



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tema:

**MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN Y RESILIENCIA
PRODUCTIVA EN LA EMPRESA TEXTIL TEFY TEX**

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero Industrial

ÁREA: Producción y Operaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Diseño, Materiales, Producción, Identidad,
Sostenibilidad y Tecnologías aplicadas

AUTOR: Jerami Amilcar Zamora Sailema

TUTOR: Dr. John Paul Reyes Vasquez

Ambato - Ecuador

julio – 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN Y RESILIENCIA PRODUCTIVA EN LA EMPRESA TEXTIL TEFY TEX, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Jerami Amilcar Zamora Sailema, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, julio 2026.



Dr. John Paul Reyes Vasquez
TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN Y RESILIENCIA PRODUCTIVA EN LA EMPRESA TEXTIL TEFY TEX es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, julio 2026.



Jerami Amilcar Zamora Sailema

C.C. 1850557826

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, julio 2026.



Jerami Amilcar Zamora Sailema

C.C. 1850557826

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor/señorita Jerami Amilcar Zamora Sailema, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN Y RESILIENCIA PRODUCTIVA EN LA EMPRESA TEXTIL TEFY TEX, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con el señor Presidente del Tribunal.

Ambato, julio 2026.



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**FRANKLIN OSWALDO
MAYORGA MAYORGA**

Ing. Franklin Oswaldo Mayorga Mayorga Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**EDGAR PATRICIO
CORDOVA CORDOVA**

Ing. Edgar Patricio Cordova Cordova Mg.
PROFESOR CALIFICADOR



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**CARLOS LUIS VARGAS
GUEVARA**

Ing. Carlos Luis Vargas Guevara Mg.
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres, Jimmy y Reina, quienes han sido mi inspiración y ejemplo cada día de mi vida. Por sus sacrificios e incontables horas de trabajo dedicadas a nuestra familia; todos y cada uno de mis logros es y será siempre para ustedes.

A mis hermanos Anthony y Estefania, por contagiarme de su alegría. Gracias por ser la experiencia y la energía que impulsa mis metas, por cada consejo, por palabra de aliento y por ser simplemente ustedes.

A mi pareja Anahí, por ser mi felicidad y refugio en días difíciles. Gracias por tu infinita paciencia, por tu amor en cada detalle y por ese apoyo incondicional y desinteresado que me otorgaste siempre que lo necesité.

A mi familia, primos, tíos y allegados, por su apoyo y mensajes gratificantes a lo largo de mi vida, pero, por, sobre todo, por hacerme sentir siempre el calor de familia.

A mis amigos con quienes compartí todo este tiempo; gracias por los buenos y malos momentos, por los sueños compartidos y vivencias juntos.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser el pilar fundamental de mi vida, guía de mis pasos cada día y ser la fuente ilimitada de mi fortaleza y sabiduría.

A mis padres, por su esfuerzo y sacrificio constante. Por siempre estar conmigo, por sobre todas las cosas. Gracias por moldear la persona que soy ahora.

A la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, mi profundo agradecimiento por haberme acogido y acompañado en mi formación tanto profesional como humana.

A mis docentes de carrera, quienes en cada nivel demostraron su pasión y compromiso al transmitir sus conocimientos a cada generación. Gracias por sus valores, consejos y por esa exigencia que busca formar más allá de profesionales, a buenas personas.

Un reconocimiento especial a mi docente tutor, Dr. John Reyes, por su guía y acompañamiento constante en este proceso. Cada jornada de estudio e investigación compartida ha sido fundamentales para dar forma y vida a este proyecto.

A Jürgen y Karin Vogt quienes me abrieron las puertas de su hogar, por su respaldo y apoyo incondicional durante mis prácticas en el extranjero, convirtiéndose en mi segunda familia.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí innumerables momentos. Quienes estuvieron presente en cada una de mis dificultades, siempre presentes dándome ánimo en todo momento. Y quienes también estuvieron en momentos importantes de mi vida, eternamente agradecido.

A Patricio Llerena, Anita Zamora y todos sus colaboradores, por darme su confianza y oportunidad para realizar esta investigación en el fruto de su dedicación y esfuerzo. Mi gratitud por su apoyo incondicional y comprensión en cada momento durante todo este proceso.

A todos quienes de forma directa o indirecta formaron parte de mi etapa de formación universitaria, gracias. Gracias a todos y cada uno de ustedes.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN EJECUTIVO	xx
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes investigativos	3
1.3 Fundamentación teórica	5

1.3.1 Diagrama de flujo de procesos	5
1.3.2 Cursograma analítico	6
1.3.3 Medición del trabajo	7
1.3.4 Procedimiento de medición del trabajo	8
1.3.5 Estudio de tiempos y movimientos	9
1.3.6 Número de ciclos.....	9
1.3.7 Factor de desempeño.....	10
1.3.8 Cálculo de suplementos	10
1.3.9 Tiempo Normal	12
1.3.10 Tiempo Estándar	12
1.3.11 Simulación de eventos discretos (FlexSim)	12
1.3.12 Tipos de modelos de simulación	14
1.3.13 Lógica de procesos con Process Flow.....	14
1.3.14 Herramienta Experimenter	17
1.3.15 Indicadores clave de desempeño (KPIs)	19
1.3.16 Resiliencia en sistemas productivos.....	20
1.3.17 Productividad	22
1.3.18 Utilización	22
1.4 Objetivos	23

1.4.1 Objetivo general.....	23
1.4.2 Objetivos específicos	23
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	24
2.1 Materiales.....	24
2.2 Métodos.....	25
2.2.1 Modalidad de la investigación	25
2.2.2 Población y muestra	26
2.2.3 Recolección de información.....	27
2.2.4 Procesamiento y análisis de datos	27
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1 Análisis del proceso productivo actual de la empresa	28
3.1.1 Introducción a la empresa	28
3.1.2 Filosofía empresarial.....	29
3.1.3 Layout actual de la empresa.....	29
3.1.4 Procesos de producción.....	31
3.1.5 Maquinaria y equipos existentes	34
3.1.6 Diagrama de flujo de proceso	37
3.1.7 Codificación de actividades	38
3.1.8 Cursograma analítico	40
3.1.9 Estudio de tiempos y movimientos	58
3.2 Desarrollo del modelo de simulación.....	59

3.2.1 Diseño del modelo.....	59
3.2.2 Construcción del modelo.....	69
3.2.3 Validación del modelo	87
3.2.4 Experimentación	88
3.3 Experimentación de escenarios	93
3.3.1 Diseño experimental.....	93
3.3.2 Desarrollo del modelo matemático	94
3.3.3 Configuración del módulo Optimizer (Optimizador)	95
3.3.4 Escenario actual (S1) – Condiciones actuales.....	97
3.3.5 Escenario disruptivo (S2) – Aumento de la demanda.....	99
3.3.6 Escenario Optimizado (S3) – Resultado de Optimizador	100
3.3.7 Comparación de escenarios.....	102
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
4.1 Conclusiones	107
4.2 Recomendaciones.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de la General Electric Company	9
Tabla 2. Elementos de Process Flow – FlexSim [34]	15
Tabla 3. Lista de materiales	24
Tabla 4. Procesos de producción empresa textil Tefy Tex	26
Tabla 5. Maquinaria y equipos de la empresa.....	34
Tabla 6. Codificación de las actividades.....	39
Tabla 7. Cursograma analítico – Servicios iniciales	40
Tabla 8. Cursograma analítico – Lavado tono industrial	42
Tabla 9. Cursograma analítico – Lavado tono Stone 1	43
Tabla 10. Cursograma analítico – Lavado tono Stone 2	44
Tabla 11. Cursograma analítico – Lavado tono Stone 3	46
Tabla 12. Cursograma analítico – Lavado tono Café.....	48
Tabla 13. Cursograma analítico – Lavado tono Verde	50
Tabla 14. Cursograma analítico – Lavado tono Petróleo	52
Tabla 15. Cursograma analítico – Centrifugado y secado	55
Tabla 16. Cursograma analítico – Acabados.....	55
Tabla 17. Cursograma analítico – Planchado.....	57
Tabla 18. Cursograma analítico – Almacenaje	57
Tabla 19. Umbrales de precisión MAPE [44].....	87

Tabla 20. Comparación de producción real vs. simulada para validación del modelo	88
Tabla 21. Resumen de las distribuciones de probabilidad del sistema	92
Tabla 22. Variables de decisión del horario de trabajo	94
Tabla 23. Parámetros de configuración de escenarios	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formas de los diagramas de flujo de procesos [21].....	5
Figura 2. Elementos diagrama de flujo de procesos	6
Figura 3. Estructura del cursograma analítico[24].....	7
Figura 4. Simbología del cursograma analítico [25].....	7
Figura 5. Método continuo de lectura del reloj	8
Figura 6. Etapas fundamentales del estudio de trabajo [27]	9
Figura 7. Sistema Westinghouse para factor de desempeño	10
Figura 8. Suplementos constantes y variables.....	11
Figura 9. Variable aleatoria discreta y continua.....	13
Figura 10. Logotipo de la empresa.....	29
Figura 11. Layout de distribución actual de la empresa textil Tefy Tex.....	30
Figura 12. Fotografía del proceso servicios iniciales.....	31
Figura 13. Fotografía del proceso de lavado	32
Figura 14.Fotografía del proceso de acabados	33
Figura 15. Fotografía del proceso de planchado	33
Figura 16. Fotografía del proceso de almacenaje.....	34
Figura 17. Diagrama de flujo de proceso de la empresa textil “Tefy Tex”	38
Figura 18. Recursos – Maquinaria	60
Figura 19. Personalización de colaboradores.....	61
Figura 20. Parámetros dinámicos del modelado	61

Figura 21. Dashboard de parámetros dinámicos del sistema	62
Figura 22. Proceso de transformación de lotes a unidades	63
Figura 23. Configuración de tablas de tiempo	64
Figura 24. Configuración de tabla de programación de fallas	66
Figura 25. Control de estados de maquinaria.....	67
Figura 26. Gestión de recursos con listas globales	67
Figura 27. Adquisición de colaboradores lista global.....	68
Figura 28. Representación ingreso mercadería – Modelado 3D.....	69
Figura 29. Control lógico ingreso de unidades a procesar – Process Flow	70
Figura 30. Control lógico transformación de lote a unidades– Process Flow.....	71
Figura 31. Representación proceso de servicios iniciales – Modelado 3D.....	71
Figura 32. Control lógico ojalado – Process Flow	72
Figura 33. Control lógico tracado – Process Flow	73
Figura 34. Control lógico voltear prendas – Process Flow	73
Figura 35. Control lógico transformación de unidades a lotes – Process Flow	74
Figura 36. Representación proceso de lavado – Modelado 3D.....	75
Figura 37. Control lógico selección lavadora rotativa – Process Flow.....	75
Figura 38. Control lógico centrifugado – Process Flow	76
Figura 39. Control lógico secado – Process Flow	77
Figura 40. Control lógico transformación de lotes a unidades – Process Flow	78
Figura 41. Representación proceso de acabados – Modelado 3D.....	78

Figura 42. Control lógico selección máquina recta – Process Flow	79
Figura 43. Control lógico remachado – Process Flow	80
Figura 44. Control lógico proceso de pulido – Process Flow	81
Figura 45. Control lógico proceso de colocación del botón – Process Flow	82
Figura 46. Representación proceso de planchado – Modelado 3D	83
Figura 47. Control lógico proceso de planchado – Process Flow	83
Figura 48. Control lógico estación final.....	84
Figura 49. Representación proceso de almacenaje – Modelado 3D	85
Figura 50. Control lógico de almacenaje	86
Figura 51. Modelo de simulación de la empresa Textil Tefy Tex	86
Figura 52. Indicadores de desempeño enfocado al procesamiento	88
Figura 53. Indicadores de desempeño enfocado al rendimiento	89
Figura 54. Indicadores de desempeño enfocado a los colaboradores	90
Figura 55. Indicadores de desempeño enfocado a la utilización de maquinaria.....	91
Figura 56. Parametrización de la sección Optimizador	96
Figura 57. Resultados del Optimizador.....	96
Figura 58. Resultados (S1) – Tiempo operativo colaboradores.....	98
Figura 59. Resultados (S1) - OTD	98
Figura 60. Resultados (S1) – Utilización de maquinaria	98
Figura 61. Resultados (S2) – Tiempo operativo colaboradores.....	99
Figura 62. Resultados (S2) – OTD.....	100

Figura 63. Resultados (S2) – Utilización de maquinaria	100
Figura 64. Resultados (S3) – Tiempo operativo colaboradores	101
Figura 65. Resultados (S3) – OTD.....	101
Figura 66. Resultados (S3) – Utilización de maquinaria	102
Figura 67. Promedio de indicadores de desempeño por escenario	103
Figura 68. Comparativa de escenarios en relación con las prendas procesadas	104
Figura 69. Comparativa de escenarios en relación con trabajo en proceso	104
Figura 70. Comparativa de escenarios en relación con promedio operativo colaboradores	105
Figura 71. Comparativa de escenarios en relación con utilización de maquinaria ..	105
Figura 72. Comparativa de escenarios en relación con OTD.....	106
Figura 73. Relación OTD y tiempo operativo colaboradores	106
Figura 74. Relación OTD y utilización de maquinaria	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Número de ciclos – Servicios iniciales.....	113
Anexo 2. Número de ciclos – Lavado.....	113
Anexo 3. Número de ciclos – Lavado: centrifugado y secado.....	114
Anexo 4. Número de ciclos – Acabados	114
Anexo 5. Número de ciclos – Planchado	115
Anexo 6. Número de ciclos – Almacenaje.....	115
Anexo 7. Factor de desempeño – Servicios iniciales.....	116
Anexo 8. Factor de desempeño – Lavado	117
Anexo 9. Factor de desempeño – Lavado (Centrifugado y Secado).....	117
Anexo 10. Factor de desempeño – Acabados	118
Anexo 11. Factor de desempeño – Planchado	118
Anexo 12. Factor de desempeño –Almacenaje	119
Anexo 13. Suplementos – Servicios iniciales	120
Anexo 14. Suplementos – Lavado	121
Anexo 15. Suplementos – Lavado (Centrifugado y Secado).....	123
Anexo 16. Suplementos – Acabados.....	124
Anexo 17. Suplementos – Planchado.....	125
Anexo 18. Suplementos – Almacenaje	126
Anexo 19. Tiempo normal y estándar – Servicios iniciales.....	127
Anexo 20. Tiempo normal y estándar – Lavado	128

Anexo 21. Tiempo normal y estándar – Lavado (Centrifugado y Secado).....	128
Anexo 22. Tiempo normal y estándar – Acabados	129
Anexo 23. Tiempo normal y estándar – Planchado	130
Anexo 24. Tiempo normal y estándar – Almacenaje	131

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación desarrolla un modelo de simulación de eventos distritos en FlexSim para verificar el comportamiento del sistema y optimizar la gestión de recursos. Se obtiene los datos de entrada por medio de herramientas de medición del trabajo, con la finalidad de replicar las condiciones inherentes del sistema de producción. En este contexto, pequeñas y medianas empresas del sector enfrentan limitaciones de crecimiento derivadas de la baja adopción de herramientas tecnológicas, planificación empírica y toma de decisiones reactiva, comprometiendo su capacidad de respuesta.

Se evalúan tres escenarios con 20 réplicas cada uno. El escenario actual (S1) revela cuellos de botella en el subproceso de secado, aprovechamiento del tiempo operativo de colaboradores de 45,76 por ciento, utilización de maquinaria de 27,52 por ciento y un OTD de 0,66, evidenciando que el sistema tiene limitada capacidad de adaptación. Por otra parte, el escenario disruptivo (S2) que simula incremento de la demanda con recursos adicionales y jornada extendida, redujo el OTD a 0,43 demostrando que incrementar mano de obra no resuelve la restricción estructural.

El escenario optimizado (S3), determina que desarrollar la jornada con tres colaboradores en el proceso general, tamaño de lote reducido a 10 unidades y horario extendido, eleva el tiempo operativo al 64,37 por ciento y la utilización de maquinaria al 37,85 por ciento, alcanzando niveles de producción comparables con (S1) pero con dos colaboradores menos. Los resultados confirman que la resiliencia y aumento de productividad se logran mediante la sincronización lógica de flujo operativo y no por sobredimensión empírica de recursos.

Palabras claves: Simulación, FlexSim, resiliencia, optimización, productividad.

ABSTRACT

This research project develops a discrete-event simulation model in FlexSim to verify system behavior and optimize resource management. Input data is obtained using work measurement tools to replicate the inherent conditions of the production system. In this context, small and medium-sized enterprises in the sector face growth constraints stemming from low adoption of technological tools, empirical planning, and reactive decision-making, which compromise their responsiveness.

Three scenarios are evaluated, each with 20 replicates. The current scenario (S1) reveals bottlenecks in the drying subprocess, employee operational time utilization of 45,76%, machinery utilization of 27,52%, and an OTD of 0,66, demonstrating that the system has limited adaptability. On the other hand, the disruptive scenario (S2), which simulates increased demand with additional resources and extended working hours, reduced the OTD to 0,43, demonstrating that increasing the workforce does not resolve the structural constraint.

The optimized scenario (S3) shows that operating with three employees in the overall process, a batch size reduced to 10 units, and extended hours increases operational time to 64,37% and machine utilization to 37,85%, achieving production levels comparable to (S1) but with two fewer employees. The results confirm that resilience and increased productivity are achieved through the logical synchronization of operational flow and not through the empirical oversizing of resources.

Keywords: Simulation, FlexSim, resilience, optimization, productivity.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

“MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN Y RESILIENCIA PRODUCTIVA EN LA EMPRESA TEXTIL TEFY TEX”

1.1.1 Planteamiento del problema

La industria textil en Latinoamérica representa aproximadamente el 5% del gigante mercado de moda mundial, liderado por China y Estados Unidos, donde Brasil, México y Colombia destacan como principales productores en la región. Todos estos países fueron afectados por la pandemia del COVID-19, contra todo pronóstico se logró una recuperación de 3,5% en 2021, mucho más rápido de lo proyectado por expertos [1]. En este contexto, las tendencias actuales de moda han generado nuevos desafíos de resiliencia y productividad en los sistemas de producción, desafíos que deben ser aceptados por el campo de ingeniería industrial [2].

La principal limitación identificada en el contexto regional es la baja adopción de herramientas tecnológicas, debido principalmente a la naturaleza de origen artesanal de las diferentes empresas textiles [3]. La simulación de eventos discretos (DES, por sus siglas en inglés) en FlexSim destaca en este campo como una herramienta tecnológica, permite realizar análisis de asignación de recursos y escenarios alternativos antes de implementar cambios en el entorno real [4]. A pesar de todas las ventajas comprobadas, las pequeñas y medianas empresas (Pymes) tienen barreras significativas de capital y conocimiento técnico para su adopción efectiva.

En Ecuador, la industria textil constituye un sector manufacturero importante; en 2022 representó el 5,5% del PIB manufacturero y 27,4% del empleo del sector, equivalente a 172 mil empleos directos, concentrados principalmente en la región interandina [5]. Esta región se ha consolidado como una zona reconocida por su especialización en la producción de jeans y otras prendas de vestir, lo que ha generado el reconocimiento y consumo nacional de sus productos. Esta configuración de su identidad como productores de jeans se ve limitada por desafíos estructurales y económicos, que

desaceleran su desarrollo y crecimiento para insertarse en mercados internacionales con alta demanda [6].

Las problemáticas sociales y las deficiencias económicas limitan la adopción de herramientas tecnológicas y sistemas de gestión en las empresas dedicadas a esta actividad productiva. Esta escasa adopción de tecnología limita la digitalización, análisis de datos y la toma de decisiones respaldada de un estudio del proceso de producción; de esta forma se condiciona el desarrollo de sistemas productivos resilientes y competitivos [7]. La mayoría de las empresas ecuatorianas en este sector presentan limitantes tecnológicas significativas; es escasa la adopción de herramientas de simulación y modelado predictivo que respalden la toma de decisiones de los dueños de las empresas[6].

Tefy Tex es una empresa ubicada en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua, que constituye un caso representativo de la situación actual de las pequeñas y medianas empresas del país, enfocadas en el sector manufacturero de jeans. Este rol de negocio de tipo familiar ha evolucionado a lo largo de las diferentes generaciones, con un crecimiento orgánico acorde a la demanda del producto a nivel nacional. La problemática se centra en la baja productividad y limitada capacidad operativa en el sistema de fabricación de jeans, por la escasa adopción de herramientas tecnológicas que permitan cambiar la toma de decisiones reactiva a toma de decisiones basada en datos.

Estos problemas se generan por diferentes causas interrelacionadas entre sí. En primer lugar, la empresa tiene una planificación de producción manual y basada en la experiencia; por ende, no se consideran variables críticas en el proceso. Simultáneamente, la gestión de recursos disponibles es deficiente; se asigna a los colaboradores de forma empírica sin considerar estándares de tiempo o un análisis previo. En este contexto, las órdenes de producción se realizan sin un análisis que permita una utilización adecuada de los recursos disponibles: operarios, maquinaria, materia prima y capacidad real del sistema de producción.

Por otra parte, dentro del campo industrial, la generación, monitoreo y seguimiento de indicadores de desempeño son clave para conocer el estado del sistema de producción y plantear posibles alternativas de mejora. En la empresa, la gestión de indicadores

clave de desempeño es limitada, lo que impide un monitoreo constante de desempeño productivo. Adicionalmente, la adopción de herramientas tecnológicas como FlexSim es escasa, de esta forma se restringe la posibilidad de evaluar escenarios de mejora antes de una implementación que afecte a los recursos en el entorno real de la empresa.

Como resultado, se generan efectos negativos para la empresa Tefy Tex. Uno de los efectos más graves ocasionados por la planificación empírica es el incumplimiento de pedidos. Al tener una planificación empírica, es muy probable que los recursos no se utilicen de forma adecuada, generando retrasos en la llegada de productos. Estos aspectos son claves en la retención de clientes, pues generan insatisfacción y pérdida de credibilidad en la empresa. En aspectos internos, la deficiente gestión de recursos incrementa los costos operativos por desperdicios y desaprovechamiento de recursos disponibles. De esta forma se reduce el nivel competitivo referente a precios de venta al público con la competencia directa.

Finalmente, una de las consecuencias más graves debido a la limitada gestión de indicadores de desempeño es la toma de decisiones reactiva, realizando cambios bajo presión y sin un análisis cuantitativo de posibles alternativas de mejora. Esto eleva la posibilidad de malas decisiones que afecten la estabilidad financiera de la empresa. Al no poder realizar un seguimiento del proceso productivo, se anulan las posibilidades de propuestas de mejora y superación empresarial. Es aquí donde softwares como FlexSim permiten un análisis de las condiciones de funcionamiento para optimización de la producción.

1.2 Antecedentes investigativos

La simulación de eventos discretos (DES) es una herramienta indispensable para realizar análisis y optimización de sistemas de manufactura. DES permite identificar cuellos de botella, gestionar la asignación de recursos y evaluar posibles cambios sin comprometer el entorno real de producción. En este contexto, FlexSim se posiciona como un software especializado en simulación 3D orientada a objetos, relevante en las diversas industrias [8]. Además, la aplicación de FlexSim en la simulación de sistemas de producción permite elevar la transparencia de la cadena de valor, mediante la recopilación de datos simulados para optimizar procesos productivos [9].

Así, se ha evidenciado que la optimización de líneas de producción combinado con métodos de ingeniería intensiva (IE) permiten analizar y mejorar la situación actual a un costo relativamente bajo, incrementando su eficiencia en el uso de recursos [10]. Específicamente en el campo de la manufactura textil, la simulación en tiempo real aporta un valor añadido, la verificación inmediata de los cambios generados en los diferentes escenarios, permite un análisis profundo más allá de cálculos teóricos convencionalmente aplicado en entornos industriales [11].

En los últimos años, la optimización de líneas de producción por medio de softwares de simulación ha sido objeto de intensa investigación. Así, surgen los sistemas de monitoreo de producción de confecciones basado en IoT, este sistema tiene la capacidad de integrar información de producción en tiempo real con simulación. De esta forma se logra optimizar líneas de producción mediante algoritmos que aumentan la productividad [12]. Por otra parte, la simulación basada en optimización permite el balanceo de líneas de ensamble complejas en la industria de confección, logrando incrementar el rendimiento promedio de producción y reducir del tiempo de ciclo [13].

La integración de herramientas de simulación y metodologías de optimización permite la gestión de operaciones manufactureras complejas. El desarrollo de meta modelado para sistemas de líneas de ensambles de prendas permite explorar alternativas de diseño y determinar la interacción entre variables de entrada del sistema analizado [14]. Por otra parte, existe también análisis de producción mediante DES con algoritmos genéticos para optimización, aumentando la competitividad mediante la reducción de tiempo de comercialización [15].

Además, el concepto de resiliencia en sistemas productivos ha adquirido una importancia relevante en el contexto postpandemia. Ivanov plantea que la resiliencia representa la capacidad de resistir interrupciones, mantener estabilidad y recuperarse de forma rápida para reestablecer las condiciones del sistema [16]. Tras el contexto mencionado surge la necesidad de sistemas adaptativos capaces de responder incertidumbres globales [17]. Aquí los gemelos digitales destacan como herramientas para gestionar riesgos, por medio de la simulación de escenarios alternativos, sin comprometer recursos reales [18].

Posterior a la pandemia del COVID 19, junto con las lecciones aprendidas en los diferentes tipos de empresas de manufactura, es fundamental tener un enfoque de “adaptación” y “viabilidad”, ya que busca la persistencia del rendimiento del sistema frente a situaciones adversas ya sean internas o externas [19]. Este enfoque sumado a los avances en inteligencia artificial evidencia que es viable la creación automática de simulaciones de control de inventario y sistemas de colas, en búsqueda siempre de mecanismos de mejora continua [20].

Estos estudios evidencian que la simulación con técnicas de optimización y análisis de resiliencia no solo incrementan la productividad, sino también constituyen una necesidad estratégica dentro de las empresas textiles, para mantener su competitividad en mercados globales.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Diagrama de flujo de procesos

El diagrama de flujo de procesos, también conocido como flujograma, es un resumen pictórico cuya finalidad es mostrar de forma simplificada las actividades y decisiones del sistema productivo. Representa el funcionamiento de todo el sistema y es una herramienta básica de ingeniería industrial para el análisis del flujo productivo, detección de errores y desperdicios [21]. Existen diferentes formas de representarlo, ver Figura 1.

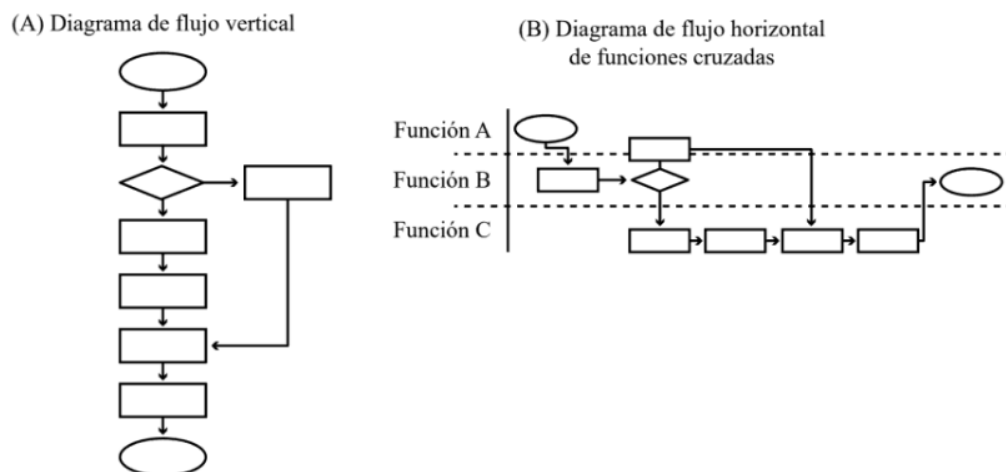


Figura 1. Formas de los diagramas de flujo de procesos [21]

Este diagrama proporciona información preliminar para el análisis que se desea realizar, donde las actividades del proceso se interrelacionan entre sí. Este primer diagrama es recomendable al comienzo del estudio, pues muestra sus elementos básicos: donde las actividades se presentan en forma de rectángulos, el flujo con flechas, almacenamiento como triángulos invertidos y decisiones con un diamante [22]. Estos símbolos se pueden observar en la Figura 2.



Figura 2. Elementos diagrama de flujo de procesos

1.3.2 Cursograma analítico

Es un diagrama que muestra más a detalle el desarrollo de las diferentes actividades del proceso, de esta forma detalla la trayectoria de un producto o procedimiento empleando diferentes simbologías [23]. Los cursogramas más empleados son: cursograma de operario, material y equipo [22].

American Society of Mechanical Engineering (ASME) propone un estándar de símbolos gráficos mediante la publicación “Operations and Flow Process Charts”, utilizados hasta la actualidad [24]. La Figura 3 demuestra un ejemplo de cursograma analítico elaborado.

Este diagrama incluye toda la información que se considere necesaria para el análisis que se desea realizar, con esta finalidad se clasifican las acciones que tienen lugar en el proceso entre ellas operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenajes [25].

De esta forma se obtiene una representación gráfica de los pasos en secuencia que constituyen un proceso o procedimiento, claramente identificados con su simbología respectiva. Además, incluye secciones de datos como distancias recorridas, cantidad y tiempo requerido [25].

