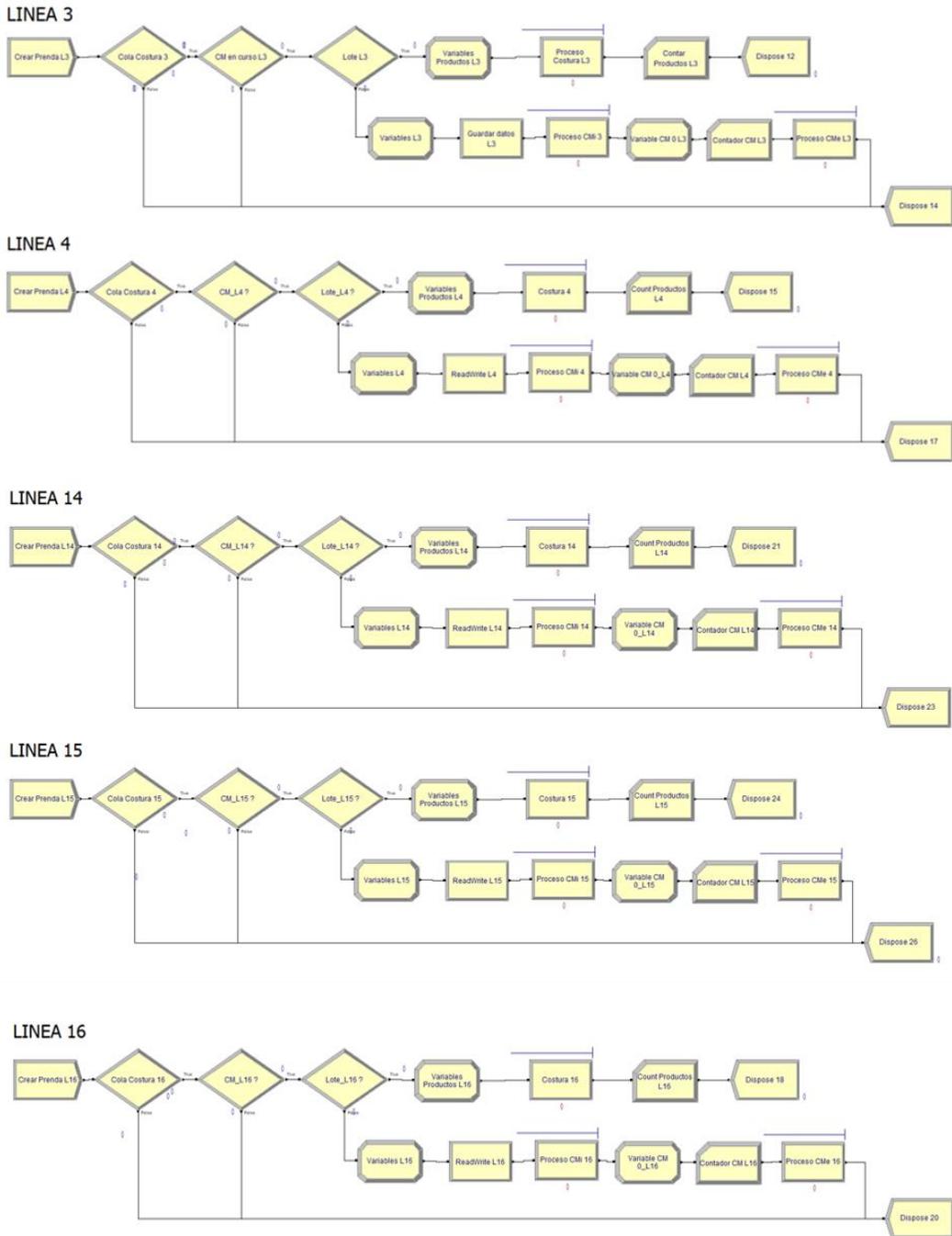
Anexo 1 Exportación de textiles del Perú en millones de USD desde el año 1998 al 2019  
Fuente: [10]