MECATRONIC, S.A. DE C.V.					
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA					
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO		OPERARIO ☐	MATERIAL ☒	EQUIPO ☐	
Diagrama Núm. 01-E	Hoja Núm. 1	RESUMEN			
Objetivo: Revisión de estado de prensa	ACTIVIDAD	Actual	Propuesto	Economía	
Método: Producción de tina	Operación	9			
	Transporte	4			
	Espera	0			
Método: Actual: ☒ Propuesto: ☐	Inspección	1			
Lugar: Fábrica XXXXXXXX	Almacenamiento	1			
Operador (es): Juan Pérez	Distancia (m)	19			
	Tiempo (hr/hombre)				
Elaborado por: J.G.J.A.	Fecha: 9/3/2011	Costo			
Aprobó:	Fecha:	Comentarios			
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	DISTANCIA (m)	TIEMPO (MIN)	OBSERVACIONES
Requisición de materia prima a almacén		50 piezas	0		
Transporte de lote a estación de trabajo		1 lote	10		
Se coloca lote en rack de estación de trabajo		1 lote	0		
Se coloca lámina en matriz		1 pza	0		
Se sujeta lámina con anillo de sujeción		1 pza	0		
Primer forjado de embutido		1 pza	0		Aplicar lubricante
Liberar pieza		1 pza	0		
Expulsión de pieza		1 pza	0		
Traslado a segunda forja		1 pza	2		
Se sujeta lámina con anillo de sujeción		1 pza	0		
Segundo forjado de embutido		1 pza	0		Aplicar lubricante
Liberar pieza		1 pza	0		
Expulsión de pieza		1 pza	0		
Traslado a tercera forja		1 pza	2		
Se sujeta lámina con anillo de sujeción		1 pza			
Tercer forjado de embutido		1 pza			Aplicar lubricante
Liberar pieza		1 pza			
Expulsión de pieza final e inspección de proceso		1 pza			Las piezas presentan arrugas
Traslado a C' (muestra)		3 pza	5		
TOTAL		50	19		

Figura 3. Estructura del cursograma analítico[24]

En ocasiones suele ser un poco confuso clasificar las actividades observadas, por ello la Figura 4 detalla la descripción más adecuada para su clasificación de forma correcta, facilitando el análisis de cada una de las actividades establecidas.

ACTIVIDAD	SÍMBOLO	RESULTADO PREDOMINANTE
Operación		Se produce o efectúa algo.
Transporte		Se cambia de lugar o se mueve.
Inspección		Se verifica calidad o cantidad.
Demora		Se interfiere o retrasa el paso siguiente.
Almacenaje		Se guarda o protege.

Figura 4. Simbología del cursograma analítico [25]

1.3.3 Medición del trabajo

Es un método de investigación que busca determinar el contenido de una tarea, por medio de la fijación del tiempo que un colaborador calificado invierte para realizarla [26].

a. Cronometraje

Una vez que hemos obtenido toda la información general referente al proceso que se desea analizar, la siguiente etapa consiste en medir el tiempo de operación de cada tarea, esta actividad es comúnmente conocida como cronometraje [25].

b. Método continuo de lectura del reloj

Este método de cronometraje consiste en poner en marcha el cronómetro dejarlo en funcionamiento durante todo el estudio. Las lecturas se van haciendo de forma progresiva y se detienen cuando el estudio haya terminado. El tiempo de cada operación se determina restando la lectura anterior de la inmediata posterior [25]. Ver Figura 5.

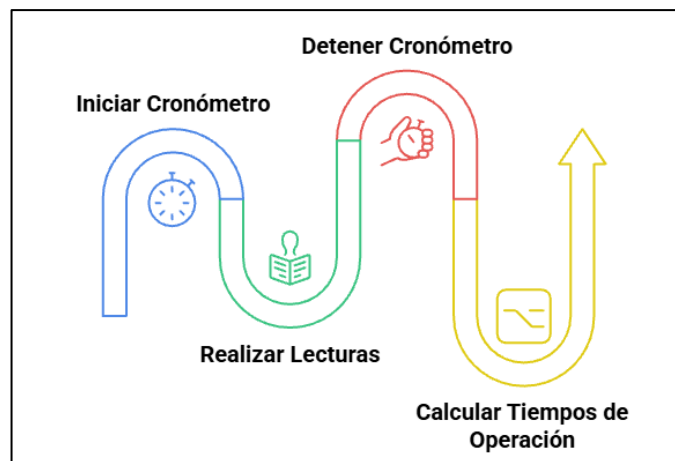


Figura 5. Método continuo de lectura del reloj

1.3.4 Procedimiento de medición del trabajo

La Figura 6 detalla el procedimiento con las etapas fundamentales del estudio del trabajo, donde se abarca el estudio de métodos y la medición del trabajo [27]. Para realizar la toma de tiempos, se debe dividir el trabajo en elementos, los cuales deben tener un inicio y final claramente definidos.

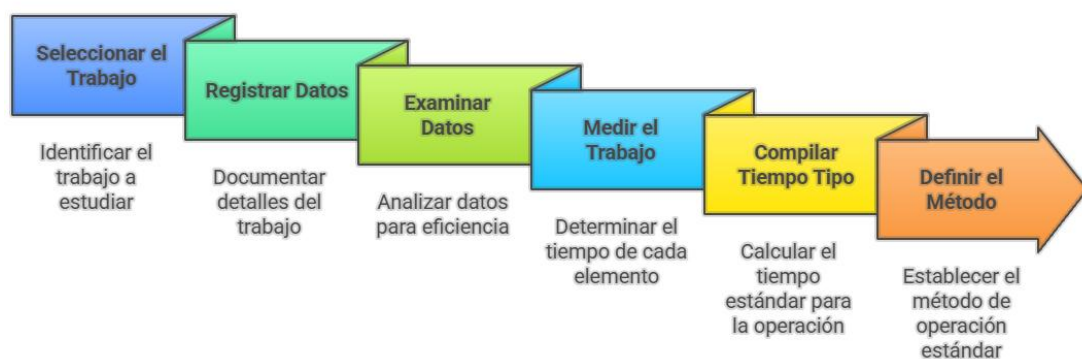


Figura 6. Etapas fundamentales del estudio de trabajo [27]

1.3.5 Estudio de tiempos y movimientos

Es una técnica que permite medir y determinar el tiempo requerido para realizar una actividad o tarea; su finalidad es detectar movimientos necesarios y eliminar aquellos que no aportan valor agregado al producto [26]. En este contexto de investigación el estudio de tiempos y movimientos es la base para generar las distribuciones de probabilidad que regirán el comportamiento del modelo de simulación.

1.3.6 Número de ciclos

La General Electric Company desarrollo una tabla para establecer el número de ciclos a cronometrar que se observa en la Tabla 1, donde la media de las observaciones no discrepe significativamente en contraste con la media de la población [28].

Tabla 1. Tabla de la General Electric Company

Tiempo de ciclo en minutos	Número de ciclos a observar
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1,00	30
2,00	20
2,00 a 5,00	15
5,00 a 10,00	10
10,00 a 20,00	8
20,00 a 40,00	5
de 40,00 en adelante	3

1.3.7 Factor de desempeño

La Figura 7 evidencia los campos necesarios para calcular el factor de desempeño por medio de la metodología del Sistema Westinghouse. Se utiliza para evaluar el desempeño de los colaboradores al momento de realizar sus actividades. Su finalidad es establecer un estándar para una tarea, para posteriormente ajustar el tiempo real observado al colaborador asignado [28].

HABILIDAD			ESFUERZO		
+0.15	A1	Extrema	+0.13	A1	Excesivo
+0.13	A2	Extrema	+0.12	A2	Excesivo
+0.11	B1	Excelente	+0.10	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente	+0.08	B2	Excelente
+0.06	C1	Buena	+0.05	C1	Bueno
0.00	D	Regular	0.00	D	Regular
-0.05	E1	Aceptable	-0.04	E1	Aceptable
-0.10	E2	Aceptable	-0.08	E2	Aceptable
-0.16	F1	Deficiente	-0.12	F1	Deficiente
-0.22	F2	Deficiente	-0.17	F2	Deficiente

CONDICIONES			CONSISTENCIA		
+0.06	A	Ideales	+0.04	A	Perfecta
+0.04	B	Excelentes	+0.03	B	Excelente
+0.02	C	Buenas	+0.01	C	Buena
0.00	D	Regulares	0.00	D	Regular
-0.03	E	Aceptables	-0.02	E	Aceptable
-0.07	F	Deficientes	-0.04	F	Deficiente

Figura 7. Sistema Westinghouse para factor de desempeño

Los cuatro valores de la Figura 7 proceden a asignarse con base en el criterio de la persona que realiza el análisis, de esta forma se obtiene el valor de factor de desempeño al realizar la suma de la valoración más uno, como se representa en la Ecuación (1).

$$FD = Valoración + 1 \quad (1)$$

1.3.8 Cálculo de suplementos

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) establece los valores de la Figura 8 para calcular suplementos mediante la agregación de un porcentaje de tiempo al tiempo normal de la tarea. Se debe considerar un tiempo suplementario con la finalidad de compensar la fatiga producida, ya que el colaborador está expuesto a diversas circunstancias denominadas suplementos [28]. La valoración de los suplementos se realiza de manera porcentual al sumar los valores establecidos en la tabla y asignados de acuerdo con el criterio de la persona que realiza el análisis.

SUPLEMENTOS CONSTANTES	HOMBRE	MUJER	SUPLEMENTOS VARIABLES	HOMBRE	MUJER
Necesidades personales	5	7	e) Condiciones atmosféricas		
Básico por fatiga	4	4	Índice de enfriamiento, termómetro de KATA (milicalorías/cm2/segundo)		
SUPLEMENTOS VARIABLES	HOMBRE	MUJER			
a) Trabajo de pie			16	0	
Trabajo se realiza sentado(a)	0	0	14	0	
Trabajo se realiza de pie	2	4	12	0	
b) Postura normal			10	3	
Ligeramente incómoda	0	1	8	10	
Incómoda (inclinación del cuerpo)	2	3	6	21	
Muy incómoda (Cuerpo estirado)	7	7	5	31	
			4	45	
			3	64	
			2	100	
c) Uso de la fuerza o energía muscular (levantar, tirar o empujar)			f) Tensión visual		
Peso levantado por kilogramo			Trabajos de cierta precisión	0	0
2,5	0	1	Trabajos de precisión o fatigosos	2	2
5	1	2	Trabajos de gran precisión	5	5
7,5	2	3	g) Ruido		
10	3	4	Sonido continuo	0	0
12,5	4	6	Sonidos intermitentes y fuertes	2	2
15	5	8	Sonidos intermitentes y muy fuertes	5	5
17,5	7	10	Sonidos estridentes	7	7
20	9	13	h) Tensión mental		
22,5	11	16	Proceso algo complejo	1	1
25	13	20 (máx)	Proceso complejo o de atención dividida	4	4
30	17		Proceso muy complejo	8	8
33,5	22		i) Monotonía mental		
d) Iluminación			Trabajo monótono	0	0
Ligeramente por debajo de la potencia calculada	0	0	Trabajo bastante monótono	1	1
Bastante por debajo	2	2	Trabajo muy monótono	4	4
Absolutamente insuficiente	5	5	j) Monotonía física		
			Trabajo algo aburrido	0	0
			Trabajo aburrido	2	2
			Trabajo muy aburrido	5	5

Figura 8. Suplementos constantes y variables

La Ecuación (2) establece el cálculo de los suplementos asignados en cada una de las actividades que se desea evaluar:

$$S = SupC + SupV \quad (2)$$

Donde:

S = Suplementos

SupC = Suplementos constantes

SupV = Suplementos variables

1.3.9 Tiempo Normal

La Ecuación (3) describe el cálculo realizado para determinar el tiempo normal, equivalente al tiempo que un colaborador con experiencia y habilidad ejecutando sus tareas requiere para ejecutar una tarea asignada sin ser interrumpido [26].

$$TN = TOP * Fd \quad (3)$$

Donde:

TN = Tiempo normal

TOP = Tiempo observado promedio

FD = Factor de desempeño

1.3.10 Tiempo Estándar

En la Ecuación (4) se observa el cálculo del tiempo estándar, equivalente al tiempo requerido para elaborar una unidad del producto procesado, por medio del empleo de un método y equipo estándar, en un colaborador calificado [26].

$$TS = TN * (1 + Suplementos) \quad (4)$$

Donde:

TS = Tiempo estándar

TN = Tiempo normal

1.3.11 Simulación de eventos discretos (FlexSim)

La simulación de eventos discretos permite la experimentación controlada de sistemas estocásticos complejos; de esta forma, posibilita el modelado de sistemas con secuencia cronológica, replicando la naturaleza discreta de las operaciones de

manufactura. Su ventaja radica en la aplicación de escenarios de simulación alternativos y mejora de las condiciones iniciales [29].

FlexSim es un entorno orientado a objetos utilizado con la finalidad de modelar, simular, visualizar y monitorizar sistemas de flujo dinámico, con aplicaciones verificables en manufactura, manejo de materiales, logística y otros campos de intervención. Bajo este enfoque se modela la operación de un sistema como una secuencia de eventos en el tiempo, donde cada evento ocurre en un instante específico [30]. En esta sección es importante diferenciar los tipos de variable aleatoria, ver Figura 9.

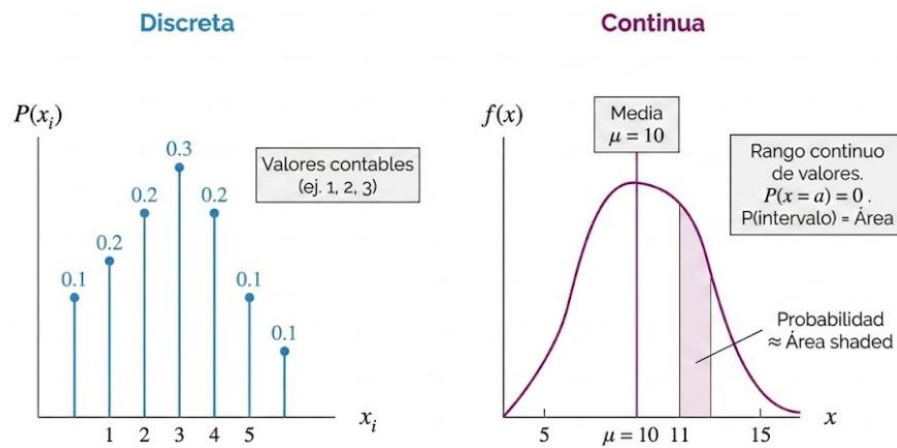


Figura 9. Variable aleatoria discreta y continua

a. Variable aleatoria discreta

Es la variable aleatoria que toma valores aislados y contables finitos o infinitos, la clave está en que no existe posibilidad de valores intermedios [31]. Por ejemplo: número de clientes que llegan a una fila, cantidad de producto terminado, número de colaboradores, etc.

b. Variable aleatoria continua

Es aquella que toma valores de uno o más intervalos de la recta de números reales, es decir puede tomar cualquier valor dentro de un rango determinado [31]. Por ejemplo: el peso de una persona, tiempo de procesamiento, temperatura de un equipo, etc.

1.3.12 Tipos de modelos de simulación

Dentro de este entorno de simulación, los modelos pueden clasificarse de acuerdo con la naturaleza de sus variables de entrada y salida, lo que da origen a: los modelos determinísticos y los modelos estocásticos.

a. Modelos determinísticos

Se originan cuando todas las variables de entrada que alimentan al sistema son constantes fijas y no aleatorias. Es decir, poseen un comportamiento predecible en función de sus variables fijas de entrada [32]. Son modelos que simplifican la realidad para ser matemáticamente viables y eficientes a nivel computacional, a costa de dejar de lado la variabilidad inherente al sistema [33].

b. Modelos estocásticos

Un modelo es estocástico cuando posee variables aleatorias como entradas y consecuentemente genera salidas del mismo tipo. A diferencia del modelo determinístico, el modelo estocástico requiere múltiples réplicas para estimar el comportamiento del sistema y cuantificar la incertidumbre de los resultados [30].

FlexSim cuenta con una amplia biblioteca de distribuciones estadísticas que permiten representar con fidelidad la variabilidad de los sistemas reales. En este contexto, el software cuenta con la herramienta ExpertFit integrada para ajuste de distribuciones de datos empíricos, obtenidos directamente a través de la observación.

1.3.13 Lógica de procesos con Process Flow

Process Flow es una herramienta de construcción lógica visual integrada en FlexSim, permite la construcción de lógica basada en flujogramas que reemplaza virtualmente el código computacional de un diagrama de flujo. Emplea una amplia gama de bloques de actividad preconstruidos, donde el analista construye la lógica del sistema en función del diagrama de flujo del proceso. Su característica diferencial es su integración bidireccional con los objetos de simulación del entorno de modelado 3D [30].

La Tabla 2 detalla los elementos utilizados con mayor frecuencia en el modelado de procesos de producción con la herramienta de Process Flow, cada uno de estos elementos cumple con una función específica que permite que la simulación sea dinámica y adaptable a cualquier realidad o entorno industrial que se desee simular.

Tabla 2. Elementos de Process Flow – FlexSim [34]

Elementos de Process Flow			Descripción y función en el modelado
Creación de tokens (recursos)	Schedule Source; Date Time Source; Event-Triggered Source		Son los elementos que ejecuta la creación de tokens de forma automática en el proceso de acuerdo con los parámetros configurados. Es el elemento que controla la lógica de la simulación.
	Assign Labels		Modifica, crea o actualiza variables internas llamadas etiquetas en los tokens, es una herramienta que permite identificar los tokens para controlarlos de acuerdo con los datos que se van almacenando, permite tomar decisiones.
Control de flujo básico	Delay		Retiene el token en el flujo del proceso por un periodo de tiempo.
	Decide		Es una condicional lógica que permite distribuir los tokens en base a diferentes criterios establecidos en sus herramientas.
	Batch		Es un elemento que permite realizar una agrupación de los tokens que se vinculan al sistema.
	Sink		Destruye por completo toda la información que contienen los tokens generados.
	Custom Code		Permite al usuario escribir código personalizado en Flex Script, utilizado comúnmente en simulaciones de precisión o de mayor complejidad.
Subflujos	Run Sub Flow		Ejecuta un subflujo de proceso independiente mediante la creación de tokens hijos en una actividad, se desvía a un subproceso donde los tokens hijos tienen un inicio y un fin almacenando la información que agregan en el trayecto del sistema.
	Start		Punto de entrada del subproceso de Run Sub Flow.

Elementos de Process Flow			Descripción y función en el modelado
	Finish		Punto de finalización del subproceso establecido en Run Sub Flow.
Visual	Change Visual		Modifica las propiedades visuales de los elementos 3D de la simulación.
	Run Animation		Ejecuta una animación en los elementos 3D, puede utilizar animaciones predeterminadas o crear nuevas animaciones.
Objetos	Create Object		Creas objetos físicos en el sistema simulado.
	Move Object		Mueve los diferentes objetos físicos a nuevas posiciones o ejes de referencia en el entorno simulado.
	Destroy Object		Elimina de forma permanente los elementos ingresados a la simulación, borrándolos de forma visual y lógica.
Secuencia de tareas	Travel		Actividad que da la orden de viaje o transporte a los diferentes ejecutores creados en el entorno 3D, controla el movimiento en el sistema de coordenadas.
	Load		Instruye al ejecutor de tareas para cargar un objeto de determinada locación para llevarla a una nueva posición.
	Unload		Instruye al ejecutor de tareas para descargar un objeto de la simulación 3D en una locación especificada.
	Delay (Task)		Tiempo e ejecución de la tarea por parte del elemento que realiza la actividad asignada.
Activos compartidos	Resource		Representa un activo físico dentro del sistema modelado, recurso que se necesita para realizar la ejecución de las diferentes actividades establecidas.
	Acquire Resource		Solicita un elemento recurso que se encuentra dentro de resource para ejecutar la lógica del sistema requerida.

Elementos de Process Flow			Descripción y función en el modelado
	Release Resource		Libera al recurso previamente adquirido para asignarle nuevas actividades en el flujo del proceso.
	List		Funciona como una base de datos dinámica dentro de la simulación.
	Push to List		Asigna o ingresa cualquier elemento a una determinada lista creada.
	Pull from List		Extrae un elemento de la lista o base de datos.
Formas visuales	Container		Es un recuadro visual de organización que no posee lógica interna de ejecución ni afecta a los tokens. Sirve para mantener el orden en la ejecución de la lógica modelada.

1.3.14 Herramienta Experimenter

Dentro del campo de modelado, análisis y mejora de sistemas complejos de producción, FlexSim destaca como uno de los softwares más avanzados para incorporar variabilidad estocástica inherentes en el desarrollo de procesos productivos reales. Sin embargo, su verdadero valor no reside en la construcción del modelo, sino en su capacidad de evaluación de modificaciones operativas sin la necesidad de interferir de forma física en la empresa analizada.

El módulo Experimenter (Experimentador) de FlexSim es en este sentido una herramienta integrada en el software, diseñada con la finalidad de automatizar la ejecución de múltiples análisis y configuraciones del modelado realizado denominados “escenarios”. Estos escenarios se definen como la combinación paramétrica específica de diferentes variables de entrada con base en las condiciones establecidas en el sistema [35].

Además, debido a que los modelos de simulación incluyen distribuciones de probabilidad y elementos aleatorios, los resultados de una sola ejecución no son estadísticamente confiables. En consecuencia, el Experimenter gestiona la ejecución de múltiples réplicas por cada escenario, permitiendo de esta forma el cálculo de intervalos de confianza y promedios estadísticamente válidos para los indicadores de rendimiento [35]. Esta herramienta cuenta con dos opciones de análisis: experimentos y optimización, descritos a continuación:

a. Experimentos

Los experimentos se fundamentan en los principios de diseño de experimentos, para ejecutar una evaluación sistemática de cómo las variables controladas afectan en las métricas dependientes de salida [36]. De esta forma el analista puede verificar que sucede con sus indicadores de desempeño si realiza algún cambio dentro de las variables controladas en el proceso, por ejemplo, cómo influyen las unidades producidas al incrementar recursos como colaboradores, maquinaria, etc.

b. Optimización

Mientras que la experimentación analiza configuraciones predefinidas en los diferentes escenarios, la optimización lleva el análisis a un nivel superior, donde se busca de forma dinámica la mejor solución posible para maximizar o minimizar la función objetivo establecida. Este proceso se lleva a cabo gracias a la integración con el motor de optimización OptQuest. Este optimizador emplea algoritmos metaheurísticos avanzados como algoritmos genéticos y redes neuronales, con la finalidad de explorar miles de combinaciones posibles de los parámetros de entrada al sistema [36].

Este enfoque requiere del establecimiento de una función objetivo por parte del analista como maximizar producción o disminuir costos, sujeta a diferentes restricciones lógicas y límites variables. El algoritmo integrado descarta de forma automática soluciones ineficientes y converge hacia soluciones óptimas que serían casi imposibles de descubrir mediante una evaluación manual de escenarios [36].

De esta forma la integración metodológica de la experimentación y optimización representa un enfoque analítico más avanzado en DES. Esta sinergia no solo permite absorber la variabilidad estocástica de los procesos de producción, sino que garantiza que los diseños de plantas o estrategias operativas sean resilientes, maximizando el uso de recursos y mejorando la rentabilidad global de las empresas.

1.3.15 Indicadores clave de desempeño (KPIs)

Los Indicadores clave de desempeño, conocidos por sus siglas en inglés como KPIs, tienen la función de evaluar y comunicar el desempeño de la organización en los aspectos donde se los esté aplicando. Sin embargo, su gestión deficiente o descontrolada puede tener efectos contraproducentes. La selección de KPIs debe guiarse por los criterios SMART (Específicos, Medibles, Alcanzables, Relevantes, Temporales) y alinearse con los objetivos estratégicos planteados por la organización en un tiempo determinado [37].

Su aplicación permite identificar con mayor precisión y rapidez los pilares de mejora, tener valores de referencia para una toma de decisiones con base en datos objetivos, siendo un vínculo de la estrategia organizacional y la ejecución operativa del sistema productivo [38]. Entre los indicadores más relevantes en el campo textil destacan la tasa de utilización de recursos, producción efectiva, disponibilidad de la maquinaria, rendimiento y calidad del proceso productivo [39].

El monitoreo de estos indicadores permite la comparación de su comportamiento en diferentes escenarios alternativos planteados, lo cual es fundamental para analizar alternativas de mejora y puntos críticos de actuación. A continuación, se definen los indicadores seleccionados para el estudio.

a. Trabajo en proceso - WIP

Es la cantidad promedio de unidades que se encuentran en todo el transcurso de producción desde el inicio hasta el final, incluye aquellas unidades con procesamiento activo y sus respectivas colas de espera. Estudios plantean que el WIP es un indicador sensible a las mejoras ejecutadas en un proceso, siendo una métrica que mejor refleja las intervenciones en el modelado de simulación [40].

b. Rendimiento - Throughput

La producción total denominada “throughput” es el indicador primario de cualquier sistema de manufactura. Equivalente a la cantidad de unidades producidas en un periodo de tiempo determinado, siendo un indicador limitado por la tasa de la estación cuello de botella del proceso, que limita la capacidad máxima teórica del sistema [41]. Los cuellos de botella pueden identificarse en FlexSim por medio de la observación de la utilización de recursos y niveles de cola acumulados durante el flujo simulado, su cálculo se determina en la Ecuación (5).

$$Throughput = \frac{Unidades\ producidas}{Período\ de\ tiempo} \quad (5)$$

c. Utilización - Colaboradores

La utilización de colaboradores es la fracción de tiempo disponible en que se encuentran realizando sus tareas productivas. La tasa de utilización de los colaboradores es una de las medidas de desempeño más estudiadas en la literatura de manufactura, debido a su relación directa con la capacidad productiva del sistema [40]. Su fórmula de cálculo se refleja en la Ecuación (6).

$$\% Utilización\ Operario = \frac{Tiempo\ procesando}{Tiempo\ disponible} * 100\% \quad (6)$$

d. Utilización - Maquinaria

Es el equivalente al indicador utilización de colaboradores aplicado a recursos físicos del sistema [40] . La Ecuación (7) describe sus componentes de cálculo.

$$\% Utilización\ Maquinaria = \frac{Horas\ funcionamiento\ real}{Horas\ totales\ disponibles} * 100\% \quad (7)$$

1.3.16 Resiliencia en sistemas productivos

Ivanov define la resiliencia como la capacidad de resistir disrupciones, mantener niveles aceptables de funcionamiento, recuperarse rápidamente y retornar al estado original. Existen dos perspectivas complementarias: la resiliencia basada en

estabilidad y la basada en adaptación, con la finalidad de un análisis que permita mejorar las condiciones del sistema frente a situaciones adversas externas e internas [17].

En este contexto, la simulación de eventos discretos ha emergido como una herramienta de gran interés para el análisis de resiliencia en sistemas productivos. Mediante la construcción de escenarios alternativos virtuales, es posible ejecutar una evaluación del comportamiento del sistema en casos adversos. Existen dos formas de medir la capacidad de resiliencia de un sistema, la primera, enfocada en redes de la cadena de suministro; y la segunda, centrada en que una interrupción afecta al sistema y su efecto se genera en una desviación del desempeño [42].

Actualmente, la literatura existente reconoce la estabilidad estructural y la continuidad de procesos como los principales indicadores de resiliencia. Los indicadores de desempeño planteados son OTD (*ratio of customer orders delivered on time/ porcentaje de pedidos de clientes entregados a tiempo*), FR (*ratio of orders successfully fulfilled from available inventory/ Relación de pedidos cumplidos con éxito a partir del inventario disponible*) y FRS (*fulfilment structure rate/tasa de estructura de cumplimiento*). OTD es la proporción de pedidos entregados a tiempo respecto a todos los pedidos realizados por los clientes [42]. La fórmula de cálculo se detalla en la Ecuación (8).

$$OTD = \frac{\text{número de pedidos a tiempo}}{\text{número total de pedidos realizados}} \quad (8)$$

FR en cambio es la proporción de pedidos cumplidos con éxito a partir del inventario disponible, con respecto al total de pedidos realizados [42]. Ver Ecuación (9).

$$FR = \frac{\text{número de pedidos a tiempo con inventario disponible}}{\text{número total de pedidos realizados}} \quad (9)$$

FSR es similar a FR pero cambia el enfoque de forma ligera a una red de almacenes con inventario disponible [42]. Ver Ecuación (10).

$$FRS = \frac{\text{almacenes que cumplen los pedidos a partir del inventario}}{\text{número total de almacenes}} \quad (10)$$

1.3.17 Productividad

De forma genérica la productividad se define como la relación entre los productos o servicios obtenidos (output) y los recursos empleados para su consecución [43].

En este contexto, aumentar la productividad conlleva producir más con el mismo consumo de recursos o producir igual utilizando menos recursos. De esta forma se obtiene la ecuación de la productividad:

$$Productividad = \frac{Output\ de\ recursos}{Recursos\ empleados} \quad (11)$$

La Ecuación (11) representa el indicador de productividad habitual, puede ser enfocado a instalaciones, máquinas, equipos y especialmente a la mano de obra directa [43].

1.3.18 Utilización

La utilización por su parte comprende al empleo en mayor o menor nivel de los recursos disponibles en relación con las horas que permanecen funcionando en determinada operación. La clave de tener un grado de utilización adecuado recae sobre la planificación adecuada a la capacidad, en función del ritmo de producción establecido [43]. La Ecuación (12) rige la utilización:

$$\% Utilización = \frac{HCE}{HPT} * 100 \quad (12)$$

Donde:

HCE = Horas de capacidad empleadas

HPT = Horas programadas de trabajo

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar un modelo de simulación para la optimización y resiliencia productiva en la empresa textil Tefy Tex.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el proceso actual de fabricación de jeans para establecer las condiciones iniciales de la empresa por medio de herramientas de estudio de trabajo.
- Desarrollar un modelo de simulación para optimizar la producción e incrementar la resiliencia en el sistema.
- Experimentar escenarios de mejora productiva para fundamentar decisiones resilientes mediante la comparación de indicadores de desempeño.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se estructura una metodología sistemática orientada al cumplimiento de los objetivos planteados para la optimización y resiliencia productiva en la empresa textil Tefy Tex. En esta instancia, se detalla los recursos utilizados y posteriormente se describe el enfoque metodológico adoptado.

2.1 Materiales

La Tabla 3 detalla los materiales, recursos de hardware, software y herramientas ofimáticas, empleadas en el desarrollo del proyecto de investigación.

Tabla 3. Lista de materiales

Material	Descripción	Ilustración
Software FlexSim	Software especializado en la simulación de eventos discretos, utilizada para el modelado, análisis y optimización de sistemas productivos y logísticos.	
Software AutoCad	Software de diseño asistido por computador fundamental para el desarrollo de ingeniería de detalle y representación de los planos del proyecto.	
Microsoft Word	Herramienta ofimática de procesamiento de textos para la estructuración y redacción formal del documento de tesis.	
Microsoft Excel	Herramienta de análisis cuantitativo y gestión de datos para el procesamiento de información recolectada en la investigación.	

Material	Descripción	Ilustración
Internet	Infraestructura tecnológica y fuente de información para el proyecto de investigación. Acceso a base de datos y herramientas complementarias.	
Laptop	Hardware de procesamiento de datos y ejecución de todas las actividades de investigación.	
Celular	Herramienta de soporte para la recolección de datos y evidencia digital de las visitas técnicas y levantamiento de información en campo.	
Cuaderno de trabajo	Registro manuscrito de datos, observaciones directas y notas de campo durante el desarrollo de la investigación.	

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

Esta investigación integra tres modalidades de investigación complementarias:

Modalidad de **investigación bibliográfica documental** como fundamento teórico y metodológico del estudio. Esta modalidad consta de una revisión, análisis y síntesis de fuentes secundarias de información. De esta forma se elabora el marco teórico, identifica mejores prácticas y literatura relevante que aporte a la temática establecida. La búsqueda bibliográfica de información se realiza mediante bases de datos

académicas reconocidas, abarcando publicaciones recientes para garantizar actualidad del conocimiento.

Además, **investigación de campo** ya que implica la recolección directa de datos primarios en el entorno real de operaciones la empresa. De esta forma se obtiene información de primera mano sobre el funcionamiento del sistema productivo, actividades de operación actuales, problemáticas específicas y condiciones reales de operación. La investigación de campo comprende la utilización de técnicas de recolección como: observación directa, estudio de tiempos, análisis de registros históricos, levantamiento de información y dimensionamiento de la planta.

Finalmente, se aplicará **investigación experimental** virtual, mediante la simulación de escenarios alternativos virtuales en el software FlexSim. Esta herramienta tecnológica nos permite realizar experimentos controlados, que replican el comportamiento del sistema productivo real, sin incluir costos o riesgos inherente en un cambio físico real. En este contexto se realiza el diseño de experimentos, análisis y experimentación de los escenarios planteados y verificación de resultados obtenidos.

2.2.2 Población y muestra

La Tabla 4 muestra los procesos de producción para análisis en la empresa textil Tefy Tex. Consta de todas las etapas de lavado de Jeans, un total de 5 procesos secuenciales. Se trabaja con todos los procesos de producción existentes desde la recepción de prendas a procesar hasta el almacenamiento de productos terminados.

Tabla 4. Procesos de producción empresa textil Tefy Tex

Nº	Procesos
1	Servicios iniciales
2	Lavado
3	Acabado
4	Planchado
5	Almacenaje

2.2.3 Recolección de información

La recolección de información se realiza mediante observación directa en las instalaciones de la empresa textil Tefy Tex. Se aplica la técnica de estudio de tiempos y movimientos, con la finalidad de obtener los tiempos estándar de las operaciones del proceso productivo. Adicionalmente, esta información se complementa con el levantamiento del layout de la empresa, estructurándose en dos fases: (i) diagnóstico de la situación actual y (ii) toma de tiempos y procesamiento de datos.

2.2.4 Procesamiento y análisis de datos

Posterior a la recolección de información, los datos obtenidos se analizan y procesan por medio de los siguientes procedimientos:

- Análisis del sistema productivo actual;
- Determinación de tiempos estándar;
- Desarrollo del modelo de simulación;
- Experimentación de escenarios de mejora;
- Análisis de resultados enfocado en productividad y resiliencia.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan y analizan los principales hallazgos obtenidos a partir del diagnóstico actual y la evaluación de los procesos operativos de la empresa. Todo ello se realiza mediante el procesamiento de los datos recolectados en campo y posterior estructuración del modelo de simulación, lo cual permite contrastar los diferentes escenarios generados para evaluar el rendimiento productivo y la resiliencia del sistema.

3.1 Análisis del proceso productivo actual de la empresa

Esta sección desarrolla el diagnóstico situacional del sistema productivo de la empresa, con el objetivo de establecer la base operativa indispensable para el desarrollo del proyecto. Para ello, se integra el levantamiento de información en campo mediante el uso de herramientas de ingeniería de métodos, lo que permite caracterizar el comportamiento del sistema en condiciones normales de operación.

3.1.1 Introducción a la empresa

La empresa textil “Tefy Tex” es una empresa originaria del cantón Pelileo, provincia de Tungurahua, dedicada al sector manufacturero de jeans. Desde su origen ha evolucionado como una empresa de carácter familiar. Su actividad principal se focaliza en el proceso de lavado y acabado de jeans, proporcionando características estéticas y funcionales en estas prendas de vestir. Su finalidad es satisfacer las necesidades y superar las expectativas de sus clientes.

Nombre de la empresa: “Tefy Tex”

Actividad económica: Procesamiento y lavado de jeans

Sector: Industria textil

Mercado: Producción destinada al mercado nacional

Provincia: Tungurahua

Cantón: Pelileo

Ubicación: Sector “El Corte”

Logotipo: La Figura 10 refleja el logotipo actual de la empresa.



Figura 10. Logotipo de la empresa

3.1.2 Filosofía empresarial

a. Misión

“Somos una empresa familiar dedicada al procesamiento, lavado y acabado de jeans, proporcionando jeans de alta calidad para satisfacer las expectativas y requerimientos del cliente en el ámbito estético y funcional. Comprometidos con el cuidado del medio ambiente y garantizando el cumplimiento oportuno de nuestros clientes.”

b. Visión

“Ser una empresa líder altamente influyente en el sector textil de la región interandina, reconocida por nuestra calidad, adaptación de tecnologías emergentes y responsabilidad social. Consolidaremos un modelo de gestión basado en la digitalización e innovación tecnológica para las Pymes en Ecuador”

3.1.3 Layout actual de la empresa

La Figura 11 presenta el layout de la distribución de instalaciones actual. Esta representación visual permite verificar la ubicación de maquinaria y equipos existentes, así como las dimensiones reales de las áreas del proceso.

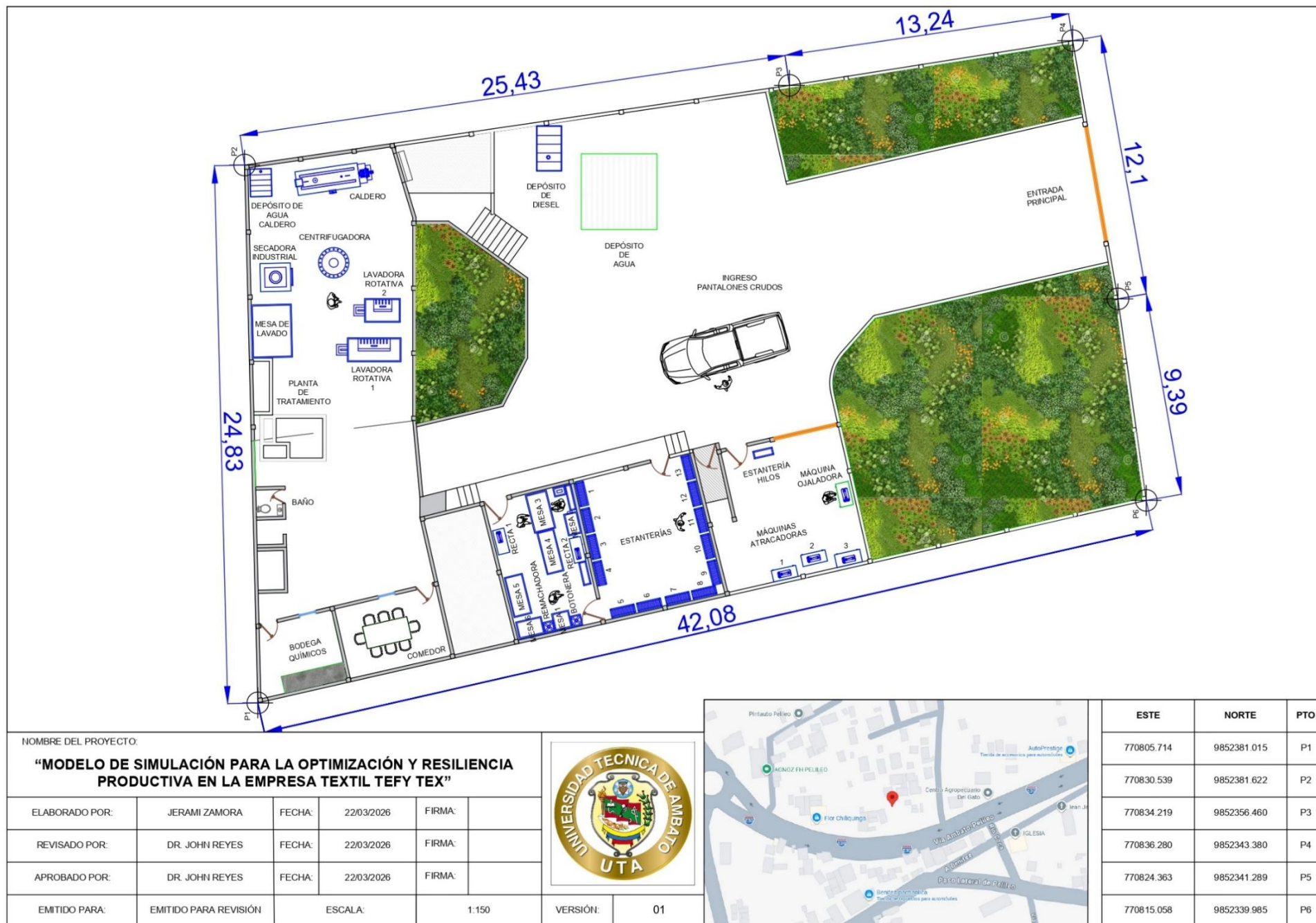


Figura 11. Layout de distribución actual de la empresa textil Tefy Tex

3.1.4 Procesos de producción

Los procesos de producción de la empresa se han ido adaptando a la distribución espacial de las instalaciones, la cual ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, creciendo en el área disponible del propietario. Actualmente, la infraestructura se divide en cinco procesos de producción que albergan operaciones y actividades secuenciales identificadas en el lavado de jeans.

a. Servicios iniciales

El proceso productivo de la empresa inicia con la recepción de pantalones crudos en servicios iniciales, estas prendas son de dos tipos: i) tela clásica ii) tela satín blue; a partir de ello se inicia la ejecución de las operaciones de preparación de la prenda. La primera operación comprende el realizar el ojal, actividad para la cual se dispone de una máquina ojaladora. Posteriormente, los pantalones se trasladan para realizar el refuerzo de las trabillas conocido como tracar, actividad para la cual se dispone de tres máquinas tracadoras.

Una vez finalizadas las dos operaciones se verifica el tipo de tela del lote de pantalones, para determinar la ruta del proceso que se debe seguir. En el caso de que corresponda a tela clásica, los colaboradores proceden a voltear las prendas; por el contrario, en la tela de tipo satín blue solo se agrupa en lotes de 40 unidades para continuar directamente al siguiente proceso. Cabe mencionar que voltear las prendas en la tela clásica es esencial para conservar los acabados requeridos, la Figura 12 evidencia el espacio físico del proceso de servicios iniciales.



Figura 12. Fotografía del proceso servicios iniciales

b. Lavado

Una vez culminados los servicios iniciales, los pantalones son transportados al área de lavado la cual constituye el núcleo operativo de la empresa, es aquí donde se ejecutan los procesos químicos y físicos según el acabado deseado en las prendas. Entre ellos destacan el desengome, stoneado, blanqueo, suavizado, neutralizado, tinturado y fijado. Habitualmente la empresa lava siete tipos de color o tono en sus prendas: tono industrial, stone 1, stone 2, stone 3, café, verde y petróleo. Para cada uno de ellos existe un procedimiento definido, componentes químicos y temperaturas para lograr el tono deseado. Al finalizar el proceso de lavado las prendas continúan a las etapas de centrifugado, secado y finalmente se trasladan al proceso de acabados. La Figura 13 evidencia el proceso de lavado.



Figura 13. Fotografía del proceso de lavado

c. Acabados

Este proceso está destinado a incorporar los detalles finales de la prenda, las actividades ejecutadas incluyen la costura de las etiquetas, remachado para reforzar las costuras, pulido de hilos y colocación del botón del pantalón. Todo ello se realiza mediante el trabajo operativo de los colaboradores, quienes emplean máquinas de costura recta, remachadora y botonera para tareas de confección, mientras que el pulido de hilos se realiza de forma manual, ver Figura 14.



Figura 14. Fotografía del proceso de acabados

d. Planchado

La Figura 15 refleja el área del proceso de planchado, que está dedicada a los terminados estéticos del pantalón, para ello se realiza el estilizado de la prenda con una plancha industrial, asegurando una presentación adecuada. A continuación, las prendas se doblan y se colocan dos etiquetas de cartón con un adhesivo de la talla correspondiente. Cada grupo de pantalones generalmente se procesa en lotes de 40 unidades.



Figura 15. Fotografía del proceso de planchado

e. Almacenaje

El proceso final del flujo productivo comprende el almacenaje para su posterior distribución, se clasifican las prendas por tallas y colores para su subsecuente ubicación en las estanterías y distribución al cliente final. Este proceso da por concluido el ciclo operativo de la empresa, ver Figura 16.



Figura 16. Fotografía del proceso de almacenaje

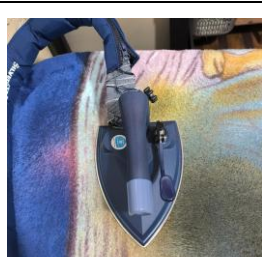
3.1.5 Maquinaria y equipos existentes

Para la fabricación de los jeans en sus diferentes tipos y tonalidades, la empresa cuenta con diferentes tipos de máquinas y equipos. Estos recursos cumplen funciones específicas que se ven detalladas en la Tabla 5. En esta tabla se encuentra el proceso al que corresponde, el nombre de la máquina o equipo, la función específica de forma detallada y una imagen representativa.

Tabla 5. Maquinaria y equipos de la empresa

Proceso	Maquinaria / Equipo	Función	Imagen
Servicios iniciales	Ojaladora	Realizar los ojales del pantalón (Corte y costura para ingreso y sujeción del botón)	
	Tracadora 1	Realizar la costura de las trabillas, reforzar la costura que sujeta la correa en el pantalón	

Proceso	Maquinaria / Equipo	Función	Imagen
	Tracadora 2	Realizar la costura de las trabillas, reforzar la costura que sujeta la correa en el pantalón	
	Tracadora 3	Realizar la costura de las trabillas, reforzar la costura que sujeta la correa en el pantalón	
Lavado	Caldero	Genera calor para abastecer a las lavadoras rotativas, la secadora y a la plancha industrial.	
	Lavadora rotativa 1	Ejecuta los procesos de lavado y enjuague de los pantalones	
	Lavadora rotativa 2	Ejecuta los procesos de lavado y enjuague de los pantalones	
	Centrifugadora	Extrae el exceso de agua de los pantalones mediante fuerza centrífuga	

Proceso	Maquinaria / Equipo	Función	Imagen
	Secadora Industrial	Elimina el restante de humedad de los pantalones posterior al centrifugado	
Acabados	Recta 1	Realiza la costura para la colocación de la etiqueta	
	Recta 2	Realiza la costura para la colocación de la etiqueta	
	Remachadora	Coloca los remaches metálicos en puntos de refuerzo de los pantalones	
	Botonera	Coloca los botones en cada pantalón	
Planchado	Plancha industrial	Realiza el acabado final eliminando arrugas y mejorando la presentación final	

Proceso	Maquinaria / Equipo	Función	Imagen
	Plastiflecha	Coloca etiquetas de cartón mediante un accesorio plástico en los pantalones.	

3.1.6 Diagrama de flujo de proceso

La representación visual de la secuencia de los procesos de producción es de gran utilidad para comprender el funcionamiento y el flujo de proceso de la empresa. El diagrama de flujo detallado en la Figura 17 permite verificar de forma simplificada los procesos y decisiones del sistema productivo.

En este esquema se visualizan los cinco macroprocesos que se realizan en la empresa y su secuencia específica, inicia desde los servicios iniciales hasta el almacenaje y posterior distribución a los clientes. Este levantamiento de información se realizó mediante observación directa en las instalaciones de la empresa y sirve como base para la generación del modelo de simulación en FlexSim, donde cada etapa se debe parametrizar respecto a tiempos y disponibilidad de recursos.

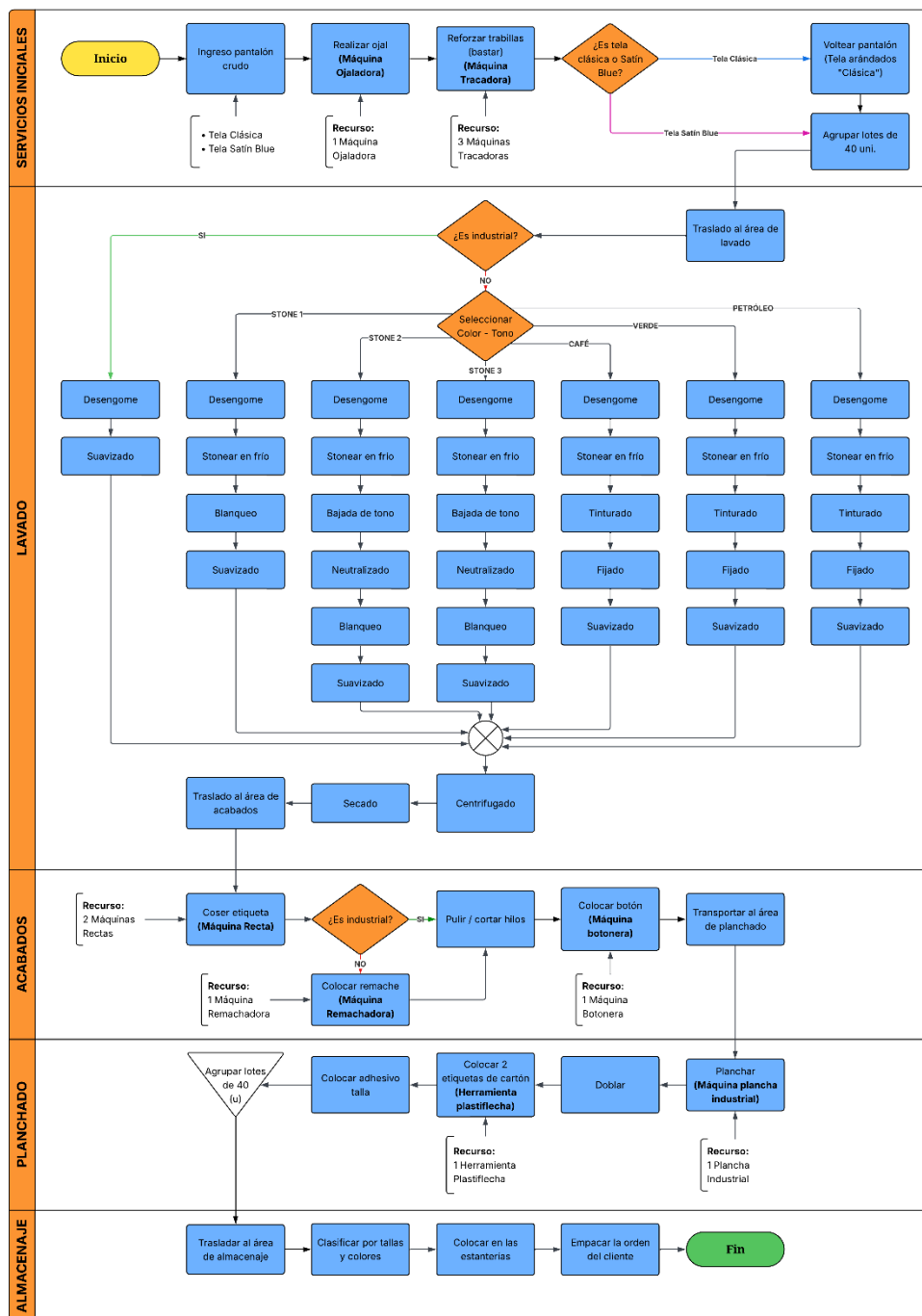


Figura 17. Diagrama de flujo de proceso de la empresa textil "Tefy Tex"

3.1.7 Codificación de actividades

Con el fin de mejorar la estructura y legibilidad del documento, se emplea codificación para las tareas. El significado de cada una de las actividades se detalla en la

Tabla 6 .

Tabla 6. Codificación de las actividades

Codificación	Descripción de la actividad
A1	Cargar los pantalones desde el camión proveedor
A2	Trasladar los pantalones al área de servicios iniciales
A3	Descargar los pantalones en el área de ingreso a ojaladora
A4	Hacer el ojal del pantalón en la máquina ojaladora
A5	Trasladar los pantalones a las máquinas tracadoras
A6	Hacer el refuerzo de las trabillas en la máquina tracadora
A7	Trasladar el pantalón al área de preparación para lavado
A8	Voltear las prendas
D-B1	Trasladar el lote al área de lavado
D-B2	Desengome: Abrir válvula agua, cargar 300 Lt de agua y cerrar válvula
D-B3	Desengome: Abrir válvula de vapor, encender lavadora y añadir químicos
D-B4	Desengome: Disolución del químico
D-B5	Desengome: Parar lavadora y cargar prendas
D-B6	Desengome: Encender lavadora y procesar - lavar
D-B7	Desengome: Apagar lavadora y descargar agua
D-B8	Desengome: Realizar 2 enjuagues
S-B9	Suavizado: Abrir válvula agua, cargar 200 Lt de agua y cerrar válvula
S-B10	Suavizado: Abrir válvula de vapor, encender lavadora y añadir químicos
S-B11	Suavizado: Procesar - Lavar
S-B12	Suavizado: Apagar lavadora y descargar agua
B1	Descargar los pantalones en recipiente y cargar la centrifugadora
B2	Trasladar pantalones a centrifugadora
B3	Centrifugar pantalones
B4	Descargar los pantalones en recipiente
B5	Trasladar los pantalones a la máquina secadora
B6	Secar los pantalones
B7	Descargar los pantalones en recipiente
B8	Trasladar los pantalones a mesa de lavado
B9	Voltear los pantalones
B10	Trasladar los pantalones al área de acabados
C1	Coser la etiqueta en las máquinas rectas
C2	Trasladar a la máquina remachadora
C3	Colocar el remache en la máquina remachadora
C4	Trasladar a pulido
C5	Pulir y cortar hilos
C6	Transportar a la máquina botonera
C7	Colocar botón
C8	Trasladar al área de planchado

Codificación	Descripción de la actividad
D1	Planchar los pantalones
D2	Doblar los pantalones
D3	Colocar 2 etiquetas de cartón
D4	Colocar el adhesivo de talla
E2	Clasificar por tallas y colores
E3	Colocar en las estanterías

3.1.8 Cursograma analítico

Los cursogramas analíticos detallados en la siguiente sección se estructuran en función de los cinco procesos principales establecidos en el diagrama de flujo de procesos:

a. *Servicios Iniciales*

El cursograma analítico del proceso de servicios iniciales describe la primera intervención de los colaboradores en las prendas. Este flujo abarca desde la recepción de los lotes de pantalones a procesar, hasta la preparación de las prendas para ingresar al proceso de lavado. El detalle de cada una de las actividades realizadas se evidencia en el cursograma analítico 1 de la Tabla 7.

Tabla 7. Cursograma analítico – Servicios iniciales

Cursograma analítico del proceso								
Cursograma N°			1	Actividad				
Proceso				Operación				
Servicios iniciales				Transporte				
				Inspección				
Producto - Color				Espera				
General				Almacenaje				
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				8
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				11,92
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				94,72
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad				
								
A1	40	-	30,26	X				
A2	40	7,42	-		X			
A3	40	-	14,51	X				

Los pantalones ingresan en lotes de 40 unidades

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		1	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○	5		
	Servicios iniciales			Transporte		⇒	3		
				Inspección		□	0		
Producto - Color				Espera		D	0		
General				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				8	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				11,92	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				94,72	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
A4	1	-	6,75	X					Recurso: 1 Máquina Ojaladora
A5	40	2,1	-		X				
A6	1	-	34,45	X					Recurso: 3 Máquinas Tracadoras
A7	40	2,4	-		X				
A8	1	-	8,75	X					Solo se voltea los pantalones del lote de tela clásica
Total	40	11,92	94,72	5	3	0	0	0	

b. Lavado

Con el objetivo de proporcionar dinamismo y versatilidad a la simulación ante diferentes escenarios, se analizaron las variaciones del proceso con base en los distintos tonos de las prendas que se realizan. Dado que las actividades de lavado cambian según la tonalidad requerida, se realizaron siete cursogramas analíticos basados en su tonalidad, detallados desde el cursograma 2.1 hasta el 2.7 en las siguientes tablas:

Tabla 8. Cursograma analítico – Lavado tono industrial

		Cursograma analítico del proceso							
		Cursograma N°	2.1	Actividad				Cantidad	
		Proceso		Operación		○		11	
				Transporte		⇒		1	
Lavado				Inspección		□		0	
				Espera		D		0	
Producto - Color				Almacenaje		▽		0	
Tono Industrial								0	
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				12	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				2106,3	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
D-B1	40	26,46	-		X				
D-B2	-	-	77,87	X					
D-B3	-	-	33,45	X					2000 gr antiqiebre 300 gr de alfa-amilasa
D-B4	-	-	145,95	X					La temperatura llega a 40°C
D-B5	40	-	32,67	X					
D-B6	40	-	930,78	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
D-B7	40	-	48,43	X					
D-B8	40	-	145,21	X					
S-B9	40	-	60,24	X					
S-B10	40	-	33,58	X					200 gr suavizante
S-B11	40	-	548,69	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
S-B12	40	-	49,43	X					
Total	40	26,46	2106,3	11	1	0	0	0	

Tabla 9. Cursograma analítico – Lavado tono Stone 1

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.2	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○	21		
	Lavado			Transporte		⇒	1		
Inspección				□	0				
Producto - Color				Espera		D	0		
Tono Stone 1				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				22	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				6601,63	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
D-B1	40	26,46	-		X				
D-B2	-	-	89,45	X					
D-B3	-	-	26,48	X					2000 gr antiqiebre 300 gr de alfa-amilasa
D-B4	-	-	165,94	X					La temperatura llega a 40°C
D-B5	40	-	39,45	X					
D-B6	40	-	946,41	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
D-B7	40	-	59,89	X					
D-B8	40	-	159,78	X					
F-B9	40	-	65,48	X					
F-B10	40	-	25,49	X					100 gr enzima neutra 100 gr dispercol
F-B11	40	-	2749,03	X					
F-B12	40	-	68,12	X					
F-B13	40	-	168,37	X					
B-B14	40	-	69,45	X					
B-B15	40	-	61,23	X					400 gr peróxido de hidrógeno 150 gr metasilicato de sodio 100 gr brillo azulado
B-B16	40	-	853,49	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
B-B17	40	-	75,14	X					

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.2	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○	21		
	Lavado			Transporte		⇒	1		
Inspección				□	0				
Producto - Color				Espera		D	0		
Tono Stone 1				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				22	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				6601,63	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
B-B18	40	-	200,51	X					
S-B19	40	-	64,21	X					
S-B20	40	-	42,18	X					200 gr suavizante
S-B21	40	-	615,87	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
S-B22	40	-	55,66	X					
Total	40	26,46	6601,63	21	1	0	0	0	

Tabla 10. Cursograma analítico – Lavado tono Stone 2

Cursograma analítico del proceso									
Cursograma N°			2.3	Actividad					Cantidad
Proceso				Operación					31
Lavado				Transporte					1
				Inspección					0
Producto - Color				Espera					0
Tono Stone 2				Almacenaje					0
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades					32
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)					26,46
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)					8521,96
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
									
D-B1	40	26,46	-		X				
D-B2	-	-	94,37	X					
D-B3	-	-	36,14	X					2000 gr antiqiebre 300 gr de alfa-amilasa
D-B4	-	-	26,19	X					La temperatura llega a 40°C
D-B5	40	-	39,62	X					
D-B6	40	-	912,08	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.3	Actividad					Cantidad
	Proceso			Operación					31
	Lavado			Transporte					1
Inspección							0		
Producto - Color				Espera					0
Tono Stone 2				Almacenaje					0
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades					32
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)					26,46
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)					8521,96
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
									
D-B7	40	-	37,79	X					
D-B8	40	-	123,61	X					
F-B9	40	-	76,72	X					
F-B10	40	-	38,49	X					100 gr enzima neutra 100 gr dispercol
F-B11	40	-	2745,33	X					
F-B12	40	-	75,12	X					
F-B13	40	-	135,23	X					
C-B14	40	-	89,24	X					
C-B15	40	-	66,23	X					500 gr cloro
C-B16	40	-	684,06	X					
C-B17	40	-	39,43	X					
C-B18	40	-	125,78	X					
N-B19	40	-	65,15	X					
N-B20	40	-	35,19	X					500 gr metabisulfito de sodio 100 gr detergente 200 gr ácido oxálico
N-B21	40	-	948,3	X					
N-B22	40	-	56,13	X					
N-B23	40		195,72	X					
B-B24	40	-	65,26	X					

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.3	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación			31		
	Lavado			Transporte			1		
Inspección					0				
Producto - Color				Espera			0		
Tono Stone 2				Almacenaje			0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				32	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				8521,96	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
									
B-B25	40	-	39,47	X					400 gr peróxido de hidrógeno 150 gr metasilicato de sodio 100 gr brillo azulado
B-B26	40	-	806,08	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
B-B27	40	-	34,89	X					
B-B28	40	-	160,41	X					
S-B29	40	-	55,33	X					
S-B30	40	-	42,76	X					200 gr suavizante
S-B31	40	-	634,18	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
S-B32	40	-	37,66	X					
Total	40	26,46	8521,96	31	1	0	0	0	

Tabla 11. Cursograma analítico – Lavado tono Stone 3

		Cursograma analítico del proceso							
		Cursograma N°		2.4	Actividad			Cantidad	
		Proceso			Operación		○	31	
					Transporte		⇒	1	
		Lavado			Inspección		□	0	
Producto - Color				Espera		D		0	
Tono Stone 3				Almacenaje		▽		0	
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades			32		
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)			26,46		
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)			8530,34		
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
D-B1	40	26,46	-		X				

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.4	Actividad					Cantidad
	Proceso			Operación			31		
	Lavado			Transporte			1		
Inspección					0				
Producto - Color				Espera			0		
Tono Stone 3				Almacenaje			0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades					32
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)					26,46
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)					8530,34
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
									