## Anexo 2: Proceso textil con detalle en el área de confección



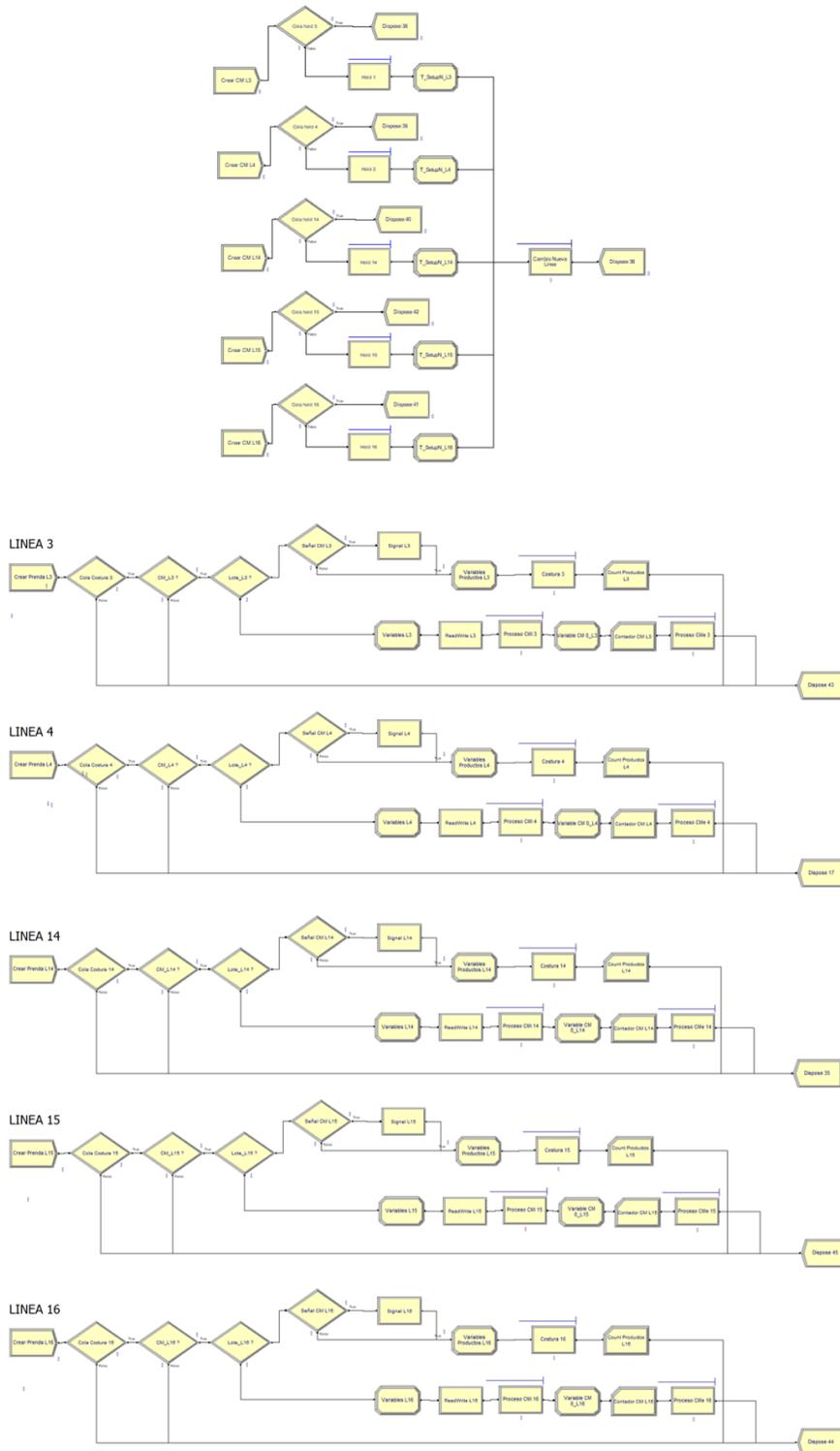
Anexo 2 Proceso textil con detalle en el área de confección  
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 3: Simulación 1 en Rockwell Arena



Anexo 3 Simulación 1 en Rockwell Arena  
Fuente: elaboración propia

## Anexo 4: Simulación 2 en Rockwell Arena



Anexo 4 Simulación 2 en Rockwell Arena  
Fuente: elaboración propia

## **Anexo 5: Supuestos y limitaciones de las simulaciones**

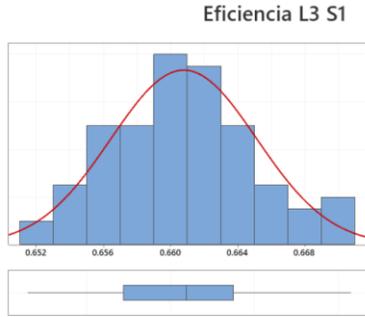
### **Supuestos:**

- En 4 meses, la planta trabaja 768 horas continuas – equivalente a 24 turnos de 8 horas mensuales.
- Todas las líneas tienen el mismo número de operarios y máquinas independientemente del modelo en costura – 13 operarios y 13 máquinas de costura.
- Las ineficiencias de las líneas de costura – sin considerar el tiempo de setup dentro de estas – se fija en 30% del tiempo de producción.
- El tiempo estándar definido por la simulación – descontando las ineficiencias fijadas - es exactamente el tiempo que se demorará un operario en realizar el trabajo de costura.
- Los mecánicos de línea solo se dedican a realizar actividades de setup
- La simulación inicia con todas las líneas recién empezando un nuevo lote – se asume que el setup para ese primer lote ya fue realizado.
- Para la simulación 2, se asume que la nueva línea se dará a basto con el stock de máquinas.

### **Limitaciones:**

- La simulación no contempla meses con mayor carga de trabajo que otros – por ejemplo, si los pedidos están retrasados, la planta podría decidir trabajar horas o turnos extra.
- La simulación no contempla que, de acuerdo a la complejidad de las prendas, se pueden asignar distintas máquinas, distinto número de máquinas y distinto número de operarios para un determinado lote.
- La única ineficiencia que cuantifica y analiza la simulación de manera estocástica es el tiempo de setup
- Solo se contemplan dos tipos de prendas – simples y complejas. Cada una tiene un tiempo de setup específico. En la realidad, existen más de dos tipos de complejidad.
- No se considera el tiempo que invierten los mecánicos en resolver problemas de fallas de máquinas durante la producción de las prendas – el modelo se limita a que su tiempo está dedicado solo a las actividades de setup. No se puede determinar su verdadera utilización.

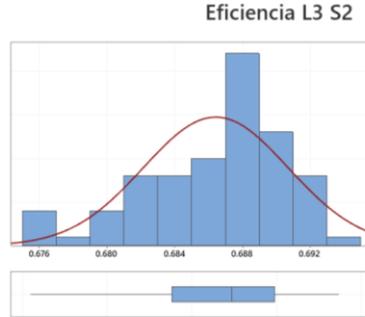
# Anexo 6: Pruebas estadísticas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 3,4 y 14



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.25
P-Value	0.733
Mean	0.66079
StDev	0.00435
Variance	0.00002
Skewness	0.150589
Kurtosis	-0.418447
N	80
Minimum	0.65147
1st Quartile	0.65719
Median	0.66093
3rd Quartile	0.66375
Maximum	0.67077
95% Confidence Interval for Mean	0.65982 0.66176
95% Confidence Interval for Median	0.65980 0.66183
95% Confidence Interval for StDev	0.00377 0.00516

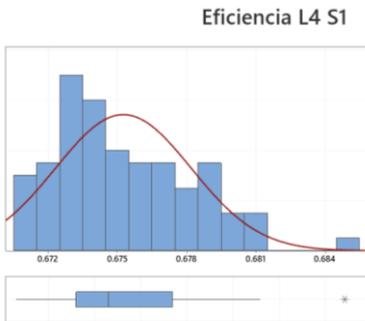
Línea 3, Simulación 1



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	1.39
P-Value	<0.005
Mean	0.68643
StDev	0.00428
Variance	0.00002
Skewness	-0.780929
Kurtosis	0.032266
N	79
Minimum	0.67547
1st Quartile	0.68384
Median	0.68739
3rd Quartile	0.68992
Maximum	0.69371
95% Confidence Interval for Mean	0.68547 0.68739
95% Confidence Interval for Median	0.68642 0.68818
95% Confidence Interval for StDev	0.00371 0.00508