D-B2	-	-	99,25	X					
D-B3	-	-	37,14	X					2000 gr antiqiebre 300 gr de alfa-amilasa
D-B4	-	-	24,82	X					La temperatura llega a 40°C
D-B5	40	-	37,56	X					
D-B6	40	-	848,65	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
D-B7	40	-	40,66	X					
D-B8	40	-	127,1	X					
F-B9	40	-	89,61	X					
F-B10	40	-	35,55	X					100 gr enzima neutra 100 gr dispercol
F-B11	40	-	2904,99	X					
F-B12	40	-	80,37	X					
F-B13	40	-	158,33	X					
C-B14	40	-	85,02	X					
C-B15	40	-	63,12	X					1000 gr cloro
C-B16	40	-	666,8	X					
C-B17	40	-	40,13	X					
C-B18	40	-	125,5	X					
N-B19	40	-	63,35	X					
N-B20	40	-	36,25	X					500 gr metabisulfito de sodio 100 gr detergente 200 gr ácido oxálico
N-B21	40	-	896,25	X					

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.4	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○		31	
	Lavado			Transporte		⇒		1	
Inspección				□		0			
Producto - Color				Espera		D		0	
Tono Stone 3				Almacenaje		▽		0	
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				32	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				8530,34	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
N-B22	40	-	54,59	X					
N-B23	40		192,97	X					
B-B24	40	-	65,4	X					
B-B25	40	-	41,89	X					400 gr peróxido de hidrógeno 150 gr metasilicato de sodio 100 gr brillo azulado
B-B26	40	-	770,57	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
B-B27	40	-	35,33	X					
B-B28	40	-	175,75	X					
S-B29	40	-	51,37	X					
S-B30	40	-	44,02	X					200 gr suavizante
S-B31	40	-	602,91	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
S-B32	40	-	35,09	X					
Total	40	26,46	8530,34	31	1	0	0	0	

Tabla 12. Cursograma analítico – Lavado tono Café

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.5	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○		26	
	Lavado			Transporte		⇒		1	
Inspección				□		0			
Producto - Color				Espera		D		0	
Tono Café				Almacenaje		▽		0	
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				27	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				6855,69	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
D-B1	40	26,46	XXX		X				
D-B2	-	-	94,13	X					
D-B3	-	-	37,91	X					2000 gr antiqiebre 300 gr de alfa-amilasa
D-B4	-	-	13,27	X					La temperatura llega a 40°C
D-B5	40	-	38,88	X					
D-B6	40	-	924,56	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
D-B7	40	-	34,99	X					
D-B8	40	-	125,29	X					
F-B9	40	-	90,58	X					
F-B10	40	-	52,83	X					100 gr enzima neutra 100 gr dispercol
F-B11	40	-	2415,06	X					
F-B12	40	-	49,48	X					
F-B13	40	-	37,07	X					
T-B14	40	-	67,36	X					
T-B15	40	-	39,48	X					100 gr humectante 100 gr agente de igualación 50 gr tinta café 5 gr tinta amarillo 3kg sal industrial
T-B16	40	-	1005,98	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
T-B17	40	-	65,62	X					
T-B18	40	-	63,64	X					
J-B19	40	-	65,56	X					
J-B20	40	-	44,23	X					500 gr fijador

Cursograma analítico del proceso								
Cursograma N°			2.5	Actividad				Cantidad
Proceso				Operación		○		26
Lavado				Transporte		⇒		1
				Inspección		□		0
Producto - Color				Espera		D		0
Tono Café				Almacenaje		▽		0
Fecha: 15 de marzo del 2026			Total de actividades					27
Realizado por: Jerami Zamora			Distancia (m)					26,46
Aprobado por: Dr. John Reyes			Tiempo (seg)					6855,69
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad				Observaciones
				○	⇒	□	D	
J-B21	40	-	659,02	X				Cerrar válvula de vapor en 50°C
J-B22	40	-	34,73	X				
J-B23	40	-	126,32	X				
S-B24	40	-	55,86	X				
S-B25	40	-	39,42	X				200 gr suavizante
S-B26	40	-	638,67	X				Cerrar válvula de vapor en 60°C
S-B27	40	-	35,75	X				
Total	40	26,46	6855,69	26	1	0	0	0

Tabla 13. Cursograma analítico – Lavado tono Verde

Cursograma analítico del proceso								
Cursograma N°			2.6	Actividad				Cantidad
Proceso				Operación		○		26
Lavado				Transporte		⇒		1
				Inspección		□		0
Producto - Color				Espera		D		0
Tono Verde				Almacenaje		▽		0
Fecha: 15 de marzo del 2026			Total de actividades					27
Realizado por: Jerami Zamora			Distancia (m)					26,46
Aprobado por: Dr. John Reyes			Tiempo (seg)					6532,05
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad				Observaciones
				○	⇒	□	D	
D-B1	40	26,46	-		X			
D-B2	-	-	93,02	X				
D-B3	-	-	34,25	X				2000 gr antiqiebre 300 gr de alfa-amilasa
D-B4	-	-	14,38	X				La temperatura llega a 40°C

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.6	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○	26		
	Lavado			Transporte		⇒	1		
Inspección				□	0				
Producto - Color				Espera		⌒	0		
Tono Verde				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				27	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				6532,05	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	⌒	▽	
D-B5	40	-	41,01	X					
D-B6	40	-	922,44	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
D-B7	40	-	37,63	X					
D-B8	40	-	124,15	X					
F-B9	40	-	87,69	X					
F-B10	40	-	51,44	X					100 gr enzima neutra 100 gr dispercol
F-B11	40	-	2489,06	X					
F-B12	40	-	51,43	X					
F-B13	40	-	39,13	X					
T-B14	40	-	64,06	X					
T-B15	40	-	39,45	X					100 gr tinta verde 10 gr tinta amarilla 100 gr humectante 100 gr agente de igualación 3kg sal industrial
T-B16	40	-	629,56	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
T-B17	40	-	66,82	X					
T-B18	40	-	65,52	X					
J-B19	40	-	62,15	X					
J-B20	40	-	38,73	X					500 gr fijador
J-B21	40	-	646,09	X					Cerrar válvula de vapor en 50°C
J-B22	40	-	35,12	X					
J-B23	40	-	120,67	X					

		Cursograma analítico del proceso							
		Cursograma N°	2.6	Actividad					Cantidad
		Proceso		Operación			○	26	
		Lavado		Transporte			⇒	1	
				Inspección			□	0	
Producto - Color				Espera			D	0	
Tono Verde				Almacenaje			▽	0	
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades					27
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)					26,46
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)					6532,05
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
S-B24	40	-	53,16	X					
S-B25	40	-	41,67	X					200 gr suavizante
S-B26	40	-	645,31	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
S-B27	40	-	38,11	X					
Total	40	26,46	6532,05	26	1	0	0	0	

Tabla 14. Cursograma analítico – Lavado tono Petróleo

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.7	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○	26		
	Lavado			Transporte		⇒	1		
Inspección				□	0				
Producto - Color				Espera		D	0		
Tono Petróleo				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				27	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				6553,78	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
D-B1	40	26,46	-		X				
D-B2	-	-	95,28	X					
D-B3	-	-	34,48	X					2000 gr antiqiebre 300 gr de alfa-amilasa
D-B4	-	-	14,92	X					La temperatura llega a 40°C
D-B5	40	-	36,55	X					
D-B6	40	-	901,63	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
D-B7	40	-	36,14	X					
D-B8	40	-	122,44	X					

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.7	Actividad					Cantidad
	Proceso			Operación		○	26		
	Lavado			Transporte		⇒	1		
Inspección				□	0				
Producto - Color				Espera		D	0		
Tono Petróleo				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades					27
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)					26,46
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)					6553,78
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
F-B9	40	-	91,28	X					
F-B10	40	-	51,97	X					100 gr enzima neutra 100 gr dispercol
F-B11	40	-	2.400,89	X					
F-B12	40	-	52,05	X					
F-B13	40	-	128,64	X					
T-B14	40	-	63,21	X					
T-B15	40	-	49,16	X					300 gr tinta negro directo 50 gr azul 100 gr humectante 100 gr agentede igualación 3kg sal industrial
T-B16	40	-	734,49	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C
T-B17	40	-	69,09	X					
T-B18	40	-	64,05	X					
J-B19	40	-	66,08	X					
J-B20	40	-	39,74	X					500 gr fijador
J-B21	40	-	552,03	X					Cerrar válvula de vapor en 50°C
J-B22	40	-	38,51	X					
J-B23	40	-	162,02	X					
S-B24	40	-	54,47	X					
S-B25	40	-	39,69	X					200 gr suavizante
S-B26	40	-	615,61	X					Cerrar válvula de vapor en 60°C

Cursograma analítico del proceso										
Cursograma N°			2.7	Actividad					Cantidad	
Proceso				Operación			○	26		
Lavado				Transporte			⇒	1		
				Inspección			□	0		
Producto - Color				Espera			D	0		
Tono Petróleo				Almacenaje			▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades					27	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)					26,46	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)					6553,78	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones	
				○	⇒	□	D	▽		
S-B27	40	-	39,36	X						
Total	40	26,46	6553,78	26	1	0	0	0		

Una vez que finaliza el lavado de las prendas en las lavadoras rotativas, se procede con la preparación de las unidades para ingresar al proceso de acabados. Las actividades que se realizan son la descarga de pantalones de las lavadoras rotativas, centrifugado, secado y finaliza en el traslado al proceso de acabados. Las actividades detalladas se evidencian en el diagrama 2.8, presentado en la Tabla 15.

c. Acabados

Una vez que los pantalones culminan el proceso de lavado ingresan al proceso de acabados, donde se realiza la costura de etiquetas, la colocación de remaches, el pulido y la fijación del botón de las prendas. El detalle de las actividades realizadas se evidencia en el cursograma 3 de la Tabla 16.

Tabla 15. Cursograma analítico – Centrifugado y secado

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		2.8	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○		6	
	Centrifugado/Secado			Transporte		⇒		4	
Inspección				□		0			
Producto - Color				Espera		D		0	
Todos				Almacenaje		▽		0	
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				10	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				25,26	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				3428,8	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
B1	40	-	102,49	X					
B2	40	1,98	-		X				
B3	20	-	676,28	X					La capacidad de la centrifugadora es de 20 unidades
B4	20	-	22,25	X					
B5	40	1,8	-		X				
B6	40	-	2156,44	X					
B7	40	-	27,09	X					
B8	40	4,06	-		X				
B9	40	-	444,25	X					
B10	40	17,42	-		X				
Total	40	25,26	3428,8	6	4	0	0	0	

Tabla 16. Cursograma analítico – Acabados

		Cursograma analítico del proceso							
		Cursograma N°		3	Actividad			Cantidad	
		Proceso		Operación		○	4		
				Transporte		⇒	4		
		Acabados		Inspección		□	0		
Producto - Color				Espera		D	0		
General				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades			8		
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)			10,56		
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)			76,91		
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
C1	1	-	14,08	X					Recurso: 2 Máquinas Rectas
C2	40	3,79	-		X				

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		3	Actividad			Cantidad		
	Proceso			Operación		○	4		
	Acabados			Transporte		⇒	4		
			Inspección		□	0			
Producto - Color				Espera		D	0		
General				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026			Total de actividades			8			
Realizado por: Jerami Zamora			Distancia (m)			10,56			
Aprobado por: Dr. John Reyes			Tiempo (seg)			76,91			
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇒	□	D	▽	
C3	1	-	15,26	X					Recurso: 1 Remachadora
C4	40	1	-		X				
C5	1	-	35,14	X					
C6	40	1,04	-		X				
C7	1	-	12,43	X					Recurso: 1 Botonera
C8	40	4,73	-		X				
Total	40	10,56	76,91	4	4	0	0	0	

d. Planchado

Posterior a la fijación de las partes restantes del pantalón en el proceso de acabados, el flujo continúa con el apartado estético de las prendas, el cual consta del planchado industrial, incorporación de etiquetas de cartón distintivas de la empresa y la colocación del adhesivo que identifica la talla del pantalón. Las actividades ejecutadas por los colaboradores se evidencian en el diagrama 4 de la Figura 17.

e. Almacenaje

Este proceso constituye la etapa final de organización del producto final en el inventario para su posterior entrega al cliente final. Las actividades detalladas se encuentran en el diagrama 5 de la Tabla 18.

Tabla 17. Cursograma analítico – Planchado

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		4	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○		4	
	Planchado			Transporte		➡		0	
Inspección				□		0			
Producto - Color				Espera		D		0	
General				Almacenaje		▽		0	
Fecha: 15 de marzo del 2026				Total de actividades				4	
Realizado por: Jerami Zamora				Distancia (m)				0	
Aprobado por: Dr. John Reyes				Tiempo (seg)				107,34	
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	➡	□	D	▽	
D1	1	-	69,04	X					Recurso: 1 Plancha industrial
D2	1	-	22,66	X					
D3	1	-	8,45	X					Recurso: 1 Plastiflecha
D4	1	-	7,19	X					
Total	40	0	107,34	4	0	0	0	0	

Tabla 18. Cursograma analítico – Almacenaje

	Cursograma analítico del proceso								
	Cursograma N°		5	Actividad				Cantidad	
	Proceso			Operación		○	0		
	Almacenaje			Transporte		⇨	2		
			Inspección		□	1			
Producto - Color				Espera		D	0		
General				Almacenaje		▽	0		
Fecha: 15 de marzo del 2026			Total de actividades				3		
Realizado por: Jerami Zamora			Distancia (m)				5,7		
Aprobado por: Dr. John Reyes			Tiempo (seg)				14,38		
N°	Cantidad (u)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Actividad					Observaciones
				○	⇨	□	D	▽	
E1	40	5,7	-		X				Disponible 13 estanterías
E2	40	-	6,46			X			
E3	40	-	7,92		X				
Total	Variable	5,7	14,38	0	2	1	0	0	

3.1.9 Estudio de tiempos y movimientos

El estudio de tiempos y movimientos se ejecuta mediante la observación directa en las instalaciones de la empresa textil Tefy Tex. Se aplica el método continuo de lectura de reloj. Las observaciones se realizan bajo condiciones normales de producción con los colaboradores habituales de cada proceso y sin interferencias externas en el desarrollo de sus actividades. Los tiempos recopilados constituyen la base empírica del modelo de simulación desarrollado en FlexSim.

A continuación, se describen los cálculos realizados en cada uno de los procesos de producción.

Número de ciclos a cronometrar: Se aplica la metodología de la General Electric Company, para lo cual se realiza la toma de tiempos preliminares de cada una de las actividades descritas por proceso, posteriormente, mediante estas muestras se realiza el cálculo del tiempo preliminar promedio. Al culminar, se compara el tiempo preliminar promedio calculado con los valores de la Tabla 1 y se establece el número de ciclos a cronometrar.

Cálculo del factor de desempeño: La evaluación de desempeño en la empresa se realiza mediante el sistema de calificación Westinghouse descrito en la Figura 7, a cada uno de los colaboradores que se encontraban en el proceso de forma aleatoria, empleando la Ecuación (1). En ese paso cabe destacar que en algunas actividades no poseen asignación debido a que las actividades son netamente mecánicas.

Cálculo de suplementos: Se realiza en función de los valores determinados por la OIT, los cuales se detallan en la Figura 8. Para ello, se realiza la sumatoria de los suplementos constantes y suplementos variables determinados por medio de la interpretación del analista, tal como se establece en la Ecuación (2).

Cálculo del tiempo normal y estándar: Para la determinación de los tiempos base del estudio, en primer lugar, se calcula el tiempo normal mediante el ajuste del tiempo observado a través del factor de desempeño, según la Ecuación (3). Posterior a ello, se obtiene el tiempo estándar, al adicionar los suplementos totales al tiempo normal, ver

Ecuación (4). De esta forma se garantiza la inclusión de tiempo de descanso por fatiga y necesidades personales inherentes al sistema.

El detalle de cada uno de los cálculos efectuados se evidencia desde el Anexo 1, hasta el Anexo 24.

3.2 Desarrollo del modelo de simulación

En esta sección se detalla el proceso sistemático empleado para la construcción del modelo de simulación en el software FlexSim, el cual se estructura metodológicamente en tres fases consecutivas: (i) diseño del modelo, (ii) construcción del modelo (iii) experimentación.

La fase de diseño del modelo integra el análisis previo derivado de la recolección de datos con el diseño de un modelo preliminar. Posteriormente, la fase construcción del modelo implica la programación lógica, verificación y validación del modelo establecido. Finalmente, la fase experimentación abarca el análisis de datos y las conclusiones del estudio.

3.2.1 Diseño del modelo

a. Dimensionamiento de layout de la empresa

El primer paso para realizar el modelado de la simulación es tener las dimensiones adecuadas de las instalaciones de la empresa, ver Figura 11. En este caso, el layout fue realizado en el software AutoCAD con la finalidad de tener un dimensionamiento real del espacio físico a utilizar, este paso es de gran importancia dado que los cálculos de transporte serán realizados de forma dinámica en el software de simulación.

b. Asignación de recursos al sistema (Maquinaria)

La asignación de recursos al sistema es fundamental para el control de los indicadores de desempeño. Al ser una simulación dinámica que depende de forma directa de la interpretación de los resultados finales, no se utiliza los procesadores nativos de FlexSim 3D, tales como los procesadores convencionales, debido a que existe la posibilidad de generar errores al vincularse a la lógica de Process Flow. El modelo de

simulación emplea en este sentido los elementos denominados Basic FR, que son elementos que deben ser controlados de forma nativa por el modelador y no incluye valores predefinidos del software. De esta forma se asegura que las estadísticas de utilización de recursos sea la correcta y no exista errores de sincronización de los elementos 3D y la lógica de simulación.

La Figura 18 representa algunos de los recursos de la simulación, este paso se lleva a cabo para toda la maquinaria descrita en la sección 3.1.5 que detalla la maquinaria y equipos existentes utilizados en todo el proceso de producción.

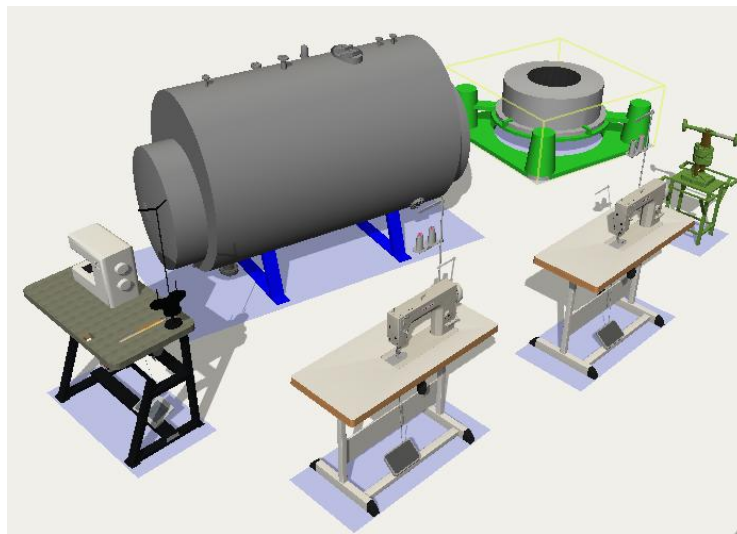


Figura 18. Recursos – Maquinaria

c. Asignación dinámica de colaboradores

Por otra parte, la generación de colaboradores en el sistema se realiza con la premisa de generar dinamismo en el sistema modelado, en este caso se cuenta con dos tipos de colaboradores en función a la realidad observada en el proceso de producción. Los colaboradores del proceso son aquellos que contribuyen en las actividades que constituyen los procesos de servicios iniciales, acabados, planchado y almacenaje. En cambio, los colaboradores del proceso de lavado son específicamente aquellos que realizan este proceso en los pantalones, ver Figura 19.

Actualmente la empresa cuenta con 5 colaboradores del proceso y 1 colaborador en el proceso de lavado.



Figura 19. Personalización de colaboradores

d. Parámetros de asignación dinámica del sistema

Un modelado exitoso depende de la versatilidad y el dinamismo del sistema para evaluar de forma eficaz cómo se comporta ante cambios o perturbaciones. Esta flexibilidad permite calcular y relacionar variables internas para generar indicadores y tomar decisiones fundamentadas en datos. Para lograrlo, se definieron los 15 parámetros variables que se detallan en la Figura 20.

Model ProcessFlow PARÁMETROS VARIABLES MEDIDAS DE DESEMPEÑO <no path>			
Parameters	15		
Name	Value	Display Units	Description
Colaboradores del proceso general	5	Trabajador/es	Número de colaboradores en todos los demás procesos
Colaboradores del proceso de lavado	1	Trabajador/es	Número de colaboradores en proceso de lavado
A. Cantidad de camionetas con mercadería	1	Camionetas	Número de camionetas con mercadería
B. # Lotes de Pantalones crudos - Tela Clásica	1	Lotes de pantalones	Número lotes que ingresan - Tela Clásica
B.1 Pantalones * Lote - Tela clásica	40	Pantalón/Lote	Número de pantalones por cada lote
C. #Lotes de Pantalones crudos - Tela Satin Blue	2	Lotes de pantalones	Número lotes que ingresan - Tela Satin Blue
C.1 Pantalones * Lote - Tela Satin Blue	40	Pantalón/Lote	Número de pantalones por cada lote
Tipo de lavado	1	Tipo	Selección de color y proceso de lavado
General Unidades por lotes a procesar	10	Unidades	Tamaño de lote a procesar
Lavado Unidades por lotes a lavar	40	Unidades	Tamaño de lote a lavar
Horario normal	0	Habilitar/Deshabilitar	Trabajo de 40 horas por semana
Horario Extendido 1	0	Habilitar/Deshabilitar	Trabajo de 40 h + 10 h extra
Horario Extendido 2	0	Habilitar/Deshabilitar	Trabajo de 40 h + 12 h extra
Programación de fallas	0	Habilitar/Deshabilitar	Fallas programadas
Lavadoras a utilizar	2	Lavadoras Rotativas	Número de lavadoras que se utilizara

Figura 20. Parámetros dinámicos del modelado

Cada uno de estos parámetros se encuentran relacionados con la lógica de procesamiento de Process Flow, de manera que sea una interfaz intuitiva con el usuario el realizar cambios y verificar el comportamiento del sistema. Esto se logra por medio

de un dashboard que enmascara la programación de los parámetros de la lógica y ofrece un entorno visual amigable para el control de los parámetros definidos. Ver Figura 21.

Parámetros dinámicos del modelado

Colaboradores

Colaboradores del proceso general: 5 Trabajador/es

Colaboradores del proceso de lavado: 1 Trabajador/es

Demanda de producción

A. Cantidad de camionetas con mercadería: 1 Camionetas

B. # Lotes de Pantalones crudos - Tela Clásica: 5 Lotes de pantalones

B.1 Pantalones * Lote - Tela clásica: 40 Pantalón/Lote

C. #Lotes de Pantalones crudos - Tela Satín Blue: 5 Lotes de pantalones

C.1 Pantalones * Lote - Tela Satín Blue: 40 Pantalón/Lote

Especificaciones de producción

Tipo de lavado: 1 Tipo

General Unidades por lotes a procesar: 20 Unidades

Lavado Unidades por lotes a lavar: 40 Unidades

Lavadoras a utilizar: 1 Lavadoras Rotativas

Horarios de trabajo

Horario normal: ☒ Habilitar/Deshabilitar

Horario Extendido 1: ☐ Habilitar/Deshabilitar

Horario Extendido 2: ☐ Habilitar/Deshabilitar

Programación de fallas

Programación de fallas: ☒ Habilitar/Deshabilitar

Figura 21. Dashboard de parámetros dinámicos del sistema

A continuación, se detallan cada uno de los parámetros establecidos:

- **Colaboradores**

El análisis requiere de dinamismo en la asignación de colaboradores, es decir, qué sucede con los indicadores de desempeño cuando se disminuyen colaboradores y qué sucede cuando se incrementan. Para lograr este dinamismo en el sistema se emplea dos parámetros de asignación automática de colaboradores, en el cual el recurso se encuentra ligado a una variable numérica de generación que nos permite determinar qué cantidad de colaboradores se utilizara en el sistema: colaboradores del proceso general y colaboradores del proceso de lavado.

- ***Demanda de producción***

Para el control de la demanda de producción se ha establecido cinco parámetros dinámicos: A. Cantidad de camionetas con mercadería; B. # Lotes de Pantalones crudos - Tela Clásica; B.1 Pantalones * Lote - Tela clásica; C. #Lotes de Pantalones crudos - Tela Satín Blue; C.1 Pantalones * Lote - Tela Satín Blue.

Estos parámetros permiten controlar la cantidad de lotes que ingresan y el contenido de unidades por lote de acuerdo con el tipo de tela, es decir podemos configurar las llegadas de x cantidad de lotes, con un tamaño de z unidades/lote. Todo este proceso se puede ejecutar de forma diferenciada para lotes de tela clásica (Parámetros B) y tela Satín Blue (Parámetros C), ver Figura 22.

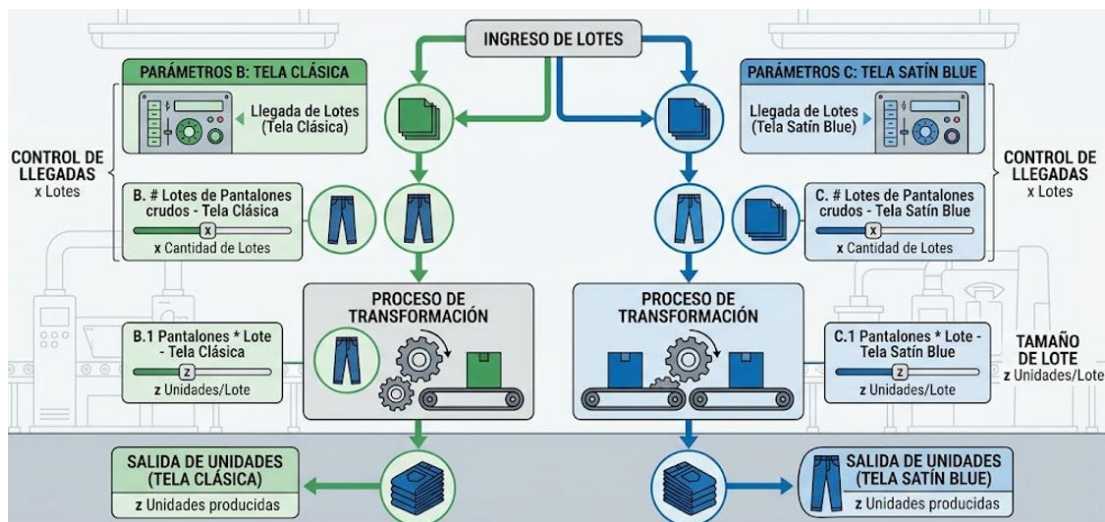


Figura 22. Proceso de transformación de lotes a unidades

- ***Tipo de lavado***

El tipo de lavado se asigna en función del tono – color de pantalón que se desea obtener, la empresa realiza siete tonos de pantalones diferentes. Cada uno de los tonos de las prendas sigue el proceso específico detallado en la sección 3.1.6, permitiendo definir qué tipo de pantalón se desea procesar.

- **General unidades por lotes a procesar**

Determina el tamaño de lote que se trabajará a lo largo de todo el proceso de producción, es decir, cuantas unidades se deben completar para continuar a la siguiente parte del flujo de producción.

- **Lavado unidades por lotes a lavar**

Determina el tamaño del lote que ingresa a las lavadoras rotativas, la capacidad actual de las lavadoras es de 40 – 60 unidades por lote, pero es variable en función de la demanda.

- **Lavadoras a utilizar**

Define el número de lavadoras que se utiliza en el proceso generalmente solo se utiliza una de las dos lavadoras rotativas existentes; por esta razón, el parámetro es modificable.

- **Horarios de trabajo**

Permite seleccionar la jornada laboral que se desea evaluar en la simulación, para ello se usa el elemento de tablas de tiempo que permite configurar el tiempo sobre el cual los diferentes recursos estarán activos. De esta forma se pueden controlar los horarios de trabajo de los colaboradores, ver Figura 23.

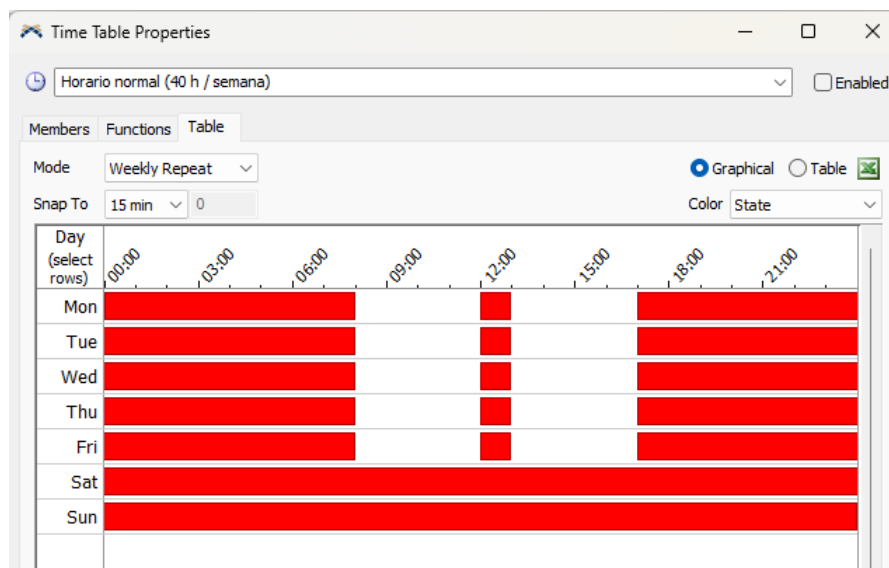


Figura 23. Configuración de tablas de tiempo

Se ha definido tres tablas de tiempo que pueden modificarse, es decir activarse o desactivarse en los diferentes escenarios. La primera comprende el horario normal (40 horas/semana), la segunda emplea el 50% de horas extras disponibles (46 horas/semana) y la tercera el 100% de horas extras disponibles (52 horas/semana).