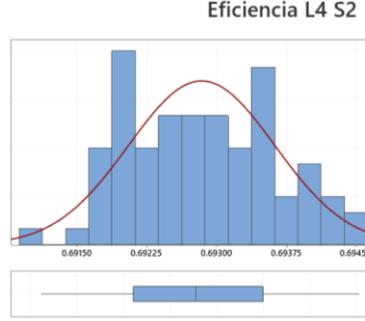
Línea 3, Simulación 2



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	1.13
P-Value	0.006
Mean	0.67526
StDev	0.00294
Variance	0.00001
Skewness	0.688540
Kurtosis	0.126384
N	80
Minimum	0.67062
1st Quartile	0.67320
Median	0.67461
3rd Quartile	0.67739
Maximum	0.68487
95% Confidence Interval for Mean	0.67461 0.67592
95% Confidence Interval for Median	0.67376 0.67571
95% Confidence Interval for StDev	0.00255 0.00348

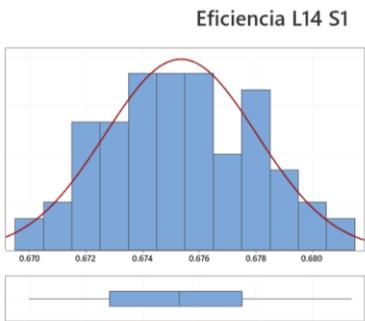
Línea 4, Simulación 1



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.58
P-Value	0.127
Mean	0.69284
StDev	0.00079
Variance	0.00000
Skewness	0.119588
Kurtosis	-0.827162
N	80
Minimum	0.69112
1st Quartile	0.69211
Median	0.69277
3rd Quartile	0.69350
Maximum	0.69454
95% Confidence Interval for Mean	0.69266 0.69301
95% Confidence Interval for Median	0.69256 0.69311
95% Confidence Interval for StDev	0.00068 0.00093

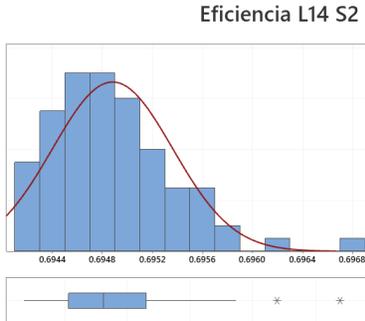
Línea 4, Simulación 2



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.43
P-Value	0.301
Mean	0.67535
StDev	0.00268
Variance	0.00001
Skewness	0.110351
Kurtosis	-0.725031
N	80
Minimum	0.66999
1st Quartile	0.67282
Median	0.67529
3rd Quartile	0.67751
Maximum	0.68136
95% Confidence Interval for Mean	0.67476 0.67595
95% Confidence Interval for Median	0.67422 0.67618
95% Confidence Interval for StDev	0.00232 0.00318

Línea 14, Simulación 1



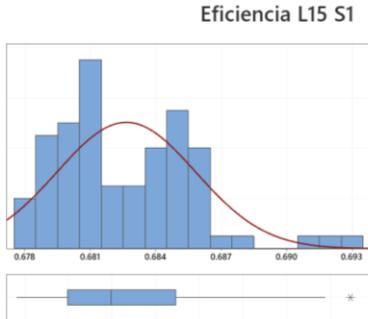
Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.97
P-Value	0.014
Mean	0.69488
StDev	0.00048
Variance	0.00000
Skewness	1.07594
Kurtosis	1.78949
N	80
Minimum	0.69417
1st Quartile	0.69453
Median	0.69481
3rd Quartile	0.69515
Maximum	0.69670
95% Confidence Interval for Mean	0.69478 0.69499
95% Confidence Interval for Median	0.69470 0.69493
95% Confidence Interval for StDev	0.00042 0.00057

Línea 14, Simulación 2

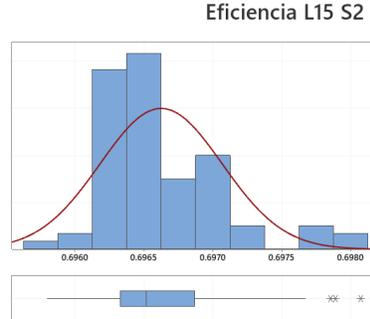
Anexo 6 Resultados de pruebas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 3, 4 y 14  
Fuente: elaboración propia

## Anexo 7: Pruebas estadísticas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 15 y 16



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	1.16
P-Value	<0.005
Mean	0.68265
StDev	0.00318
Variance	0.00001
Skewness	0.841234
Kurtosis	0.865233
N	80
Minimum	0.67760
1st Quartile	0.67994
Median	0.68196
3rd Quartile	0.68493
Maximum	0.69295
95% Confidence Interval for Mean	0.68194 0.68335
95% Confidence Interval for Median	0.68126 0.68373
95% Confidence Interval for StDev	0.00275 0.00377

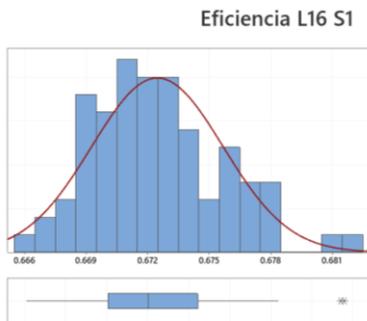


Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	2.57
P-Value	<0.005
Mean	0.69662
StDev	0.00044
Variance	0.00000
Skewness	1.25838
Kurtosis	1.71576
N	80
Minimum	0.69580
1st Quartile	0.69633
Median	0.69652
3rd Quartile	0.69687
Maximum	0.69807
95% Confidence Interval for Mean	0.69653 0.69672
95% Confidence Interval for Median	0.69641 0.69657
95% Confidence Interval for StDev	0.00038 0.00053

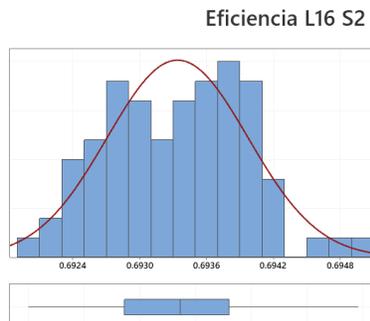
Línea 15, Simulación 1

Línea 15, Simulación 2



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.65
P-Value	0.084
Mean	0.67248
StDev	0.00321
Variance	0.00001
Skewness	0.595140
Kurtosis	0.215432
N	80
Minimum	0.66607
1st Quartile	0.67007
Median	0.67203
3rd Quartile	0.67445
Maximum	0.68163
95% Confidence Interval for Mean	0.67176 0.67319
95% Confidence Interval for Median	0.67131 0.67303
95% Confidence Interval for StDev	0.00278 0.00380



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.45
P-Value	0.273
Mean	0.69334
StDev	0.00063
Variance	0.00000
Skewness	0.035236
Kurtosis	-0.510902
N	80
Minimum	0.69200
1st Quartile	0.69286
Median	0.69337
3rd Quartile	0.69380
Maximum	0.69496
95% Confidence Interval for Mean	0.69320 0.69348
95% Confidence Interval for Median	0.69316 0.69365
95% Confidence Interval for StDev	0.00055 0.00075

Línea 16, Simulación 1

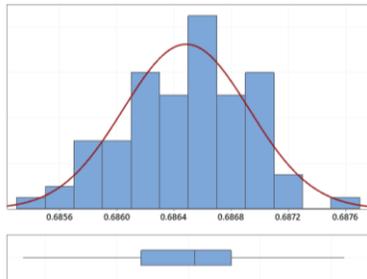
Línea 16, Simulación 2

**Anexo 7** Resultados de pruebas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 15 y 16

Fuente: elaboración propia

# Anexo 8: Pruebas estadísticas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 3,4, 14 y 15 después de bootstrapping

Eficiencia L3 E2 (Bootstrap)

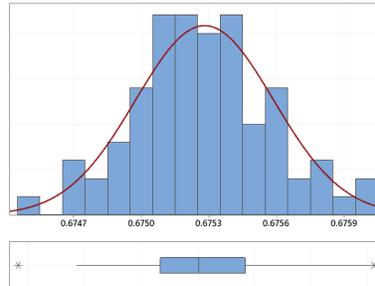


Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.37
P-Value	0.409
Mean	0.68649
StDev	0.00044
Variance	0.00000
Skewness	-0.241697
Kurtosis	-0.218645
N	80
Minimum	0.68535
1st Quartile	0.68617
Median	0.68654
3rd Quartile	0.68690
Maximum	0.68759
95% Confidence Interval for Mean	0.68639 0.68658
95% Confidence Interval for Median	0.68635 0.68667
95% Confidence Interval for StDev	0.00038 0.00052