- ***Programación de fallas***

Para modelar el tiempo medio entre fallas (MTBF) y su integración a paradas no programadas de maquinaria, se determina el supuesto de una tasa de falla constante. Esta elección está fundamentada en el comportamiento del sistema durante el levantamiento de datos y la experiencia de los colaboradores al no existir un registro de mantenimiento establecido.

Generalmente las máquinas tienden a tener de dos a tres fallas al mes. Bajo esta constante, la distribución exponencial es la más adecuada para modelar el sistema, por su característica como función de distribución de probabilidad, ya que modela el tiempo transcurrido entre dos eventos específicos.

Es así como, para modelar este comportamiento, se empleó el cálculo del MTBF definido por la Ecuación (13). Teniendo como datos de ingreso un tiempo total de operación de 160 h y el número máximo de fallas registrado, en este caso 3 fallas. Los cálculos efectuados se evidencian a continuación y se configuran en la tabla MTBF de la Figura 24. Debido al supuesto de una falla constante se configura la misma distribución para el campo de tiempo de la primera falla (First Failure Time) y tiempo de operación (Up Time).

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Número total de fallas}} \quad (13)$$

$$MTBF = \frac{160 \text{ h}}{3} = 53,33 \text{ horas}$$

$$\lambda = \frac{1}{53,33 \text{ h}} = 0,01875 \text{ fallas/hora}$$

Por otra parte, la configuración del tiempo de reparación (Down Time) se configuro mediante una distribución de probabilidad uniforme en un rango entre 20 y 30 minutos,

ver Figura 24. Se opta por esta distribución porque cualquier duración durante este intervalo de tiempo presenta la misma probabilidad de ocurrencia.

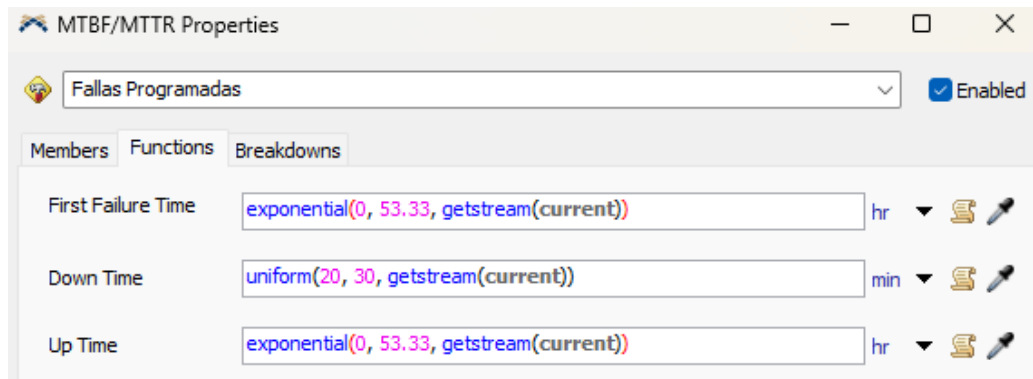


Figura 24. Configuración de tabla de programación de fallas

e. Control de estados

La empresa cuenta con diferente maquinaria en cada proceso, estos recursos se encuentran modelados por medio del elemento Basic FR, que permite una personalización en los cambios de estado. Cada recurso cuenta con dos etiquetas establecidas por medio de un elemento Trigger On Reset, este elemento asigna “Estado 0” cuando la maquinaria está libre y “Estado 1” cuando la maquinaria está ocupada. Estas etiquetas son indispensables para el control de los elementos y su correcta adquisición y cambios de estado, ver Figura 25.

Posteriormente, se utiliza el elemento Custom Code o código personalizado para asignar estado ocupado cuando el token adquiere el recurso y estado libre cuando termina de procesar. La finalidad de este control es establecer en los indicadores valores precisos y confiables de utilización de los recursos existentes.

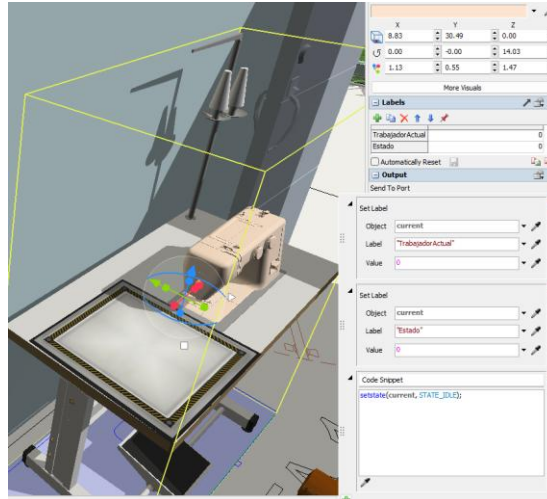


Figura 25. Control de estados de maquinaria

f. Uso de listas globales para gestión de recursos

Para una gestión avanzada de los recursos humanos en el modelado, se evita el uso del sistema convencional de adquisición y liberación de recursos en los colaboradores, pues limita el control y no se apegan al comportamiento real del sistema. En ese sentido se opta por la utilización de listas de Task Executors, la Figura 26 detalla las diferentes características que se tiene y pueden ser usadas en el control de colaboradores, mismas que pueden ser modificadas en función de los resultados que se desea obtener.

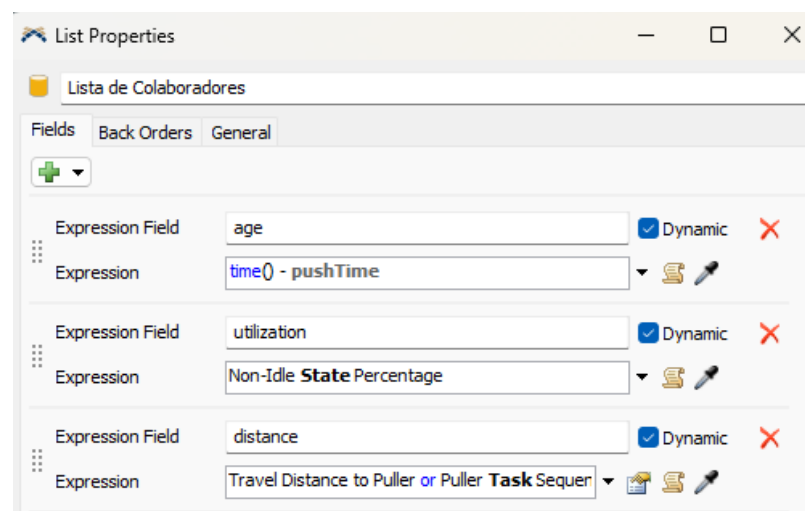


Figura 26. Gestión de recursos con listas globales

La principal ventaja de uso de listas es la gestión que se puede realizar con los colaboradores, el sistema no asigna un colaborador solo en función de su disponibilidad, sino también en función de nuevas variables como utilización,

distancia que se encuentra del recurso donde va a procesar, o su tiempo de permanencia en la simulación. De esa manera se evita errores generados por doble adquisición de recursos por la velocidad de procesamiento del reloj de FlexSim.

La variable utilizada en el modelado es la distancia es decir el sistema asigna la tarea no solo al trabajador que esté disponible sino aquel que está más cerca al proceso en el modelado 3D. De esta manera se elimina la utilización innecesaria de recursos generada por la asignación en cola y se obtiene indicadores precisos de tiempo operativo de colaboradores, esto se debe a que no se asigna la tarea a un colaborador que está lejos de una maquina si existe otro que se encuentra junto a ella.

La Figura 27 detalla lo mencionado anteriormente, el sistema adquiere el colaborador en función al cálculo del colaborador respecto la posición de la maquina P_OJALADORA, esta lógica es aplicada en todas las fases del modelado de Process Flow.

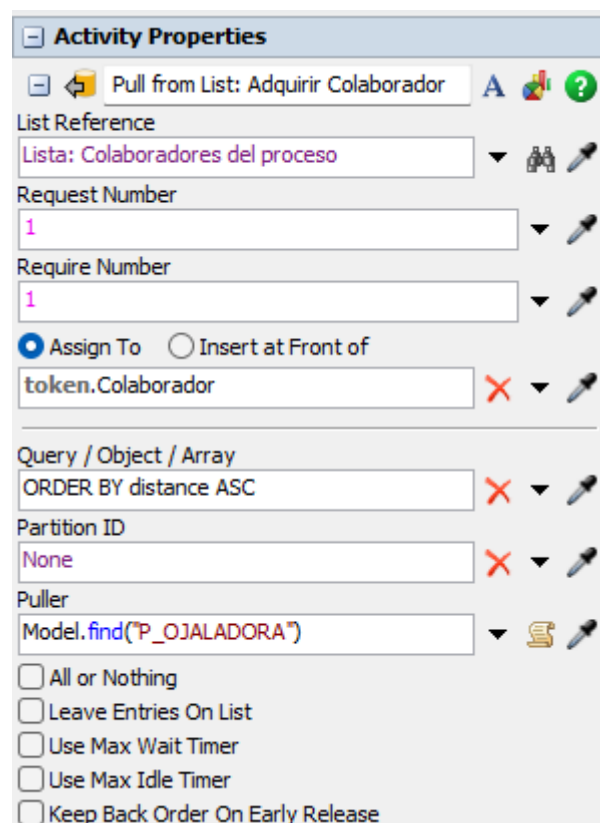


Figura 27. Adquisición de colaboradores lista global

3.2.2 Construcción del modelo

a. Modelado del ingreso de mercadería

- **Modelado visual 3D**

El modelado de la llegada de mercadería se realiza en semejanza a lo que ocurre en el escenario real, los camiones con lotes de pantalones llegan en la mañana y descargan diferentes cantidades de lotes en el proceso de servicios iniciales. El apartado visual está controlado en lotes y unidades, los lotes están representados por figuras cuadradas en función al tipo de tela que ingresa al sistema siendo de color rojo la tela clásica y de color verde la tela Satín Blue, ver Figura 28. Posterior a ello, estos lotes se descomponen en unidades visuales de pantalones jeans que son procesados de acuerdo con el análisis realizado en los cursogramas analíticos.



Figura 28. Representación ingreso mercadería – Modelado 3D

- **Modelado lógico - Process Flow**

El modelado visual está controlado por el apartado lógico de Process Flow, este proceso comprende dos etapas:

La primera el ingreso de lotes de pantalones crudos a procesar por medio de camiones de transporte, en la Figura 29 se puede visualizar que los eventos son controlados por

la generación de tokens controlados por el elemento Data Time Source, mismo que permite generar tokens a lo largo de un periodo de tiempo establecido.

Este elemento es de vital importancia para generar una demanda de producción dinámica, es decir introducir la cantidad de unidades a procesar por medio de parámetros numéricos, el control del número de camiones que ingresan se ve reflejado en el parámetro **A. Cantidad de camionetas con mercadería.**

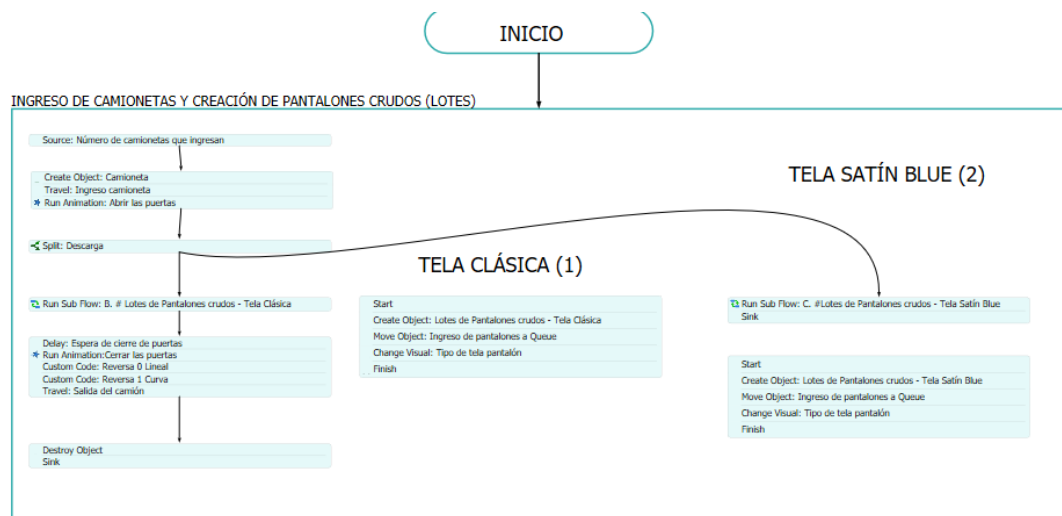


Figura 29. Control lógico ingreso de unidades a procesar – Process Flow

La segunda etapa comprende la transformación de los lotes en unidades para ingresar al siguiente proceso y procesarlas unidad por unidad, para ello se emplea un elemento Event Triggered Source, mismo que genera un token lógico que actúa como un disparador cuando ingresan los lotes al Queue donde son descargados, ver Figura 30.

TRANSPORTE DE LOTE Y TRANSFORMACIÓN A UNIDADES (UNIDADES)

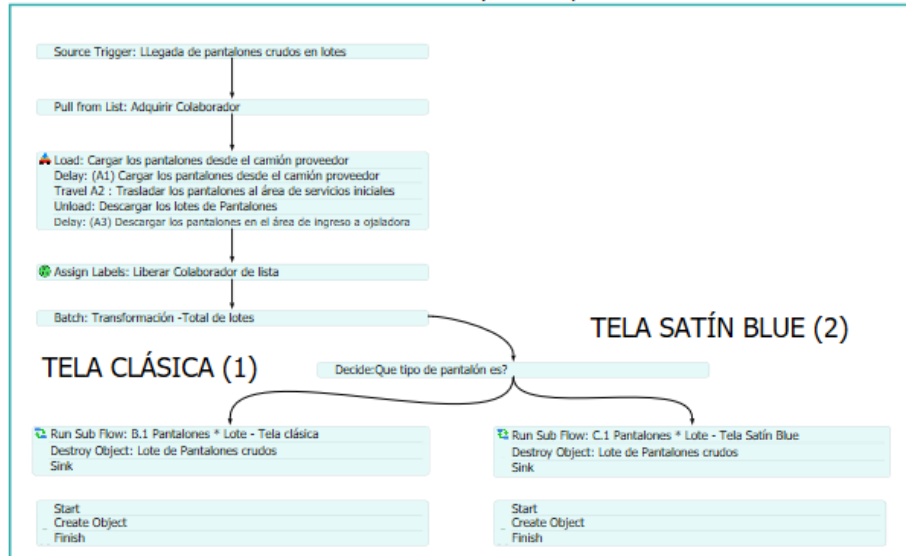


Figura 30. Control lógico transformación de lote a unidades– Process Flow

b. Modelado del proceso de servicios iniciales

• Modelado visual 3D

El modelado del proceso de servicios iniciales cuenta con dos tipos de recursos una maquina recta para el proceso de ojalado y tres máquinas tracadoras para el proceso de tracado. Ubicadas en los puntos referenciados por el layout, de esta forma se asegura el cumplimiento de traslados y transportes en función a las dimensiones reales de la empresa. En esta área los encargados de realizar las actividades son los colaboradores del proceso, identificados por su vestimenta color blanco. Ver Figura 31

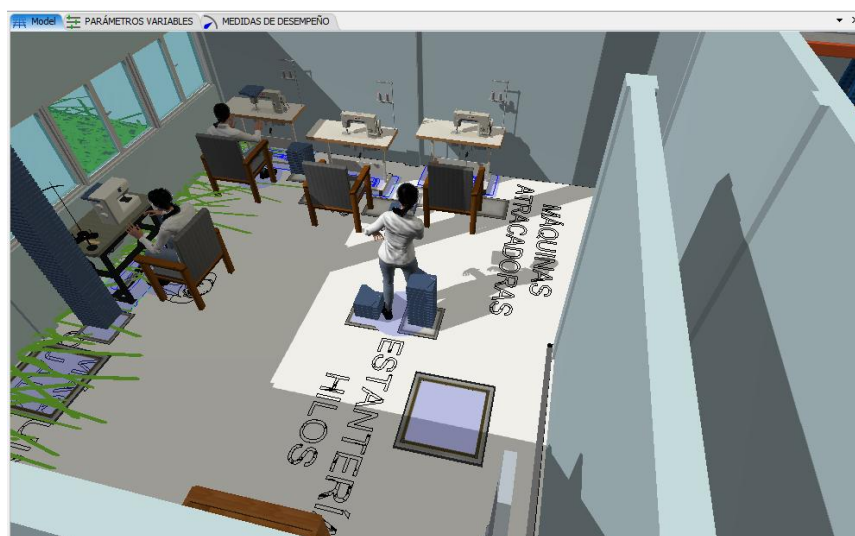


Figura 31. Representación proceso de servicios iniciales – Modelado 3D

- **Modelado lógico - Process Flow**

La primera etapa comprende el procesamiento de las prendas en la maquina ojaladora para lo cual el token que ingresa al ingreso de ojaladora tiene que decidir si la ojaladora está disponible, de acuerdo con el estado que se le encuentre asignado. El estado del recurso es asignado como libre cuando no existe nadie utilizando la maquina y como ocupado cuando alguien ya adquirió el recurso.

Una vez que adquiere el recurso maquina disponible, adquiere un colaborador para realizar las actividades de ojalado descritas en la Figura 32, y solo libera al colaborador una vez que a procesado toda la cola de pantalones pendientes en el proceso asignado, este control se logra por medio del elemento Decide que permite tomar decisiones en base a la información recolectada por el token.

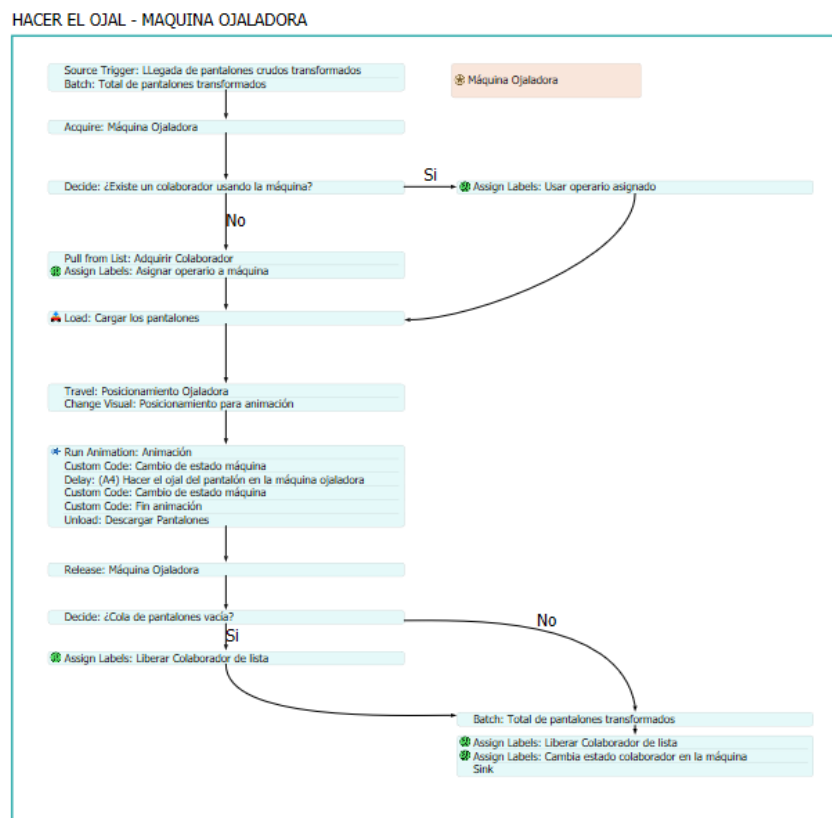


Figura 32. Control lógico ojalado – Process Flow

La segunda etapa corresponde al proceso de tracado, sucede algo similar a lo anterior los lotes provenientes de ojalado, son transportados a la primera tracadora que se encuentre disponible y se ejecuta el proceso respectivo en cada una de las prendas

unidad por unidad. Aquí se adiciona un bucle condicional para ejecutarse en caso de que se utilicen las máquinas de manera simultánea y se decida cuál de ellas está libre, ejecutando de esta manera un ciclo continuo de decisión. Se lo puedo visualizar en la primera sección de la Figura 33.

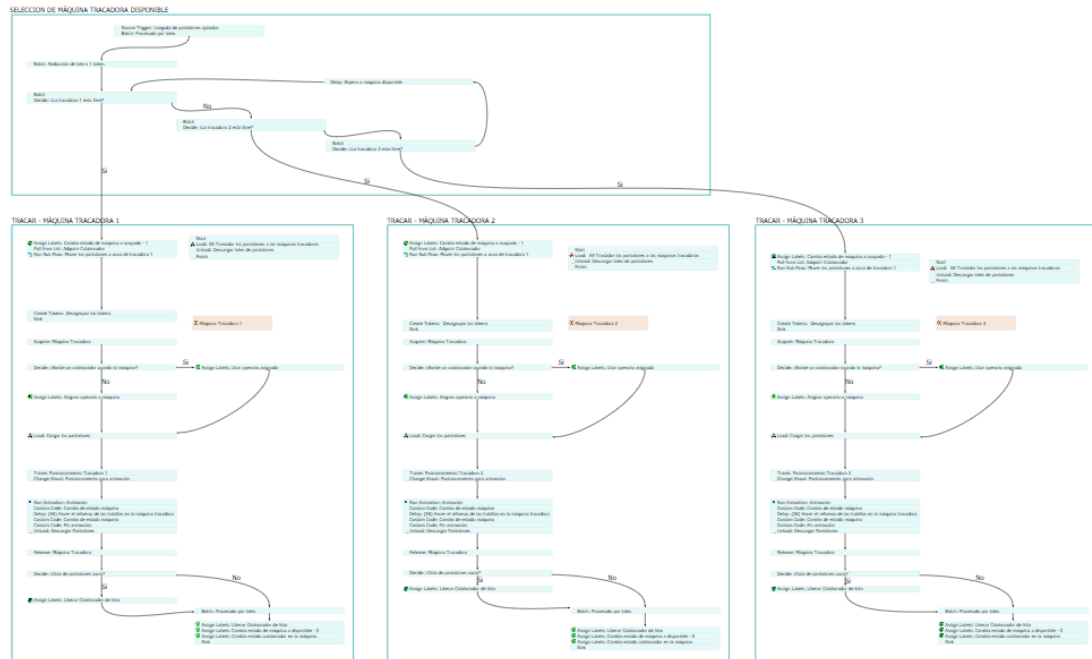


Figura 33. Control lógico trinado – Process Flow

La tercera etapa comprende el proceso de decisión de voltear o no los pantalones de acuerdo con el tipo de tela que ingreso, para ello se utiliza disparadores de eventos en cada una de las salidas del proceso de trinado. Posterior se trasladan los pantalones y se ejecutan las actividades correspondientes en función del tipo de pantalón que se haya procesado de acuerdo con la decisión del elemento Decide. Ver Figura 34.

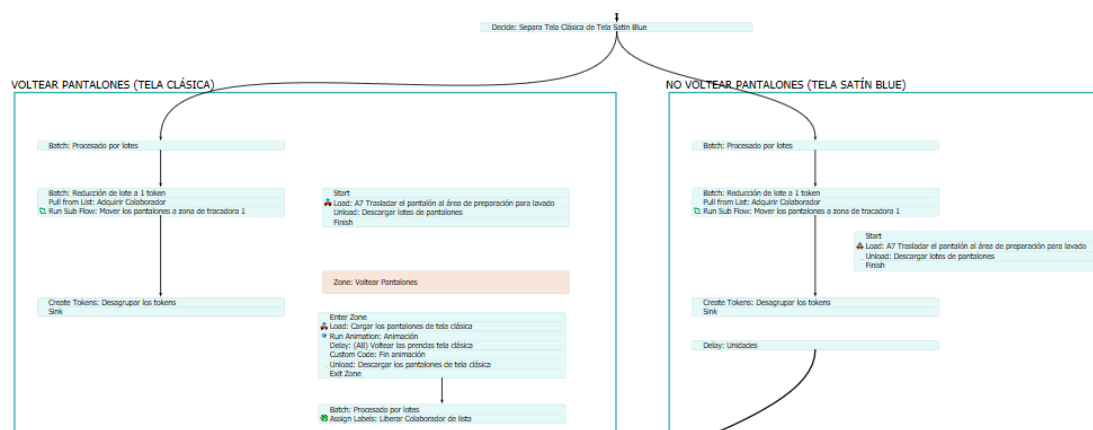


Figura 34. Control lógico voltear prendas – Process Flow

Al finalizar este proceso se transforma nuevamente las unidades procesadas para su posterior ingreso al proceso de lavado, esto facilita la visualización y desarrollo del flujo del sistema. La Figura 35 evidencia que los tokens prendas en unidades se destruyen y se convierten nuevamente en los lotes de ingreso, es decir se hace una regresión en la transformación anterior.

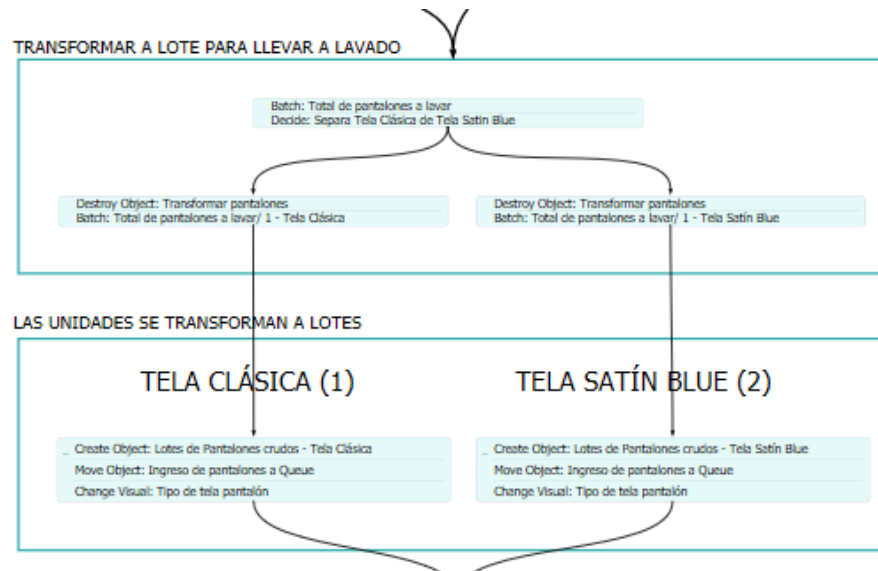


Figura 35. Control lógico transformación de unidades a lotes – Process Flow

c. Modelado del proceso de lavado

• Modelado visual 3D

Para la representación 3D del proceso de lavado se emplean recursos existentes de maquinaria en este caso se cuenta con dos lavadoras rotativas, una centrifugadora y una secadora industrial. Se ubican recursos adicionales como la sección de químicos, recipientes de traslado entre lavado, centrifugado y secado representado por recipientes de color negro. La Figura 36 representa fielmente las ubicaciones, movimientos y flujo de proceso establecido en el análisis de condiciones iniciales de acuerdo con el tipo de tono - color procesado y descrito en la sección de análisis previo.



Figura 36. Representación proceso de lavado – Modelado 3D

- **Modelado lógico - Process Flow**

El modelado lógico del proceso de lavado está basado en un bucle condicional ejecutado por un parámetro dinámico que permite usar solo 1 de las lavadoras rotativas o utilizar las 2 lavadoras rotativas existentes. En este bucle de decisión se asegura que el recurso se encuentre disponible para evitar futuras colisiones y errores en los datos proporcionados. Ver Figura 37.

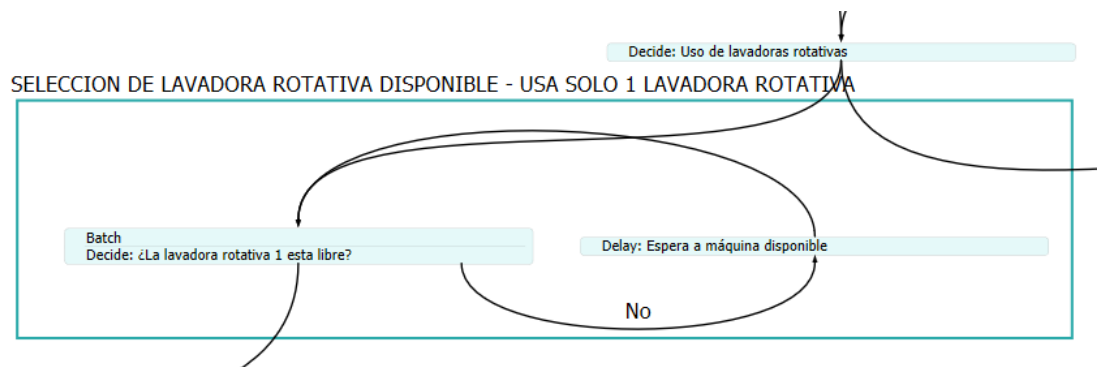


Figura 37. Control lógico selección lavadora rotativa – Process Flow

Una vez decide la cantidad de lavadoras a utilizar, la primera etapa comprende el determinar qué tipo de lavado se realizará, es decir que tono de pantalón se desea obtener. La empresa procesa 7 tipos de tonos diferentes en sus prendas, aquí se decide qué tipo de color se procesará en función del requerimiento del parámetro establecido **Tipo de lavado**, en los parámetros dinámicos.

En la segunda etapa, una vez se decide que tono de pantalón se utilizara el sistema sigue el proceso correspondiente al lavado asigna. Debido a la extensión del flujo en la simulación la información del proceso se encuentra detallada en el anexo descrito. Aquí se puede visualizar que el colaborador del proceso de lavado ejecuta las actividades de lavado en función al tono de color que está realizando, de forma muy semejante al proceso real en la empresa.

La tercera etapa comprende el proceso de centrifugado, al igual que en el paso anterior se manejan las prendas por lotes, la diferencia es la capacidad de la máquina en este caso es de 20 unidades. La lógica de control asigna al colaborador del proceso de lavado en función de su disponibilidad y de la disponibilidad del recurso máquina centrifugadora, de manera que puede ejecutar múltiples actividades en sus tiempos muertos durante el proceso de lavado. De esta manera se logra simular de acuerdo con la realidad del proceso de producción. Ver Figura 38.