Línea 3, Simulación 2

Eficiencia L4 E1 (Bootstrap)

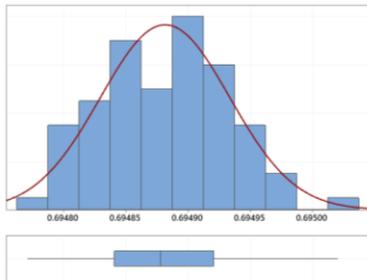


Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.22
P-Value	0.823
Mean	0.67528
StDev	0.00031
Variance	0.00000
Skewness	0.152018
Kurtosis	0.251247
N	80
Minimum	0.67445
1st Quartile	0.67508
Median	0.67525
3rd Quartile	0.67546
Maximum	0.67603
95% Confidence Interval for Mean	0.67521 0.67535
95% Confidence Interval for Median	0.67520 0.67535
95% Confidence Interval for StDev	0.00027 0.00036

Línea 4, Simulación 1

Eficiencia L14 E2 (Bootstrap)

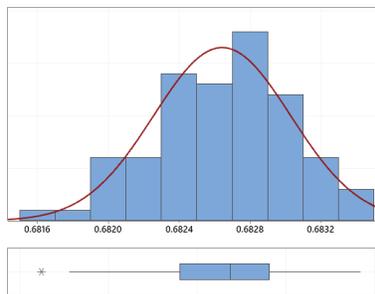


Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.38
P-Value	0.393
Mean	0.69488
StDev	0.00005
Variance	0.00000
Skewness	0.120773
Kurtosis	-0.495218
N	80
Minimum	0.69477
1st Quartile	0.69484
Median	0.69488
3rd Quartile	0.69492
Maximum	0.69502
95% Confidence Interval for Mean	0.69487 0.69489
95% Confidence Interval for Median	0.69486 0.69490
95% Confidence Interval for StDev	0.00005 0.00006

Línea 14, Simulación 2

Eficiencia L15 E1 (Bootstrap)

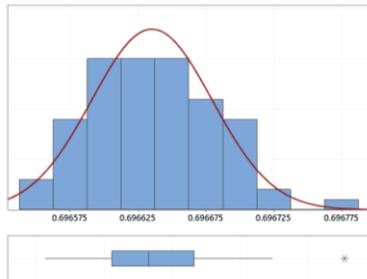


Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.26
P-Value	0.690
Mean	0.68264
StDev	0.00039
Variance	0.00000
Skewness	-0.275089
Kurtosis	-0.255421
N	80
Minimum	0.68162
1st Quartile	0.68240
Median	0.68269
3rd Quartile	0.68291
Maximum	0.68342
95% Confidence Interval for Mean	0.68256 0.68273
95% Confidence Interval for Median	0.68257 0.68278
95% Confidence Interval for StDev	0.00034 0.00046

Línea 15, Simulación 1

Eficiencia L15 E2 (Bootstrap)



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared	0.30
P-Value	0.578
Mean	0.69664
StDev	0.00004
Variance	0.00000
Skewness	0.411474
Kurtosis	0.090564
N	80
Minimum	0.69656
1st Quartile	0.69661
Median	0.69663
3rd Quartile	0.69667
Maximum	0.69678
95% Confidence Interval for Mean	0.69663 0.69665
95% Confidence Interval for Median	0.69662 0.69665
95% Confidence Interval for StDev	0.00004 0.00005

Línea 15, Simulación 2

Anexo 8 Resultados de pruebas Anderson-Darling de eficiencia de las líneas de costura 3, 4, 14 y 15 después de bootstrapping  
Fuente: elaboración propia

## Anexo 9: Pruebas 2t de eficiencia de las líneas de costura 3,4, 14 y 15

Línea	Descripción y estimados	Resultado de prueba 2t																											
<b>3</b>	<p><b>Descriptive Statistics</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sample</th> <th>N</th> <th>Mean</th> <th>StDev</th> <th>SE Mean</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Eficiencia L3 E1</td> <td>80</td> <td>0.66079</td> <td>0.00435</td> <td>0.00049</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia L3B E2</td> <td>80</td> <td>0.686486</td> <td>0.000440</td> <td>0.000049</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Estimation for Difference</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">95% Upper Bound</th> </tr> <tr> <th>Difference</th> <th>for Difference</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-0.025693</td> <td>-0.024879</td> </tr> </tbody> </table>	Sample	N	Mean	StDev	SE Mean	Eficiencia L3 E1	80	0.66079	0.00435	0.00049	Eficiencia L3B E2	80	0.686486	0.000440	0.000049	95% Upper Bound		Difference	for Difference	-0.025693	-0.024879	<p><b>Test</b></p> <p>Null hypothesis <math>H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0</math>  Alternative hypothesis <math>H_1: \mu_1 - \mu_2 &lt; 0</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>T-Value</th> <th>DF</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-52.52</td> <td>80</td> <td>0.000</td> </tr> </tbody> </table>	T-Value	DF	P-Value	-52.52	80	0.000
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean																									
Eficiencia L3 E1	80	0.66079	0.00435	0.00049																									
Eficiencia L3B E2	80	0.686486	0.000440	0.000049																									
95% Upper Bound																													
Difference	for Difference																												
-0.025693	-0.024879																												
T-Value	DF	P-Value																											
-52.52	80	0.000																											
<b>4</b>	<p><b>Descriptive Statistics</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sample</th> <th>N</th> <th>Mean</th> <th>StDev</th> <th>SE Mean</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Eficiencia L4B E1</td> <td>80</td> <td>0.675281</td> <td>0.000306</td> <td>0.000034</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia L4 E2</td> <td>80</td> <td>0.692839</td> <td>0.000787</td> <td>0.000088</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Estimation for Difference</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">95% Upper Bound</th> </tr> <tr> <th>Difference</th> <th>for Difference</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-0.017559</td> <td>-0.017402</td> </tr> </tbody> </table>	Sample	N	Mean	StDev	SE Mean	Eficiencia L4B E1	80	0.675281	0.000306	0.000034	Eficiencia L4 E2	80	0.692839	0.000787	0.000088	95% Upper Bound		Difference	for Difference	-0.017559	-0.017402	<p><b>Test</b></p> <p>Null hypothesis <math>H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0</math>  Alternative hypothesis <math>H_1: \mu_1 - \mu_2 &lt; 0</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>T-Value</th> <th>DF</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-185.96</td> <td>102</td> <td>0.000</td> </tr> </tbody> </table>	T-Value	DF	P-Value	-185.96	102	0.000
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean																									
Eficiencia L4B E1	80	0.675281	0.000306	0.000034																									
Eficiencia L4 E2	80	0.692839	0.000787	0.000088																									
95% Upper Bound																													
Difference	for Difference																												
-0.017559	-0.017402																												
T-Value	DF	P-Value																											
-185.96	102	0.000																											
<b>14</b>	<p><b>Descriptive Statistics</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sample</th> <th>N</th> <th>Mean</th> <th>StDev</th> <th>SE Mean</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Eficiencia L14 E1</td> <td>80</td> <td>0.67535</td> <td>0.00268</td> <td>0.00030</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia L14B E2</td> <td>80</td> <td>0.6948817</td> <td>0.0000521</td> <td>0.0000058</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Estimation for Difference</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">95% Upper Bound</th> </tr> <tr> <th>Difference</th> <th>for Difference</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-0.019527</td> <td>-0.019028</td> </tr> </tbody> </table>	Sample	N	Mean	StDev	SE Mean	Eficiencia L14 E1	80	0.67535	0.00268	0.00030	Eficiencia L14B E2	80	0.6948817	0.0000521	0.0000058	95% Upper Bound		Difference	for Difference	-0.019527	-0.019028	<p><b>Test</b></p> <p>Null hypothesis <math>H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0</math>  Alternative hypothesis <math>H_1: \mu_1 - \mu_2 &lt; 0</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>T-Value</th> <th>DF</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-65.10</td> <td>79</td> <td>0.000</td> </tr> </tbody> </table>	T-Value	DF	P-Value	-65.10	79	0.000