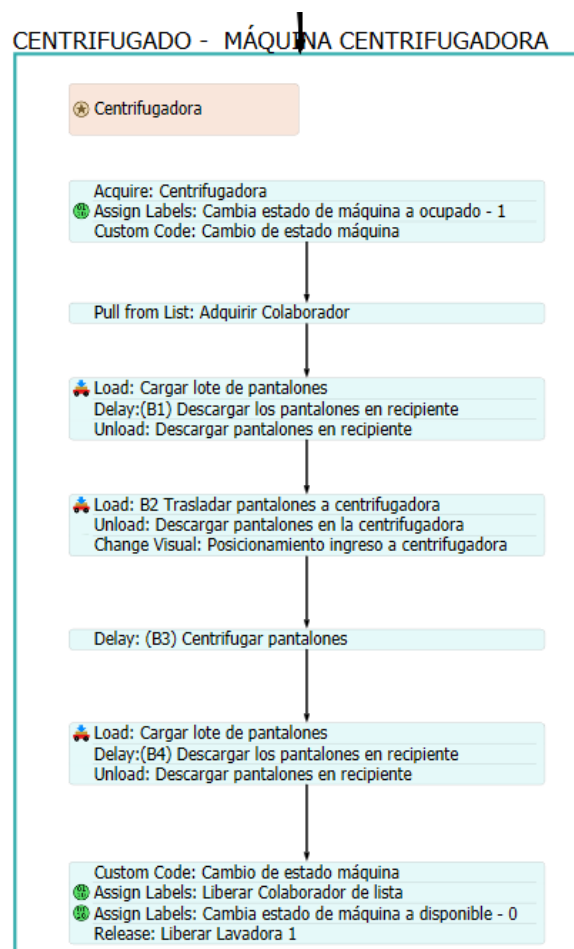


Figura 38. Control lógico centrifugado – Process Flow

Una vez se ha terminado el centrifugado se da paso a la cuarta etapa el secado de las prendas, de igual manera se espera la disponibilidad del recurso en este caso la máquina secadora industrial y la disponibilidad del colaborador, tal cual se observa en la Figura 39. Una vez se termina el proceso de secado los lotes se trasladan al proceso de acabados.

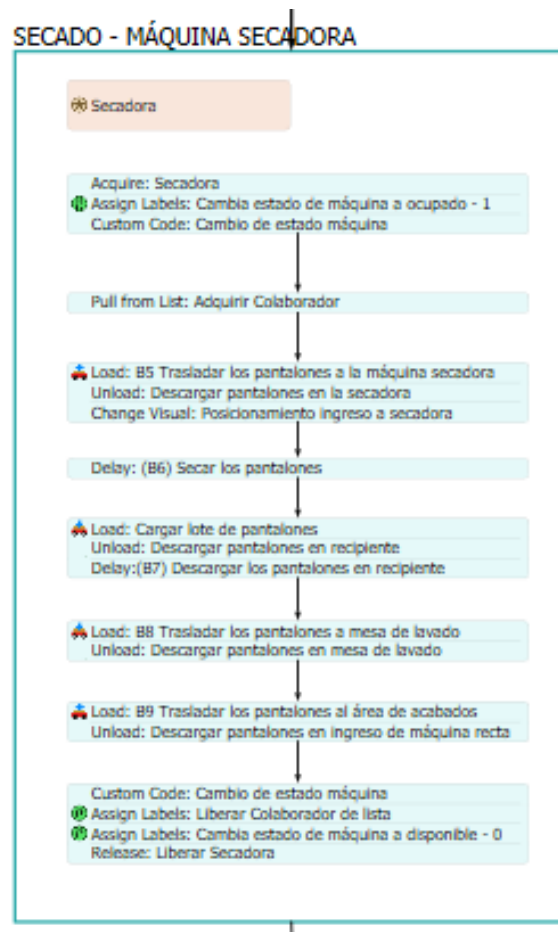


Figura 39. Control lógico secado – Process Flow

La quinta etapa es la etapa final donde los lotes de pantalones se dividen nuevamente en unidades para ser procesados, en cada uno de los procesos que le siguen. Para ello se utiliza un elemento Run Sub-Flow como se detalla en la Figura 40 para desintegrar y eliminar los lotes e ingresar nuevamente las unidades al sistema.

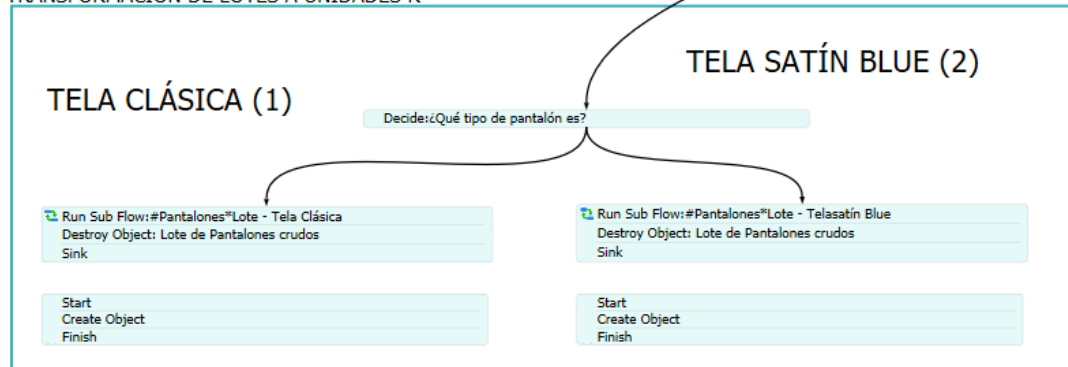


Figura 40. Control lógico transformación de lotes a unidades – Process Flow

d. Modelado del proceso de acabados

- **Modelado visual 3D**

En el modelado del proceso de acabados se integran los siguientes recursos: dos máquinas rectas para coser las etiquetas, una máquina remachadora para colocar los remaches y una botonera para colocar los botones en las prendas. Cada uno de los recursos físicos se ve reflejado en la Figura 41, así como el procesamiento de las prendas en cada una de las máquinas.

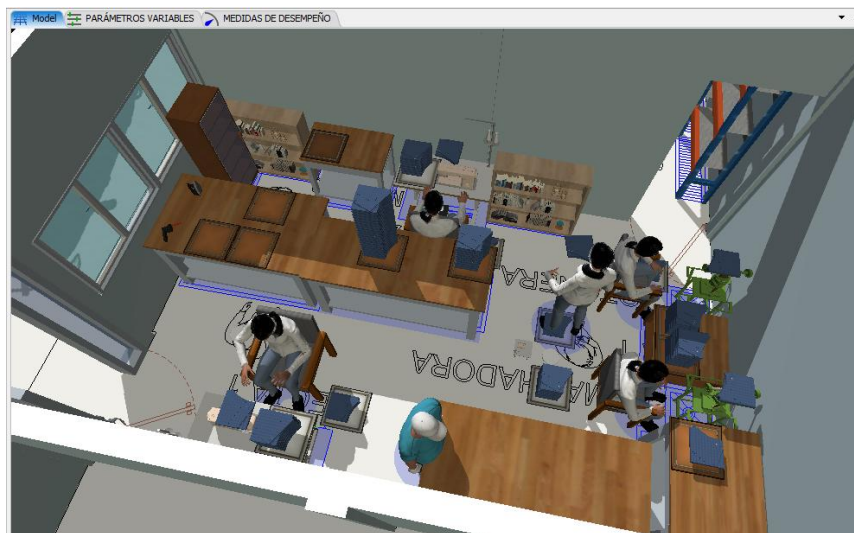


Figura 41. Representación proceso de acabados – Modelado 3D

- **Modelado lógico - Process Flow**

La primera etapa del proceso de acabados comprende la decisión de adquisición de maquinaria disponible, en este caso al igual que en las etapas anteriores del proceso se

emplea un bucle condicional que verifica el estado de la maquinaria. En este proceso se cuenta con dos máquinas rectas que son utilizadas para colocar la etiqueta de las prendas. En la Figura 42 se evidencia un fragmento del curso del token tras adquirir el recurso, el colaborador ejecuta cada una de las actividades establecidas unidad por unidad hasta que verifica que la cola de pantalones está vacía.

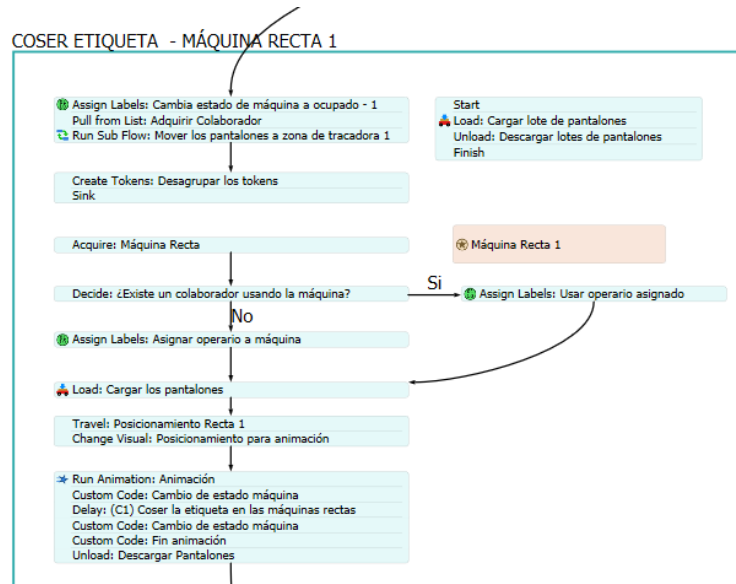


Figura 42. Control lógico selección máquina recta – Process Flow

La segunda etapa consta de la adquisición del recurso remachadora y el colaborador del proceso para realizar las actividades correspondientes; en este caso colocar los remaches en la prenda. Para garantizar la fidelidad del modelado con el comportamiento del sistema real se utiliza condicionales de decisión y lógicas de anclado y uso de recursos. Ver Figura 43.

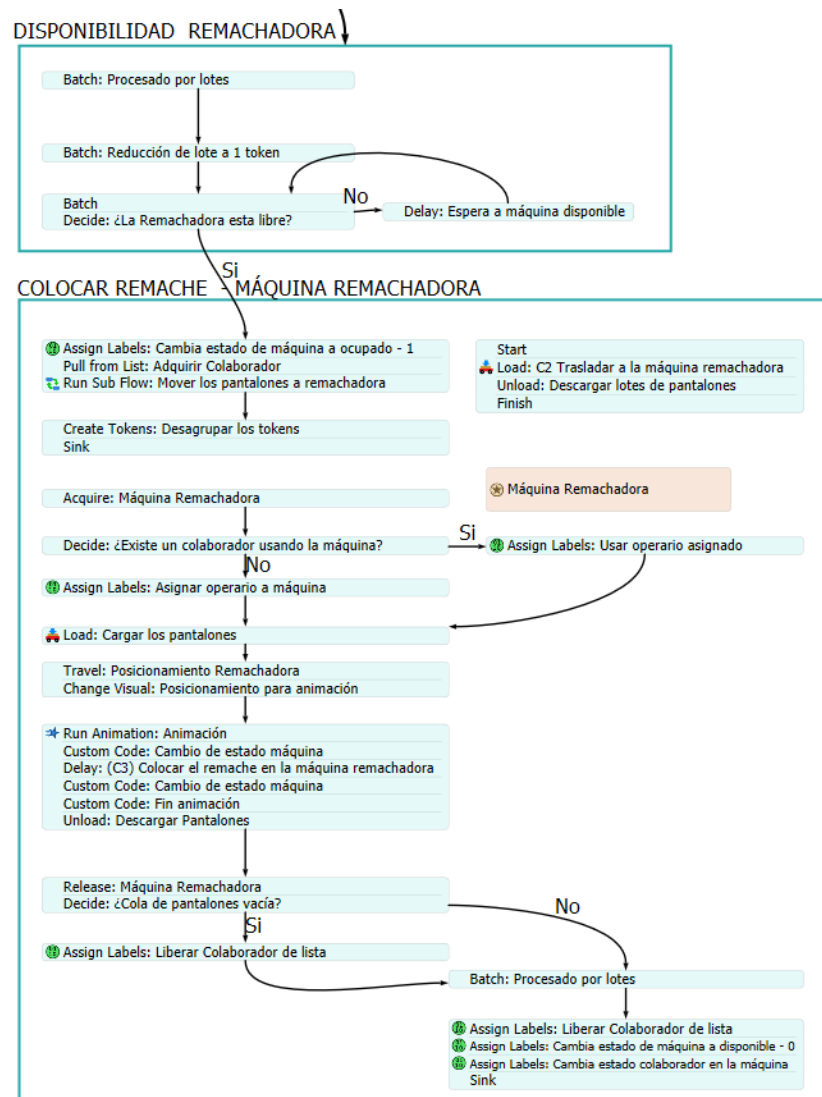


Figura 43. Control lógico remachado – Process Flow

La tercera etapa consta del proceso de pulido donde se adquieren recursos de colaboradores que eliminan todas las imperfecciones del pantalón (hilos en las costuras) con la finalidad de que la prenda tenga una buena presentación. En esta sección los colaboradores son adquiridos en base a su disponibilidad. Ver Figura 44.

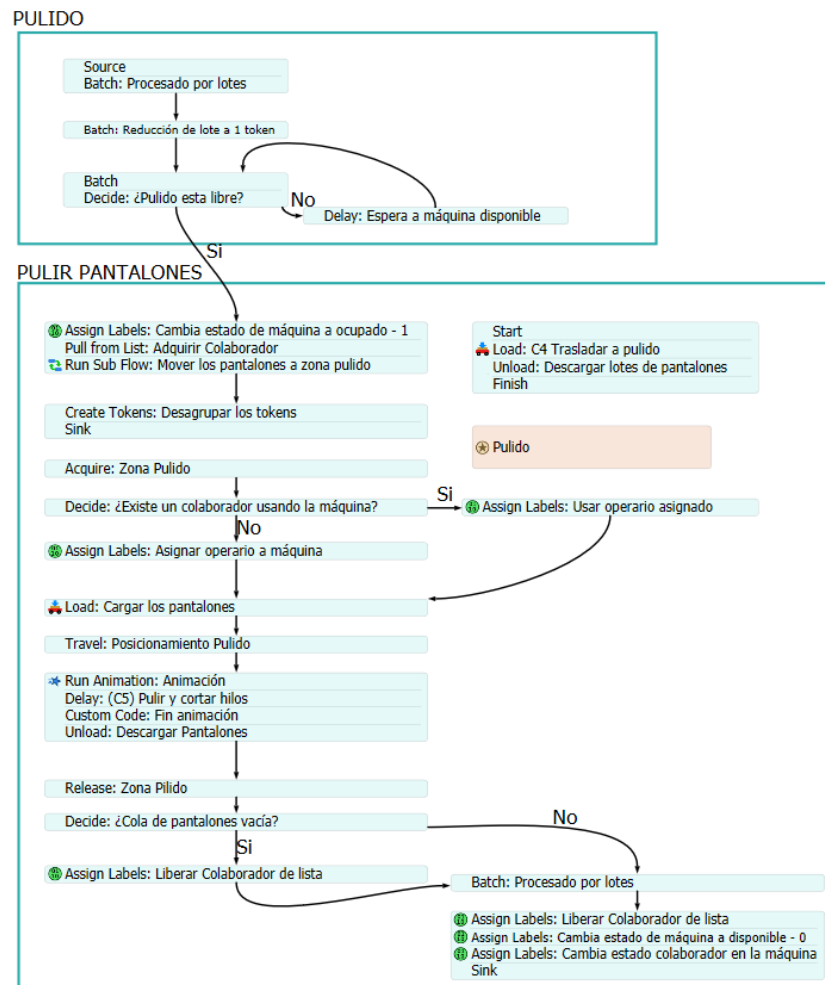


Figura 44. Control lógico proceso de pulido – Process Flow

De esta forma se llega al final de este proceso concluyendo en la colocación del botón de sujeción del pantalón, por medio de la disponibilidad del recurso y el elemento asignado, se comprueba la disponibilidad del recurso y libera al colaborador cuando no tiene prendas en espera a ser procesados, ver Figura 45.

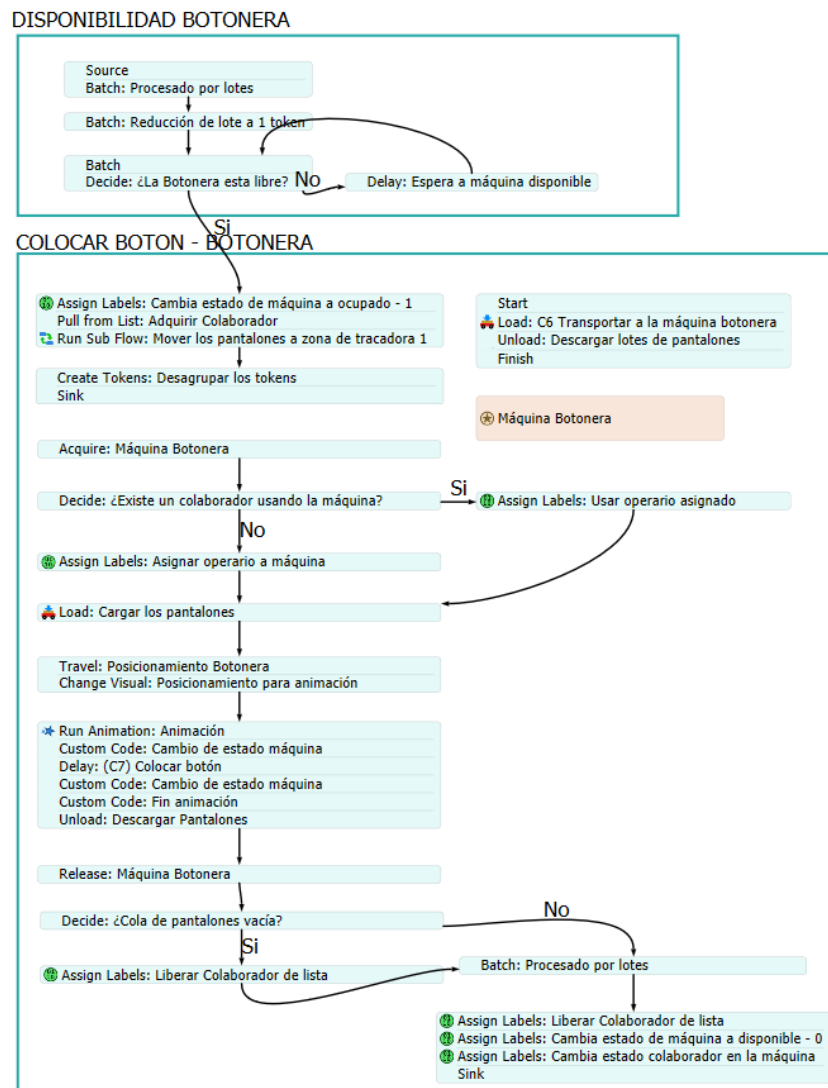


Figura 45. Control lógico proceso de colocación del botón – Process Flow

e. Modelado del proceso de planchado

• Modelado visual 3D

El modelado 3D del proceso de planchado incluye dos recursos a utilizar, la plancha industrial para darle una buena presentación al producto final y la plastiflecha utilizada en la colocación de etiquetas de cartón en la prenda. La Figura 46 evidencia de forma visual esta pequeña estación que concluye el proceso de producción antes de enviar los pantalones al inventario de estanterías.



Figura 46. Representación proceso de planchado – Modelado 3D

- **Modelado lógico - Process Flow**

La primera etapa consta del planchado del pantalón para darle un buen aspecto al momento de ser adquirido por el cliente, este paso es dependiente de la disponibilidad del recurso. Se emplea la lógica de bucle de verificación y disponibilidad de los colaboradores más cercanos. Ver Figura 47.

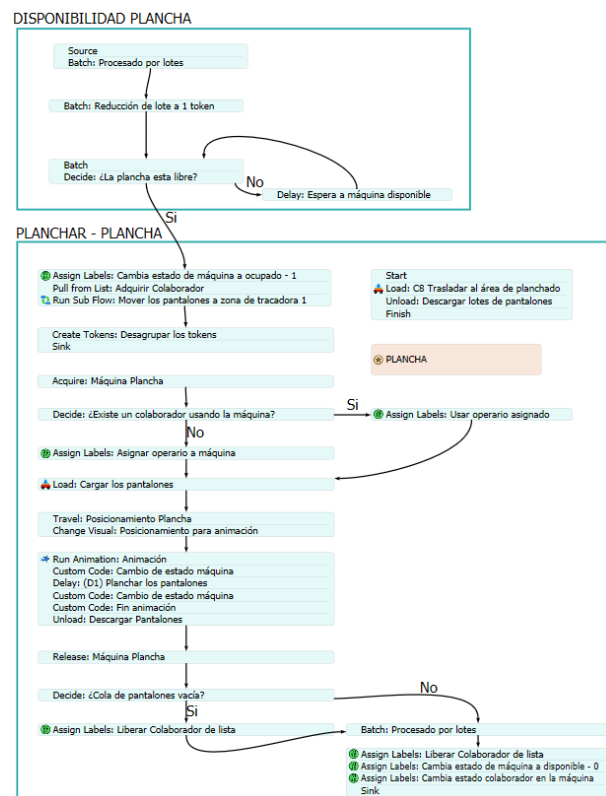


Figura 47. Control lógico proceso de planchado – Process Flow

En la Figura 48, el proceso que da origen a un producto terminado es la estación final, encargada de doblar el pantalón, colocar las etiquetas de cartón y fijar el adhesivo con la talla correspondiente. Esta estación está limitada por la adquisición del recurso plastiflecha para la colocación de etiquetas.

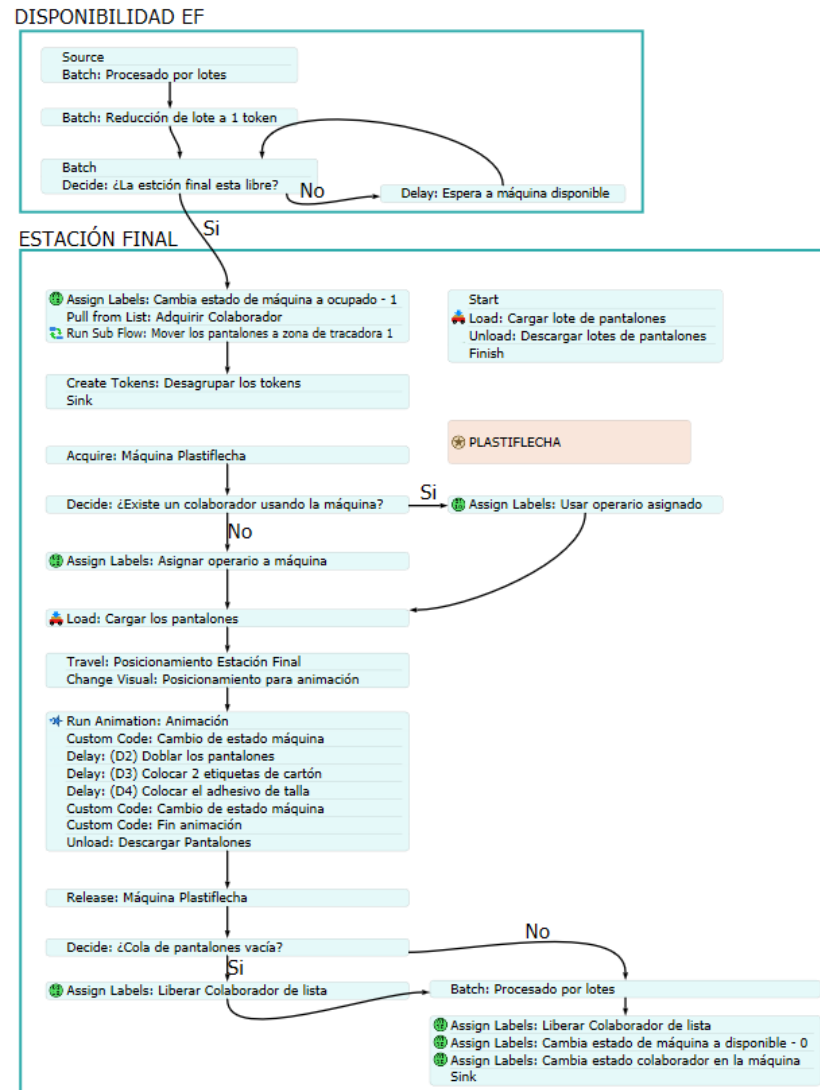


Figura 48. Control lógico estación final

f. Modelado del proceso de almacenaje

• Modelado visual 3D

Finalmente, el proceso de almacenaje constituye el inventario de las prendas procesadas y que cumplen las características para ser adquiridas por el cliente. La empresa cuenta con 13 estanterías donde se organizan los pantalones previos a la entrega al cliente final. Cada uno de los espacios de las estanterías se encuentra ligado

a una lista que nos permite tener una idea clara de los resultados de producción, el detalle se observa en la Figura 49.



Figura 49. Representación proceso de almacenaje – Modelado 3D

- ***Modelado lógico - Process Flow***

El control lógico de la parte final del modelado constituye la búsqueda de un espacio disponible en el sistema de almacenamiento de las estanterías, de manera que se les asigna una ubicación de forma aleatoria en función de la disponibilidad de espacio. La Figura 50 representa el control del sistema de almacenamiento de manera que al simular en una jornada prolongada de una semana o meses de corrido se llene y vacíe de forma automática cada dos días de tiempo de simulación.

De esta forma se evita sobreescrituras en la información de los tokens o posibles paralizaciones o errores al correr la simulación en un periodo de tiempo prolongado. El flujo de Process Flow concluye con un elemento Sink que asegura la eliminación de la información recolectada por el token y evita errores en el código y funcionamiento del modelado.

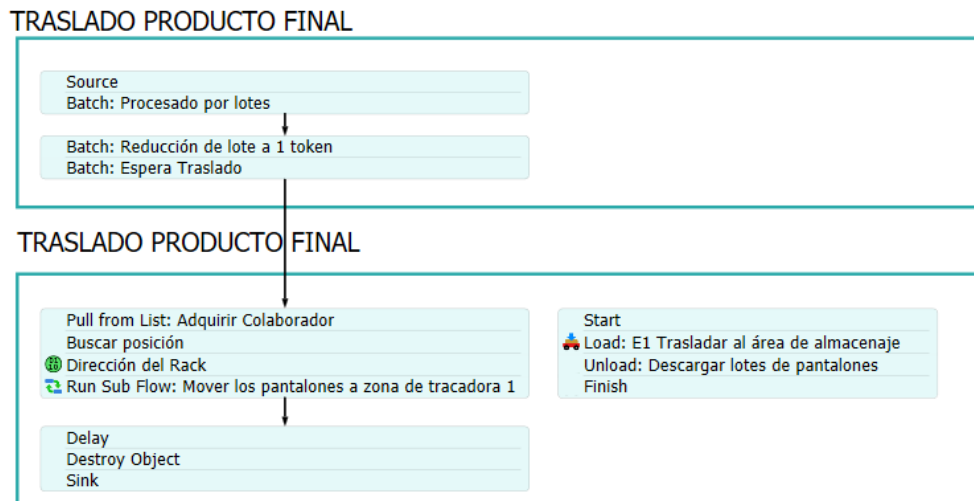


Figura 50. Control lógico de almacenaje

La Figura 51 representa de forma visual las características replicadas de la empresa, tras la ejecución de su layout en el software AutoCAD y su integración con el modelado 3D de FlexSim. Donde tanto a nivel visual como lógico se representa de forma significativamente similar a los procesos y comportamiento de colaboradores en la vida real. Además, existe la parametrización de variables modificables con verificación de los efectos en los indicadores establecidos para el análisis.



Figura 51. Modelo de simulación de la empresa Textil Tefy Tex

3.2.3 Validación del modelo

Para la validación del modelo desarrollado en FlexSim, se emplea el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE, del inglés Mean Absolute Percentage Error), métrica ampliamente utilizada en la evaluación de modelos de simulación [32]. La Ecuación (14) rige esta métrica.

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \right) \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{|A_i - F_i|}{A_i} \right] \times 100 \quad (14)$$

Donde:

n = número de periodos evaluados

A_i = valor real observado del período i

F_i = valor estimado por el modelo de simulación en el período i

Para la interpretación de resultados, se adoptan los umbrales de precisión establecidos por Lewis, en una escala de exactitud predictiva basada en el MAPE [44], ver Tabla 19.

Tabla 19. Umbrales de precisión MAPE [44]

Rango MAPE	Clasificación de Lewis
$MAPE \leq 10 \%$	Pronóstico de alta precisión
$10 \% < MAPE \leq 20 \%$	Buen pronóstico
$20 \% < MAPE \leq 50 \%$	Pronóstico razonable
$MAPE > 50 \%$	Pronóstico inexacto

La validación se realiza comparando la producción real registrada durante siete días consecutivos con los resultados de la simulación en sus múltiples réplicas, los resultados se presentan en la Tabla 20. El MAPE global obtenido es de 3,14% valor inferior al umbral de 5% adoptado como criterio de validez para modelos de simulación de manufactura. De los siete periodos analizados, cinco presentaron errores por debajo del 5% y los dos periodos con error superior no comprometen la validez global del sistema.

Tabla 20. Comparación de producción real vs. simulada para validación del modelo

Nº	Período / Día	Prendas Reales	Prendas Simuladas	Error absoluto	Error %
1	Día 1	250	263	13	5,20%
2	Día 2	250	261	11	4,40%
3	Día 3	260	260	0	0,00%
4	Día 4	260	260	0	0,00%
5	Día 5	250	267	17	6,80%
6	Día 6	270	280	10	3,70%
7	Día 7	270	265	5	1,85%
MAPE GLOBAL					3,14%

3.2.4 Experimentación

a. Indicadores de desempeño del sistema

Los indicadores de desempeño elegidos para incorporar al modelo de simulación se describen a continuación.

- **Procesamiento - WIP**

El indicador de desempeño seleccionado para el procesamiento de las prendas es el trabajo en proceso (WIP, por sus siglas en inglés), equivalente a las colas de cada una de las máquinas y estaciones establecidas en el modelo. Este indicador se va actualizando en tiempo real de acuerdo con cómo se van ejecutando las actividades en el transcurso del tiempo simulado, ver Figura 52.