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean																									
Eficiencia L14 E1	80	0.67535	0.00268	0.00030																									
Eficiencia L14B E2	80	0.6948817	0.0000521	0.0000058																									
95% Upper Bound																													
Difference	for Difference																												
-0.019527	-0.019028																												
T-Value	DF	P-Value																											
-65.10	79	0.000																											
<b>15</b>	<p><b>Descriptive Statistics</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sample</th> <th>N</th> <th>Mean</th> <th>StDev</th> <th>SE Mean</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Eficiencia L15B E1</td> <td>300</td> <td>0.682679</td> <td>0.000362</td> <td>0.000021</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia L15B E2</td> <td>300</td> <td>0.6966277</td> <td>0.0000475</td> <td>0.0000027</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Estimation for Difference</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">95% Upper Bound</th> </tr> <tr> <th>Difference</th> <th>for Difference</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-0.013949</td> <td>-0.013914</td> </tr> </tbody> </table>	Sample	N	Mean	StDev	SE Mean	Eficiencia L15B E1	300	0.682679	0.000362	0.000021	Eficiencia L15B E2	300	0.6966277	0.0000475	0.0000027	95% Upper Bound		Difference	for Difference	-0.013949	-0.013914	<p><b>Test</b></p> <p>Null hypothesis <math>H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0</math>  Alternative hypothesis <math>H_1: \mu_1 - \mu_2 &lt; 0</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>T-Value</th> <th>DF</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-660.98</td> <td>309</td> <td>0.000</td> </tr> </tbody> </table>	T-Value	DF	P-Value	-660.98	309	0.000
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean																									
Eficiencia L15B E1	300	0.682679	0.000362	0.000021																									
Eficiencia L15B E2	300	0.6966277	0.0000475	0.0000027																									
95% Upper Bound																													
Difference	for Difference																												
-0.013949	-0.013914																												
T-Value	DF	P-Value																											
-660.98	309	0.000																											
<b>16</b>	<p><b>Descriptive Statistics</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sample</th> <th>N</th> <th>Mean</th> <th>StDev</th> <th>SE Mean</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Eficiencia L16 E1</td> <td>80</td> <td>0.67248</td> <td>0.00321</td> <td>0.00036</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia L16 E2</td> <td>80</td> <td>0.693340</td> <td>0.000633</td> <td>0.000071</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Estimation for Difference</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">95% Upper Bound</th> </tr> <tr> <th>Difference</th> <th>for Difference</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-0.020865</td> <td>-0.020257</td> </tr> </tbody> </table>	Sample	N	Mean	StDev	SE Mean	Eficiencia L16 E1	80	0.67248	0.00321	0.00036	Eficiencia L16 E2	80	0.693340	0.000633	0.000071	95% Upper Bound		Difference	for Difference	-0.020865	-0.020257	<p><b>Test</b></p> <p>Null hypothesis <math>H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0</math>  Alternative hypothesis <math>H_1: \mu_1 - \mu_2 &lt; 0</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>T-Value</th> <th>DF</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-57.05</td> <td>85</td> <td>0.000</td> </tr> </tbody> </table>	T-Value	DF	P-Value	-57.05	85	0.000
Sample	N	Mean	StDev	SE Mean																									
Eficiencia L16 E1	80	0.67248	0.00321	0.00036																									
Eficiencia L16 E2	80	0.693340	0.000633	0.000071																									
95% Upper Bound																													
Difference	for Difference																												
-0.020865	-0.020257																												
T-Value	DF	P-Value																											
-57.05	85	0.000																											

Anexo 9 Resultado de pruebas 2t para la eficiencia de las líneas 3, 4, 14, 15 y 16  
Fuente: elaboración propia

## Anexo 10: Resumen de resultados obtenidos

Concepto	Límite inferior (IC 95%)	Media	Límite superior (IC 95%)
<b>Aumento promedio en eficiencia (%)</b>	1.9%	2.0%	-
<b>Reducción de tiempo de setup interno (h)</b>	354	371	387
<b>Reducción de tiempo de setup interno (%)</b>	78%	80%	81%
<b>Ahorro en horas/hombre (S/.)</b>	S/. 37,900	S/. 39,700	S/. 41,400
<b>Oportunidad de generar ingresos adicionales (S/.)</b>	S/. 373,800	S/. 391,600	S/. 407,900
<b>Incremento en número de lotes (#)</b>	1.0	2.8	-
<b>Reducción de tiempo de ciclo (h)</b>	3.2	3.3	-

**Anexo 10** Resumen de resultados obtenidos al implementar la mejora en las líneas 3, 4, 14, 15 y 16  
Fuente: elaboración propia