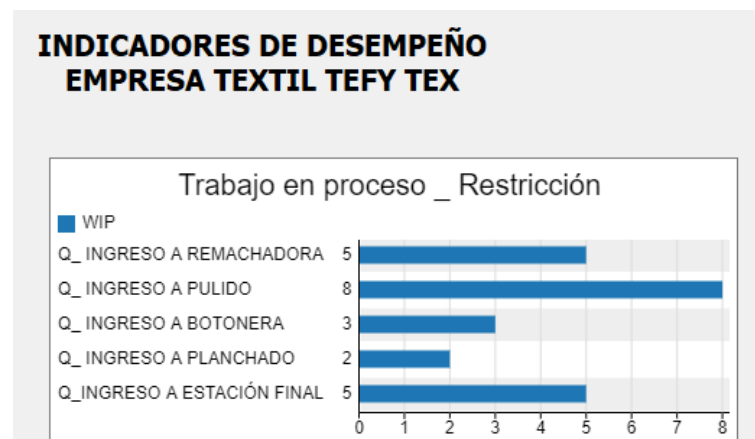


Figura 52. Indicadores de desempeño enfocado al procesamiento

- **Rendimiento - Throughput**

La Figura 53 refleja el rendimiento de cada una de las máquinas, es decir la cantidad de pantalones procesados en el transcurso de la simulación. Dentro de los cuales el más relevante es la cantidad de producto final, es decir la producción final en el período de tiempo simulado de acuerdo con las especificaciones establecidas en los parámetros dinámicos.

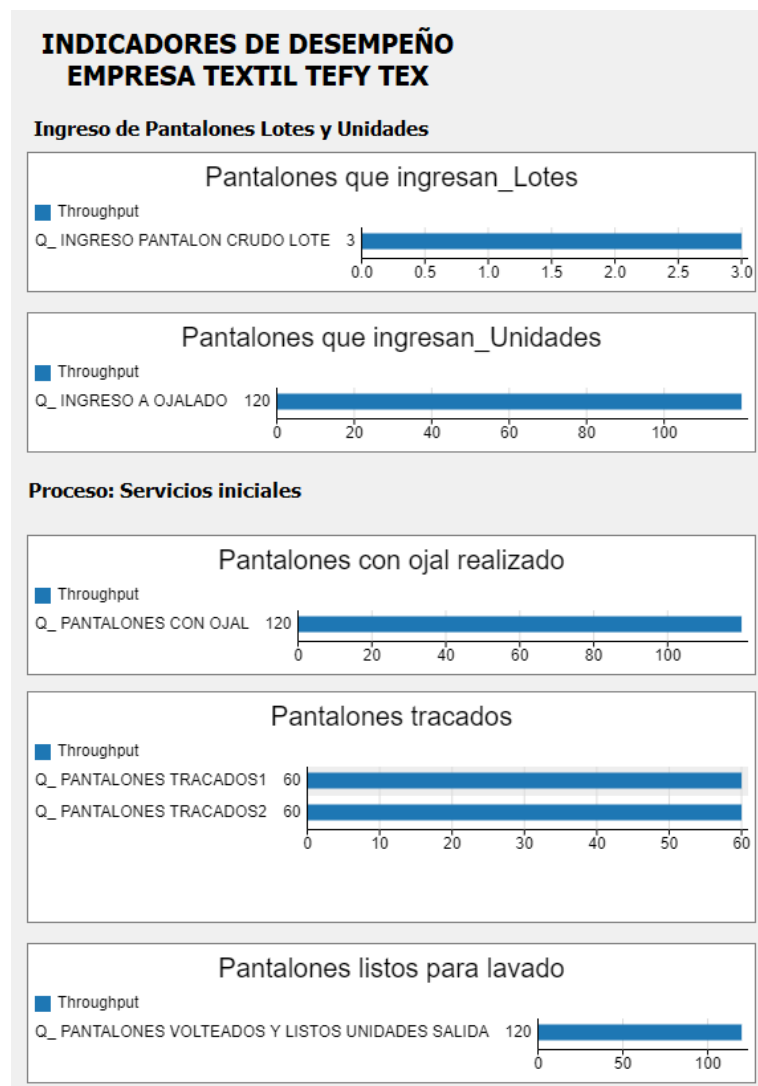


Figura 53. Indicadores de desempeño enfocado al rendimiento

- **Tiempo operativo colaboradores**

Por otra parte, la gestión de los recursos humanos es de gran utilidad ya que permiten determinar con precisión el tiempo operativo de los colaboradores. De esta forma se tiene un panorama claro de si existe la cantidad adecuada de colaboradores en función

de la demanda a cubrir. La gestión eficiente del recurso humano es vital en la optimización de procesos, el reducir la cantidad de recursos utilizados y aumentar el rendimiento es clave para el desarrollo económico de las Pymes, ver Figura 54.

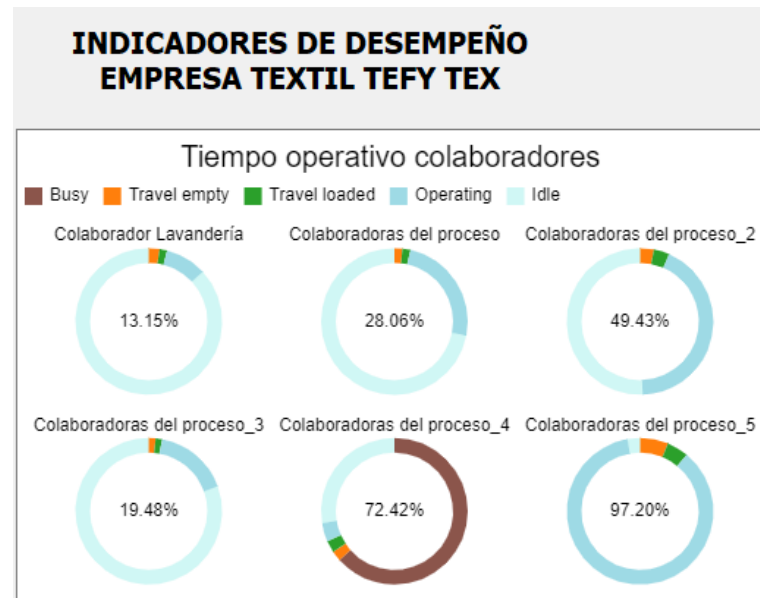


Figura 54. Indicadores de desempeño enfocado a los colaboradores

- ***Utilización maquinaria***

Si se conoce de forma precisa el tiempo operativo de los colaboradores y la utilización de la maquinaria existente, la planificación de la producción es en función de datos reales. De esta forma, se define la viabilidad de mantener un equilibrio en el sistema de producción frente a variabilidad de la demanda o factores disruptivos externos. La Figura 55 refleja la configuración del indicador descrito en esta sección.

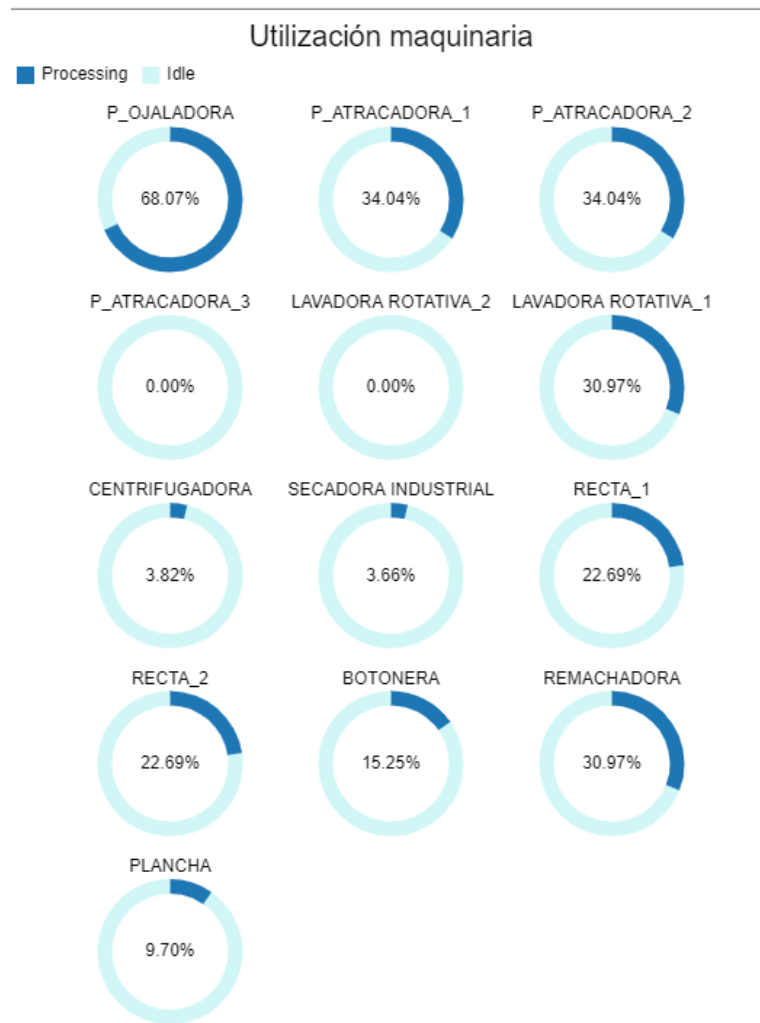


Figura 55. Indicadores de desempeño enfocado a la utilización de maquinaria

b. Distribuciones de probabilidad – Fitted distribution

Para determinar las distribuciones de probabilidad que rigen los procesos en el modelo de simulación, se parte de la recopilación de datos del estudio de tiempos. Posteriormente, estos datos recopilados se procesan mediante la herramienta Expertfit (Fitted distribution) integrada en FlexSim, la cual automatiza el análisis de ajuste de bondad al evaluar el comportamiento de las muestras frente a múltiples funciones de probabilidad teóricas. De esta forma, se selecciona la distribución estadísticamente más adecuada garantizando que el modelo replique con precisión la variabilidad y aleatoriedad inherente del sistema operativo.

La Tabla 21 describe cada una de las distribuciones de probabilidad establecidas, posterior al procesamiento de datos obtenidos en la empresa, excluyendo las

actividades de transporte que se realiza por medio del software FlexSim a través de las distancias en el layout.

Tabla 21. Resumen de las distribuciones de probabilidad del sistema

Codificación	Distribución (Fitted Distribution - FlexSim)
A1	logistic(29.48, 2.62)
A3	logistic(13.84, 1.23)
A4	johnsonbounded(5.37, 8.18, 0.00, 0.71)
A6	laplace(34.65, 4.70)
A8	beta(7.02, 11.85, 2.47, 4.53)
D-B2	laplace(82.85, 7.49)
D-B3	beta(28.11, 44.59, 1.52, 1.83)
D-B4	johnsonbounded(103.43, 157.06, 0.21, 0.35)
D-B5	lognormal(23.03, 1.71, 0.46)
D-B6	cauchy(898.66, 59.68)
D-B7	johnsonunbounded(51.13, 5.72, 1.16, 1.64)
D-B8	johnsonbounded(121.27, 193.46, 0.33, 0.45)
S-B9	johnsonbounded(41.76, 64.65, 0.06, 0.39)
S-B10	cauchy(33.11, 1.65)
S-B11	lognormal(-2565.80, 8.04, 0.03)
S-B12	beta(41.42, 60.60, 1.36, 1.40)
B1	triangular(104.24, 124.04, 111.94, getstream(activity))
B3	triangular(589.20, 649.28, 616.31, getstream(activity))
B4	triangular(15.27, 27.48, 23.29, getstream(activity))
B6	triangular(2026.99, 2462.21, 2249.20, getstream(activity))
B7	triangular(22.58, 26.32, 24.54, getstream(activity))
B9	triangular(433.50, 550.93, 494.29, getstream(activity))
C1	beta(8.94, 20.06, 2.68, 3.22)
C3	logistic(15.64, 1.37)
C5	johnsonbounded(27.46, 44.24, 0.00, 0.46)
C7	johnsonunbounded(13.91, 2.99, 1.46, 2.22)
D1	pareto(59.61, 5.77)
D2	beta(17.79, 34.24, 1.93, 4.04)
D3	logistic(8.70, 0.68)
D4	johnsonbounded(5.71, 9.75, 0.59, 0.84)
E2	laplace(25.17, 2.89)
E3	logistic(7.78, 0.58)

3.3 Experimentación de escenarios

3.3.1 Diseño experimental

La experimentación de escenarios constituye la etapa final y de mayor relevancia analítica del estudio. Consiste en la evaluación sistemática de tres escenarios de simulación bajo parámetros controlados, con la finalidad de evaluar alternativas de mejora productiva y resiliencia operativa en el proceso de producción.

Debido a la robustez del modelo y la cantidad de recursos de hardware que requiere para la ejecución de los escenarios de simulación, el tiempo simulado por escenario se establece en 12 horas, el equivalente al plazo de tiempo máximo laborable de acuerdo con los horarios de trabajo establecidos.

a. Número de réplicas por escenario

Debido a que el modelo incorpora distribuciones de probabilidad estocástica en cada una de sus actividades, en cada réplica se emplea valores pseudoaleatorios diferentes. Para obtener estimaciones estadísticamente válidas se requiere ejecutar múltiples réplicas de forma independiente. La determinación del número de réplicas se realiza con base en el método de la media muestral de Law y Kelton, ampliamente usado en DES. Para ello, se establece un nivel de confianza del 95% y un error relativo admisible de $\pm 10\%$; con la finalidad de darle un margen de seguridad robusto ante la variabilidad intrínseca del sistema, se determina la ejecución de $n = 20$ réplicas [45].

Por otra parte, se plantea tres escenarios: escenario actual (S1), escenario disruptivo (S2) y escenario optimizado (S3). Los tres escenarios propuestos permiten evaluar de forma progresiva el comportamiento del sistema, ante diferentes cambios. S1 y S2 contiene los parámetros establecidos de forma empírica, mientras que S3 plantea los valores de los parámetros variables de acuerdo con el resultado de la optimización con el módulo “Optimizer” de FlexSim.

3.3.2 Desarrollo del modelo matemático

Para la optimización se realiza la ejecución del módulo Optimizer donde se establece un periodo de calentamiento de 0 segundos, 20 réplicas por escenario y 50 iteraciones como máximo. Estos parámetros se configuran de acuerdo con la naturaleza del sistema y la capacidad de procesamiento del computador donde se ejecuta el modelo de simulación desarrollado.

a. Variables de decisión del horario de trabajo

La Ecuación (15) define el vector de las variables de decisión, donde cada componente indica la selección del horario de trabajo j . Cada una de las variables se describen en la Tabla 22.

$$x = (x_1, x_2, x_3)^T \quad (15)$$

Tabla 22. Variables de decisión del horario de trabajo

Variable	Descripción	Dominio
x_1	Indicador de selección del Horario Normal	$\{0, 1\}$
x_2	Indicador de selección del Horario Extendido 1	$\{0, 1\}$
x_3	Indicador de selección del Horario Extendido 2	$\{0, 1\}$

b. Función objetivo

El modelo busca maximizar el valor esperado de las prendas procesadas $P(x)$, estimado como la media muestral a través de n réplicas de simulación estocástica. La Ecuación (16) rige la función objetivo planteada.

$$Z = \max \left(\frac{1}{n} \right) * \sum_i = 1^n P_i(x) \quad (16)$$

Donde:

$P_i(x)$ = es el número de prendas procesadas en la i -ésima réplica bajo la configuración de horario x .

n = réplicas de simulación

x = horario de trabajo seleccionado

c. Restricciones

Las Ecuaciones (17), (18) y (19) establecen los criterios de restricción de la función objetivo. Estas consideran una utilización de tiempo operativo de los colaboradores superior al 60% (R1), la selección de un solo horario de trabajo (R2) y la condición de integridad binaria para la activación de las jornadas (R3), respectivamente.

$$R1 \rightarrow \left(\frac{1}{n}\right) * \Sigma_i = 1^n TOC_i(x) \geq 60\% \quad (17)$$

Donde:

TOC = Tiempo operativo del colaborador

n = réplicas de simulación

x = horario de trabajo seleccionado

$$R2 \rightarrow x_1 + x_2 + x_3 = 1 \quad (18)$$

Donde:

x1,x2, x3 = horario de trabajo específico

$$R3 \rightarrow x_j \in \{0,1\}, j = 1,2,3 \quad (19)$$

3.3.3 Configuración del módulo Optimizer (Optimizador)

Una vez que definido el modelo matemático se procede a ejecutar el Optimizer con la función objetivo y las restricciones establecidas anteriormente. La Figura 56, describe la configuración de los parámetros establecidos por el optimizador, consta de los siguientes campos:

- **Función objetivo:** maximizar las prendas procesadas
- **Restricción 1:** promedio de tiempo operativo superior al 60%

- **Restricción 2:** selección de un solo horario de trabajo
- **Restricción 3:** integridad binaria para la activación de las jornadas

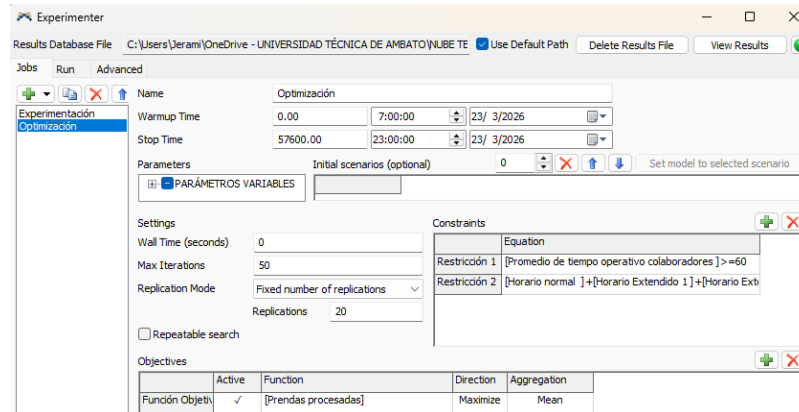


Figura 56. Parametrización de la sección Optimizador

Los resultados obtenidos para las variables establecidas con posterioridad a la ejecución del optimizador se reflejan en la Figura 57, estos valores son configurados en S3 para verificar los cambios en los indicadores de desempeño.

Parameter	Value
Colaboradores del proceso general	3
Colaboradores del proceso de lavado	2
A. Cantidad de camionetas con mercadería	2
B. # Lotes de Pantalones crudos - Tela Clásica	5
B.1 Pantalones * Lote - Tela clásica	40
C. #Lotes de Pantalones crudos - Tela Satín Blue	5
C.1 Pantalones * Lote - Tela Satín Blue	40
Tipo de lavado	1
General Unidades por lotes a procesar	10
Lavado Unidades por lotes a lavar	40
Horario normal	1
Horario Extendido 1	0
Horario Extendido 2	0
Programación de fallas	1
Lavadoras a utilizar	2

Figura 57. Resultados del Optimizador

La ejecución del módulo optimizar requirió un tiempo de 2 días, 8 horas y 36 minutos. Una vez se obtuvieron los parámetros de entrada se definen las componentes de los tres escenarios. La Tabla 23 resume la configuración paramétrica de los tres escenarios experimentados, S1 y S2 se configuran de forma empírica y S3 en base a los resultados del Optimizador.

Tabla 23. Parámetros de configuración de escenarios

Parámetro	S1 (Escenario Actual)	S2 (Escenario Disruptivo)	S3 (Optimizer)
Colaboradores del proceso general	5	5	3
Colaboradores del proceso de lavado	1	2	2
General Unidades por lotes a procesar	20	20	10
Horario normal	1	0	0
Horario Extendido 1	0	1	1
Horario Extendido 2	0	0	0
Lavadoras a utilizar	1	2	2
A, Cantidad de camionetas con mercadería	1	2	2

3.3.4 Escenario actual (S1) – Condiciones actuales

El escenario S1 establece el punto de referencia o línea base del modelo, antes de cualquier intervención en sus variables. Este escenario replica de forma fiel las condiciones observadas durante el momento de levantamiento de información y sirve como escenario de comparación con los escenarios subsiguientes. Los parámetros aplicados corresponden a los registrados en el levantamiento de información: cinco colaboradores del proceso general, un colaborador del proceso de lavado, jornada normal de 40 h/semana, una lavadora rotativa activa y una camioneta que descarga diez lotes de 40 unidades de prendas en crudo.

Los detalles de los indicadores de desempeño de S1 se pueden verificar en: Figura 58, Figura 59 y Figura 60. El tiempo operativo de los colaboradores es bajo, y se puede evidenciar que los cuellos de botella se localizan en la zona de lavado. Además, los resultados de rendimiento son de 263 prendas procesadas del total de 400 que ingresan, lo que contrasta con la realidad observada en la empresa, este escenario obtiene un OTD equivalente a 0,66.

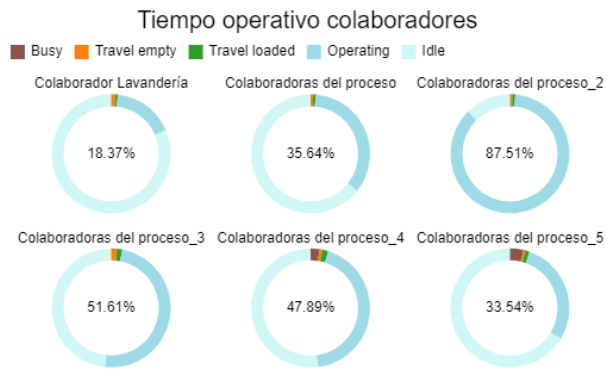


Figura 58. Resultados (S1) – Tiempo operativo colaboradores

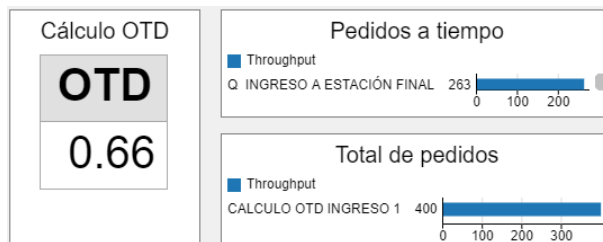


Figura 59. Resultados (S1) - OTD

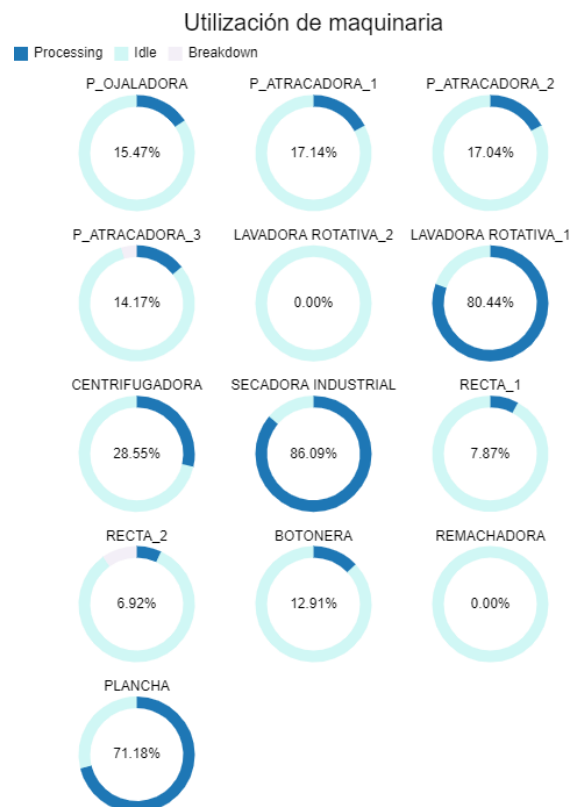


Figura 60. Resultados (S1) – Utilización de maquinaria

3.3.5 Escenario disruptivo (S2) – Aumento de la demanda

El escenario S2 modela una condición disruptiva de incremento en la demanda, representada por periodos de alta demanda comercial estacional. Los cambios respecto de S1 son: incremento de un colaborador de proceso de lavado, activación de la segunda lavadora rotativa, aumento de camiones de ingreso de mercadería y extensión de horario a 46 h/semana. Este escenario permite cuantificar la resiliencia productiva del sistema, entendida como la capacidad de mantener niveles de producción aceptables ante perturbaciones operativas.

Los detalles de los indicadores de desempeño del escenario S2 se pueden verificar en: Figura 61, Figura 63 y Figura 62. Este escenario evidencia que, debido al incremento de la demanda, el tiempo operativo de los colaboradores aumenta de forma significativa con respecto a S1. Los cuellos de botella se siguen manteniendo en la zona de lavado y se refleja además en el proceso de planchado. El volumen de prendas en crudo se duplica debido al escenario disruptivo, sin embargo, las prendas procesadas son proporcionales al aumento de capacidad del sistema, pero mantienen la restricción en la secadora. Por otra parte, el indicador OTD es de 0,43 lo cual revela que el sistema no se adapta de forma adecuada a variaciones externas.



Figura 61. Resultados (S2) – Tiempo operativo colaboradores

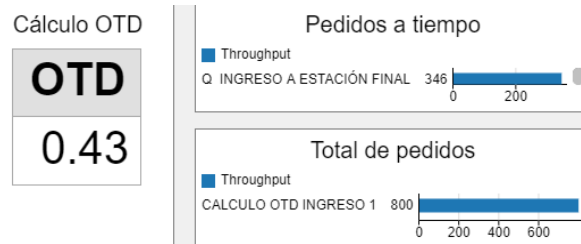


Figura 62. Resultados (S2) – OTD

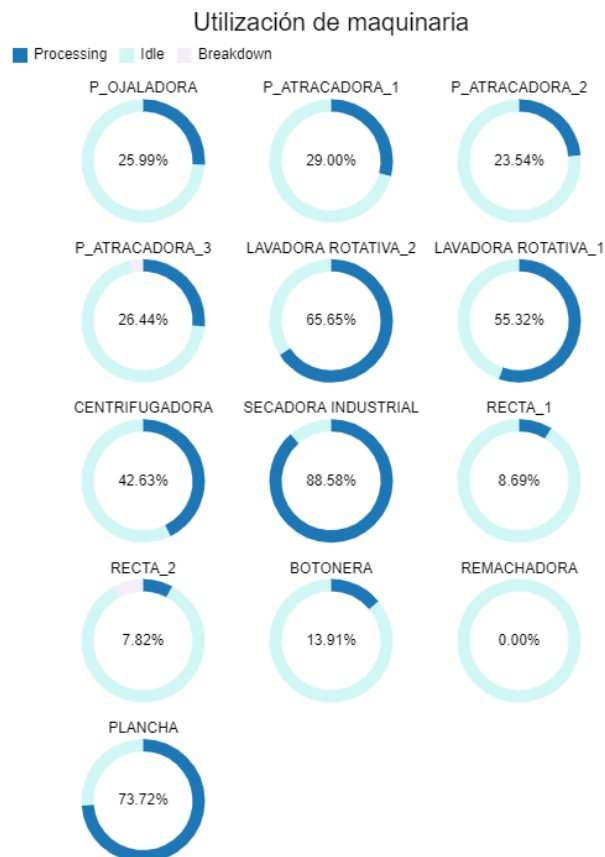


Figura 63. Resultados (S2) – Utilización de maquinaria

3.3.6 Escenario Optimizado (S3) – Resultado de Optimizador

El escenario S3 está fundamentado en los resultados del motor de optimización OptQuest integrado en FlexSim, para identificar los parámetros que maximizan la función de prendas procesadas, sujeta a las restricciones mencionadas. El algoritmo metaheurístico evalúa iterativamente combinaciones paramétricas, descartando soluciones no óptimas o infactibles.

Los detalles de los indicadores de desempeño de S3 se pueden verificar en: Figura 64, Figura 66 y Figura 65.

El impacto raíz en este escenario radica en la restricción de incremento del tiempo operativo de los colaboradores, y la reducción del tamaño de lote de proceso a diez unidades. Lo que ayuda a transferir con mayor velocidad los lotes entre estaciones, reduciendo la congestión de las colas existentes. Por otro lado, la optimización de la cantidad de colaboradores se compensa con el manejo gestionado por proximidad mediante listas de ejecutores de tareas en FlexSim, eliminando de esta forma desplazamientos innecesarios.



Figura 64. Resultados (S3) – Tiempo operativo colaboradores

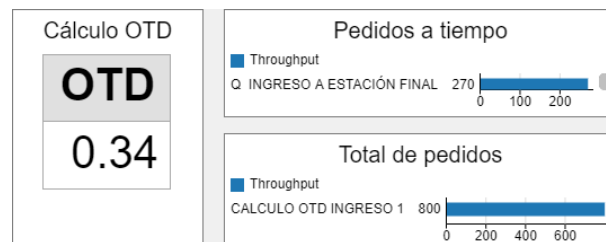


Figura 65. Resultados (S3) – OTD

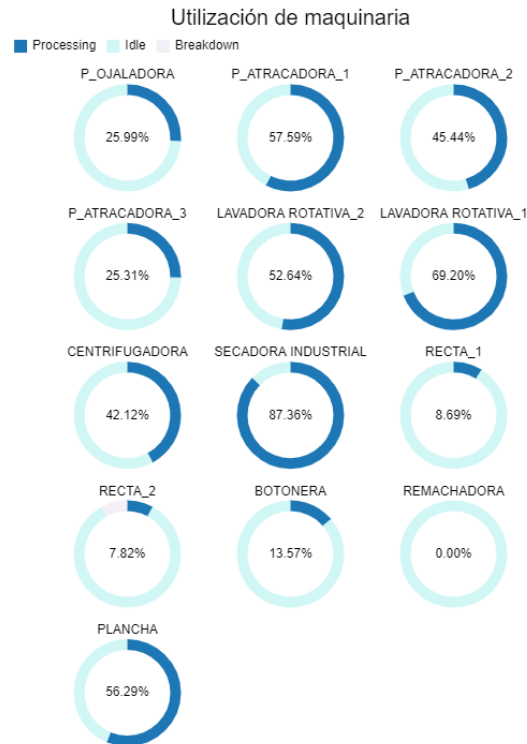


Figura 66. Resultados (S3) – Utilización de maquinaria

3.3.7 Comparación de escenarios

En la Figura 67 se evidencia la compilación de los datos de los indicadores de desempeño de los tres escenarios simulados.

El escenario (S1) obtiene un promedio de utilización de colaboradores de 45,76%, mientras que en (S2) debido condiciones adversas se aumenta a 49,29%, tras el aumento de un colaborador en el proceso de lavado e incremento de horario laboral. Este hallazgo es de especial interés debido a que la resiliencia actual del sistema productivo no es capaz de absorber variaciones de demanda. Por otro lado, en (S3) tras la reducción de dos colaboradores el indicador sube a 64,37% lo que da indicios de posibles tiempos muertos debido al cuello de botella en el proceso de lavado.

En términos comparativos simples la utilización de los colaboradores aumenta un 7,71% en (S2) y 40,67% en (S3), ambos casos respecto a (S1). Este incremento detalla que, a pesar de la saturación del sistema de producción por la alta demanda, el tiempo

operativo de los colaboradores no se aprovecha en su totalidad, lo cual evidencia que el verdadero cuello de botella se encuentra en la maquinaria de secado.

En este contexto, sucede algo similar en el promedio de utilización de la maquinaria, lo cual resulta lógico por la naturaleza del proceso. Esta métrica asciende de 27,52% en (S1), a 35,48% en (S2) y alcanza su pico en (S3) con 37,85%. En este caso se tiene un incremento de 28,92% en (S2) y 37,54% en (S3), respecto de (S1). Este resultado corrobora el enunciado anterior, ya que pese al aumento de la demanda las maquinarias siguen con limitaciones en su uso, puesto que el cuello de botella limita la capacidad de producción alcanzable.

Por otro lado, el comportamiento del OTD es inverso a los promedios de utilización, si bien el sistema aprovecha mejor los recursos existentes, el OTD disminuye drásticamente de 0,66 en (S1) a 0,34 en (S3). Esto demuestra que, a pesar de optimizar el uso de recursos humanos y de tamaño de lote a procesar, el rendimiento del sistema y cumplimiento de pedidos recae considerablemente. Esto nos da una idea de porque en Pymes se ha adoptado el concepto de mayor cantidad de recursos es equivalente a mayor productividad, un supuesto que no se puede generalizar sin un análisis previo de la naturaleza de la actividad productiva. Ver Figura 67.

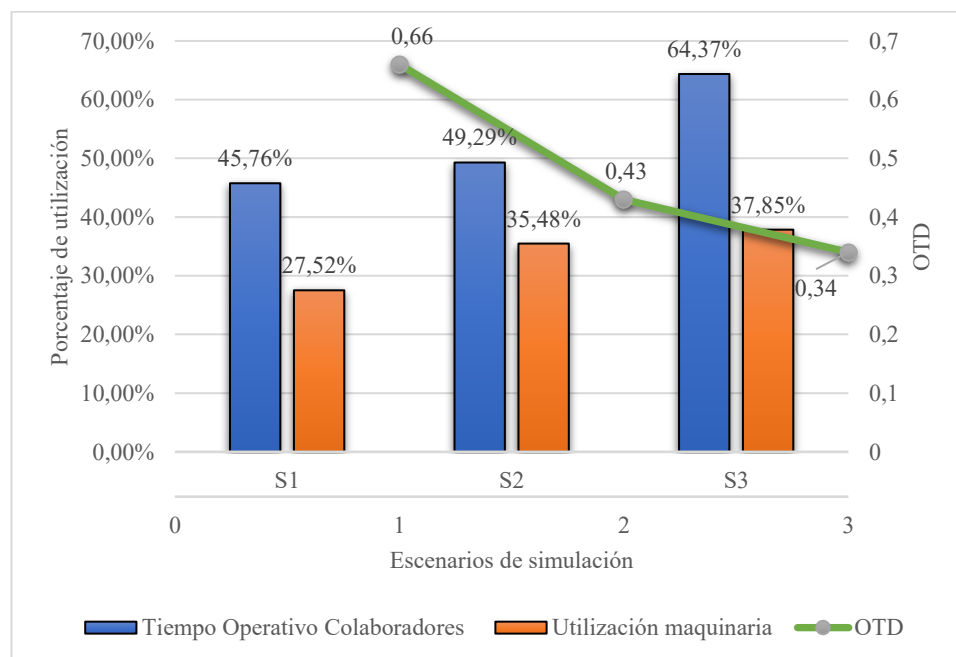


Figura 67. Promedio de indicadores de desempeño por escenario

En la Figura 68 se evidencia que el total de prendas procesadas es superior en el escenario S2 esto se debe al incremento de horas extras y la activación de la lavadora 2 en el sistema. Sin embargo, es de especial interés analizar como S3 que si bien no tiene un procesamiento equivalente a S2 tiene una salida similar a S1 con una reducción significativa de 2 colaboradores del proceso.

Este contexto demuestra que la resiliencia y competitividad de las Pymes no se logran con contratación empírica y sobredimensionada de mano de obra, sino mediante la sincronización lógica del flujo operativo del sistema.

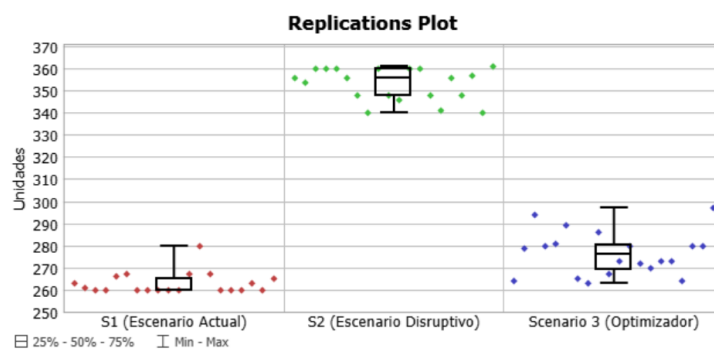


Figura 68. Comparativa de escenarios en relación con las prendas procesadas

Los resultados de trabajo en proceso se evidencian en la Figura 69, estos resultados demuestran el impacto de la reducción del lote de proceso de S3. En S1 y S2 el trabajo en proceso es mayor debido a la espera del lote procesado, por lo cual una reducción controlada reduce las colas del sistema e incrementa el tiempo operativo de los colaboradores.

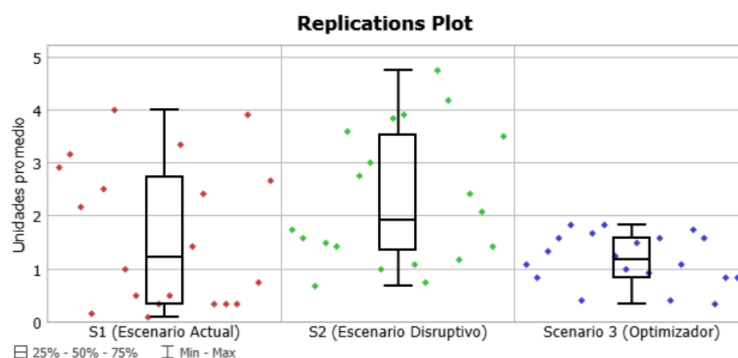


Figura 69. Comparativa de escenarios en relación con trabajo en proceso

La Figura 70 y Figura 71 demuestran que el rediseño implementado por el optimizador tiene un impacto significativo en el aprovechamiento del tiempo operativo de los colaboradores y la utilización de maquinaria. El fraccionamiento del lote hace también su trabajo, contribuyendo a mantener el equilibrio entre colaboradores y capacidad de procesamiento. Esta sincronización evidencia una gestión positiva de los recursos existentes basado en datos reales y verificables.

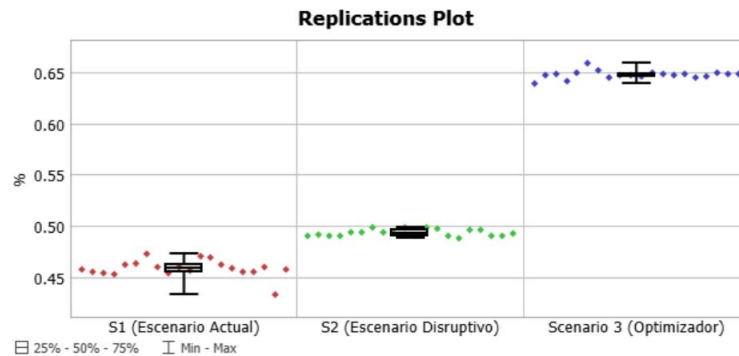


Figura 70. Comparativa de escenarios en relación con promedio operativo colaboradores

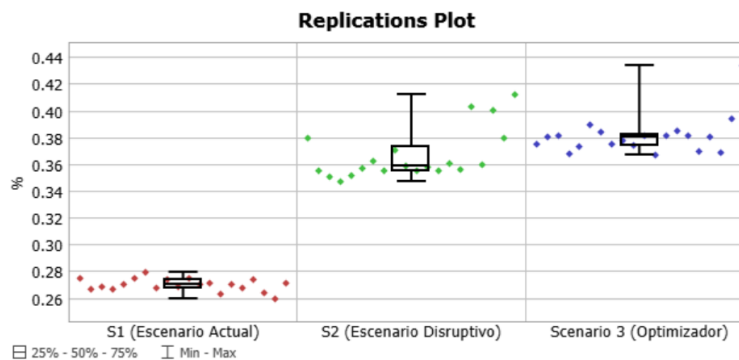


Figura 71. Comparativa de escenarios en relación con utilización de maquinaria

La Figura 72, por su parte evalúa el OTD de cada uno de los escenarios. Siendo S1 el valor mayor entre ellos, el equivalente a que el sistema no se encuentra preparado ante interrupciones aleatorias. El escenario disruptivo reduce significativamente el indicador de 0,66 a 0,34 lo que evidencia una reducida capacidad de adaptación, pero abre el horizonte a la mejora del sistema actual.

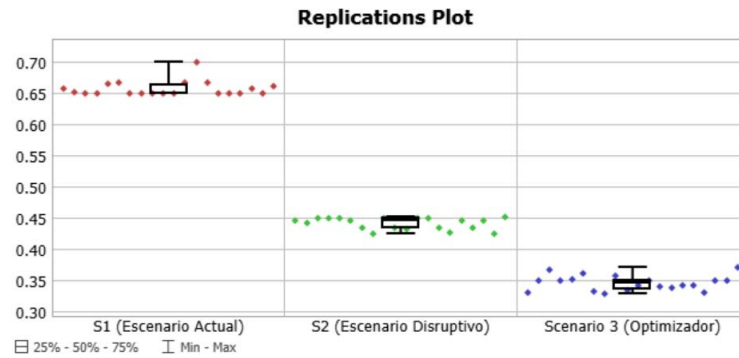


Figura 72. Comparativa de escenarios en relación con OTD

Finalmente, la Figura 73 contrasta en lo mencionado anteriormente, el sistema no tiene una capacidad de absorción de disrupciones resiliente. Por otro lado, la propuesta del optimizador evidencia una mejora considerable en la gestión de recursos tanto de colaboradores como de maquinaria, elevando el porcentaje promedio de tiempo operativo de los colaboradores un 40,67%. Este último dato es equivalente a los resultados de la Figura 74 donde la utilización de las maquinarias incrementa en S3 un 37, 54%, pese a contar con menor cantidad de colaboradores.



Figura 73. Relación OTD y tiempo operativo colaboradores

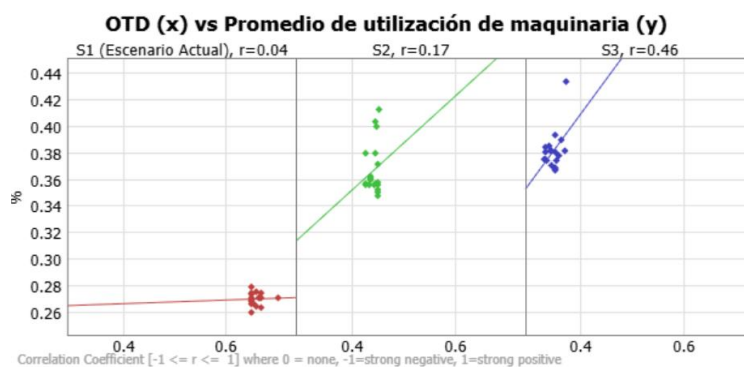


Figura 74. Relación OTD y utilización de maquinaria

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El análisis del proceso actual mediante herramientas de estudio de trabajo permite establecer condiciones reales del sistema. Los resultados del escenario actual (S1) evidencian que la planificación empírica y manual de las actividades operativas de la empresa genera una reducción del aprovechamiento del tiempo operativo de los colaboradores, con cuellos de botella claramente identificados en el proceso de secado. Bajo estas condiciones, el sistema registra un OTD de 0,66, lo que equivale a no cumplir en su totalidad la producción establecida. Sin embargo, este no es un resultado aislado pues la mayoría de las Pymes no tienen la capacidad de absorción de variaciones que impacten directa o indirectamente en el sistema.
- Ante condiciones de alta demanda en (S2), la estrategia tradicional de incrementar recursos humanos es deficiente y no garantiza resiliencia productiva. A pesar de aumentar las horas de la jornada trabajo e incrementar los recursos, el OTD no se mantiene y al contrario se reduce un 34,85% respecto de (S1). Esto resulta lógico, pues las restricciones identificadas en el proceso de lavado confirman una deficiente adaptación del sistema actual a variaciones imprevistas en el sistema. Este hallazgo confirma que, sin un análisis cuantitativo del sistema mediante simulación, la toma de decisiones reactiva no solo resulta ineficaz, sino que puede deteriorar el desempeño productivo, comprometiendo la competitividad y retención de clientes en mercados de alta variabilidad estacional.
- La simulación de eventos discretos combinada con la optimización mediante OptQuest demuestra ser una herramienta de gran utilidad y viabilidad para la toma de decisiones basada en datos. Todo esto gracias a la identificación de configuraciones operativas eficientes, no evidentes mediante un análisis convencional. Posterior al desarrollo del modelado, la experimentación con datos reales del proceso y la optimización con OptQuest, S3 demuestra mejores

resultados que los actuales un incremento de 40,67% en la utilización del tiempo operativo de los colaboradores y un incremento de 37,54% en la utilización de la maquinaria. Específicamente, este escenario determina la configuración necesaria para elevar el tiempo operativo promedio al 64,37% y la utilización de la maquinaria al 37,85%, logrando una producción comparable con S1, pero con menos recursos humanos.

- De esta forma, se concluye que la contratación sobredimensionada de colaboradores no eleva el nivel de resiliencia y competitividad; esto se logra a través de la observación y análisis de datos reales que permiten obtener mayor detalle del proceso y saber qué ocurre con sus variables internas ante los cambios. FlexSim permite un análisis más detallado y la identificación de casos de mejora que generalmente no son evidentes.

4.2 Recomendaciones

- Al momento de modelar, se debe tener en cuenta la capacidad en hardware del equipo de procesamiento, pues simulaciones de alta complejidad requieren una gran cantidad de recursos tecnológicos para un análisis completo de los escenarios establecidos. Es decir, a mayor complejidad del sistema a modelar, mayor capacidad de procesamiento y tiempo se requiere para culminar con la ejecución de réplicas e iteraciones de escenarios.
- Para trabajos futuros, se sugiere incluir una variable de análisis económico, de manera que los cambios no solo se puedan evidenciar en indicadores de desempeño técnicos. Esto permitirá una mejor diferenciación de las mejoras encontradas en términos económicos, medida que resulta familiar para un análisis sencillo en Pymes.
- Evaluar la propuesta establecida en S3 con el optimizador y verificar los resultados simulados con los reales. Además, procurar incrementar la capacidad de secado para estar acorde con la capacidad de procesamiento de las lavadoras rotativas existentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “La industria textil latinoamericana se recupera entre un 2 % y un 4 % | SELA,” Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe. Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.sela.org/la-industria-textil-latinoamericana-se-recupera-entre-un-2-y-un-4/>
- [2] P. Feldman and U. Girolimo, “La Industria 4.0 en perspectiva latinoamericana: limitaciones, oportunidades y desafíos para su desarrollo,” *Revista Perspectivas de Políticas Públicas*, vol. 10, no. 20, p. 2021, 2020.
- [3] D. Blinder *et al.*, *Desarrollo y políticas de ciencia, tecnología e innovación en un mundo en transformación : Reflexiones sobre la Argentina contemporánea*. 2021.
- [4] J. Leon *et al.*, “A tutorial on combining flexsim with python for developing discrete-event simheuristics”, Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: www.flexsim.com,
- [5] “AITE I Asociación de industriales textiles del Ecuador.” Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.aite.com.ec/industria.html>
- [6] A. Torres, E. Sailema, A. López, and S. Gallegos, “Alcances y limitaciones de metodologías aplicadas a la innovación en el diseño de indumentaria en denim, Estudio de caso en Pelileo - Ecuador,” *Ethos Scientific Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 103–120, Jun. 2025, doi: 10.63380/ESJ.V3N1.2025.101.
- [7] R. Díaz, “Simulación de eventos discretos como estrategia para la optimización de procesos en la industria textil: Una propuesta metodológica,” *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, vol. 12, no. 24, pp. 51–59, Jul. 2025, doi: 10.29057/ESCS.V12I24.14730.
- [8] A. Kampa, G. Gołda, I. Paprocka, A. Kampa, G. Gołda, and I. Paprocka, “Discrete Event Simulation Method as a Tool for Improvement of Manufacturing Systems,” *Computers 2017, Vol. 6*, vol. 6, no. 1, Feb. 2017, doi: 10.3390/COMPUTERS6010010.
- [9] W. Lewicki, M. Niekurzak, J. Wróbel, W. Lewicki, M. Niekurzak, and J. Wróbel, “Development of a Simulation Model to Improve the Functioning of Production Processes Using the FlexSim Tool,” *Applied Sciences 2024, Vol. 14*, vol. 14, no. 16, Aug. 2024, doi: 10.3390/APP14166957.
- [10] C. Zhang and Z. Lin, “Optimization and Simulation of Production Lines Based on Flexsim,” *Mathematical Modeling and Algorithm Application*, vol. 3, no. 3, pp. 33–39, Dec. 2024, doi: 10.54097/N5NXH467.
- [11] E. Strazdiene and A. Laiskonyte, “The application of process simulation software FlexSim in textile study program,” *ENVIRONMENT. TECHNOLOGY. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical*

- Conference*, vol. 2, pp. 499–502, Jun. 2024, doi: 10.17770/ETR2024VOL2.8099.
- [12] W. Jung, Y. Song, and E. Suh, “Garment production line optimization using production information based on real-time power monitoring data,” *Systems Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 338–353, Mar. 2024, doi: 10.1002/SYS.21724.
 - [13] O. Bongomin, J. Mwasiagi, E. Nganyi, and I. Nibikora, “A complex garment assembly line balancing using simulation-based optimization,” *Engineering Reports*, vol. 2, no. 11, p. e12258, Nov. 2020, doi: 10.1002/ENG2.12258.
 - [14] O. Bongomin, J. Mwasiagi, E. Nganyi, and I. Nibikora, “Simulation metamodeling approach to complex design of garment assembly lines,” *PLoS One*, vol. 15, no. 9, p. e0239410, Sep. 2020, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0239410.
 - [15] R. Kins, C. Möbitz, and T. Gries, “Towards autonomous learning and optimisation in textile production: data-driven simulation approach for optimiser validation,” *J. Intell. Manuf.*, vol. 36, no. 5, pp. 3483–3508, Jun. 2025, doi: 10.1007/S10845-024-02405-3.
 - [16] D. Ivanov and A. Dolgui, “Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 10, pp. 2904–2915, May 2020, doi: 10.1080/00207543.2020.1750727.
 - [17] D. Ivanov, “Transformation of supply chain resilience research through the COVID-19 pandemic,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 62, no. 23, pp. 8217–8238, Dec. 2024, doi: 10.1080/00207543.2024.2334420.
 - [18] D. Ivanov and A. Dolgui, “A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0,” *Production Planning & Control*, vol. 32, no. 9, pp. 775–788, 2021, doi: 10.1080/09537287.2020.1768450.
 - [19] D. Ivanov, “Two views of supply chain resilience,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 62, no. 11, pp. 4031–4045, Jun. 2024, doi: 10.1080/00207543.2023.2253328.
 - [20] I. Jackson, M. Sáenz, and D. Ivanov, “From natural language to simulations: applying AI to automate simulation modelling of logistics systems,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 62, no. 4, pp. 1434–1457, Feb. 2024, doi: 10.1080/00207543.2023.2276811.
 - [21] B. Carballo Mendivil, A. Arellano González, and M. del P. Lizardi Duarte, “Ingeniería industrial y de sistemas. Una breve introducción,” *Ingeniería industrial y de sistemas. Una breve introducción*, Jan. 2024, doi: 10.59233/VAE054.
 - [22] F. Robert Jacobs and R. B. Chase, “Administración de Operaciones”.

- [23] M. Rojas, A. Correa, and F. Gutiérrez, “Sistema de Control de Gestión. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.,” 2012, Accessed: Nov. 24, 2025. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/uladech/70221>
- [24] J. López, E. Alarcón, and M. Rocha, “Estudio del trabajo. Una nueva visión,” *Estudio Del Trabajo*, p. 257, 2014, Accessed: Nov. 24, 2025. [Online]. Available: <https://editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074384383.pdf>
- [25] Roberto. García Criollo, “Estudio del trabajo,” p. 459, 2005.
- [26] R. García, *Estudio del trabajo*, Segunda Edición. 1996. Accessed: Nov. 24, 2025. [Online]. Available: https://faabenavides.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf
- [27] G. Kanawaty, *Introducción al estudio del trabajo*. Suiza, 1996. Accessed: Nov. 24, 2025. [Online]. Available: <https://teacherke.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/09/introduccion-al-estudio-del-trabajo-oit.pdf>
- [28] Caso. Neira, “Técnicas de medición del trabajo,” 2006.
- [29] A. M. Law, “Simulation Modeling and Analysis, Fifth Edition,” 2015, Accessed: Nov. 24, 2025. [Online]. Available: www.averill-law.com
- [30] W. B. Nordgren, “Flexsim simulation environment,” *Winter Simulation Conference Proceedings*, vol. 1, pp. 197–200, 2003, doi: 10.1109/WSC.2003.1261424.
- [31] Herrera and G., “Simulación de sistemas discretos, un enfoque industrial,” 2020, Accessed: May 17, 2026. [Online]. Available: <https://www.perlego.com/es/book/3522044/simulacin-de-sistemas-discretos-un-enfoque-industrial-pdf>
- [32] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson, D. M. Nicol, W. J. Fabrycky, and J. H. Mize, “Discrete-event system simulation fourth edition prentice-h all International series in Industrial and systems engineering”.
- [33] A. M. Law, “Simulation Modeling and Analysis, Fifth Edition,” 2015, Accessed: May 17, 2026. [Online]. Available: www.averill-law.com
- [34] “Flujo del proceso Propiedades generales.” Accessed: May 15, 2026. [Online]. Available: <https://docs.flexsim.com/en/22.2/Reference/GeneralModelSettings/ProcessFlowGeneralProperties/ProcessFlowGeneralProperties.html>
- [35] “El experimentador.” Accessed: May 17, 2026. [Online]. Available: <https://docs.flexsim.com/en/23.0/Reference/Tools/Experimenter/Experimenter.html>
- [36] “Conceptos clave sobre experimentos.” Accessed: May 17, 2026. [Online]. Available:

<https://docs.flexsim.com/en/20.2/GettingData/AdvancedDataGathering/KeyConceptsExperiments/KeyConceptsExperiments.html>

- [37] B. U. Gabriel *et al.*, “Introducción a la ingeniería industrial.,” p. 385, 2014.
- [38] S. A. Munmun, M. A. Moktadir, S. Tiwari, M. Z. Abedin, and C. J. C. Jabbour, “Investigation of key performance indicators for performance management of the manufacturing industry in the era of the COVID-19 pandemic,” *Annals of Operations Research* 2023 355:2, vol. 355, no. 2, pp. 2479–2522, Dec. 2023, doi: 10.1007/S10479-023-05717-4.
- [39] C. Cristea and M. Cristea, “KPIs for Operational Performance Assessment in Flexible Packaging Industry,” *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 3498, vol. 13, no. 6, p. 3498, Mar. 2021, doi: 10.3390/SU13063498.
- [40] M. Battesini, C. S. ten Caten, and D. A. de J. Pacheco, “Key factors for operational performance in manufacturing systems: Conceptual model, systematic literature review and implications,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 60, pp. 265–282, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.JMSY.2021.06.005.
- [41] D. R. Harish, T. Gowtham, A. Arunachalam, M. S. Narassima, D. Lamy, and M. Thenarasu, “Productivity improvement by application of simulation and lean approaches in an multimodel assembly line,” *Proc. Inst. Mech. Eng. B J. Eng. Manuf.*, vol. 238, no. 6–7, pp. 1084–1094, May 2024, doi: 10.1177/09544054231182264.
- [42] D. Ivanov, “What network and performance indicators can tell us about supply chain and sourcing resilience (and what they cannot),” *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 31, no. 3, p. 101014, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.PURSUP.2025.101014.
- [43] J. Anaya, “Organizacion de la produccion industrial,” vol. 1, no. 11, p. 179, 2006.
- [44] A. Law and D. Kelton, “Simulation Modeling and Analysis.” Accessed: May 25, 2026. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/31639535_Simulation_Modeling_and_Analysis_AM_Law_WD_Kelton

ANEXOS

Cálculo del número de ciclos

Anexo 1. Número de ciclos – Servicios iniciales

Estudio de tiempos - Número de ciclos									
Proceso: Servicios iniciales					Elaborado por:			Jerami Zamora	
Máquinas: Recta / Tracadora					Revisado por:			Dr.John Reyes	
Producto: General					Aprobado por:			Dr.John Reyes	
		Tiempo preliminar (s)					Cálculo		
N°	Tipo	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TPP (s)	TPP (min)	N°ciclos
A1	Manual	30,26	28,75	31,44	29,91	32,08	30,49	0,51	20
A2	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
A3	Manual	14,51	13,92	15,24	14,08	14,83	14,52	0,24	
A4	H-M	6,75	6,21	7,12	6,88	6,43	6,68	0,11	
A5	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
A6	H-M	34,45	35,82	32,95	34,11	36,12	34,69	0,58	
A7	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
A8	Manual	8,75	8,44	9,11	8,62	8,95	8,77	0,15	
TOTAL		94,72	93,14	95,86	93,60	98,41	95,15	1,59	
TP: Tiempo preliminar TPP: Tiempo preliminar promedio									

Anexo 2. Número de ciclos – Lavado

Estudio de tiempos - Número de ciclos									
Proceso: Lavado					Elaborado por:			Jerami Zamora	
Máquinas: Lavadora Rotativa					Revisado por:			Dr.John Reyes	
Producto: Tono industrial					Aprobado por:			Dr.John Reyes	
		Tiempo preliminar (s)					Cálculo		
Nº	Tipo	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TPP (s)	TPP (min)	Nºciclos
D-B1	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
D-B2	Manual	77,87	93,42	86,22	59,82	77,77	79,02	1,32	5
D-B3	Manual	33,45	36,57	29,84	34,78	33,99	33,73	0,56	
D-B4	Mecánico	145,95	146,04	142,13	155,43	172,29	152,37	2,54	
D-B5	Manual	32,67	27,94	37,71	33,79	34,85	33,39	0,56	
D-B6	Mecánico	930,78	772,09	949,65	1138,05	780,02	914,12	15,24	
D-B7	Manual	48,43	34,06	35,77	50,36	65,76	46,88	0,78	
D-B8	Mecánico	145,21	169,69	181,64	147,37	175,66	163,91	2,73	

Estudio de tiempos - Número de ciclos									
Proceso: Lavado					Elaborado por:			Jerami Zamora	
Máquinas: Lavadora Rotativa					Revisado por:			Dr.John Reyes	
Producto: Tono industrial					Aprobado por:			Dr.John Reyes	
		Tiempo preliminar (s)					Cálculo		
Nº	Tipo	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TPP (s)	TPP (min)	Nºciclos
S-B9	Manual	60,24	57,79	65,78	57,82	55,28	59,38	0,99	
S-B10	Manual	33,58	34,25	31,18	40,17	34,56	34,75	0,58	
S-B11	Mecánico	548,69	581,63	520,90	652,10	488,45	558,35	9,31	
S-B12	Manual	49,43	54,33	46,83	42,46	45,80	47,77	0,80	
TOTAL		2106,30	2007,81	2127,65	2412,15	1964,43	2123,67	35,39	
TP: Tiempo preliminar TPP: Tiempo preliminar promedio									

Anexo 3. Número de ciclos – Lavado: centrifugado y secado

Estudio de tiempos - Número de ciclos									
Proceso: Lavado					Elaborado por:			Jerami Zamora	
Máquinas: Centrifugadora - Secadora					Revisado por:			Dr.John Reyes	
Producto: General					Aprobado por:			Dr.John Reyes	
		Tiempo preliminar (s)					Cálculo		
Nº	Tipo	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TPP (s)	TPP (min)	Nºciclos
B1	Manual	102,49	99,78	105,39	115,20	101,99	104,97	1,75	3
B2	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
B3	Mecánico	676,28	610,09	665,59	698,37	735,86	677,24	11,29	
B4	Manual	22,25	22,58	18,58	21,40	23,60	21,68	0,36	
B5	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
B6	Mecánico	2156,44	2209,06	2493,37	2229	2382,64	2294,10	38,24	
B7	Manual	27,09	23,57	21,43	26,13	24,01	24,45	0,41	
B8	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
B9	Manual	444,25	531,83	379,12	420,32	451,99	445,50	7,43	
B10	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
TOTAL		3428,80	3496,91	3683,48	3510,42	3720,09	3567,94	59,47	
TP: Tiempo preliminar TPP: Tiempo preliminar promedio									

Anexo 4. Número de ciclos – Acabados

Estudio de tiempos - Número de ciclos									
Proceso: Acabados					Elaborado por:			Jerami Zamora	
Máquinas: Remachadora - Botonera					Revisado por:			Dr.John Reyes	
Producto: General					Aprobado por:			Dr.John Reyes	

		Tiempo preliminar (s)					Cálculo		
N°	Tipo	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TPP (s)	TPP (min)	N°ciclos
C1	Manual	14,08	19,80	15,41	16,00	15,14	16,09	0,27	20
C2	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
C3	H-M	15,26	16,75	14,53	13,32	16,65	15,30	0,26	
C4	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
C5	Manual	35,14	24,50	39,04	37,93	32,04	33,73	0,56	
C6	H-M	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
C7	Manual	12,43	12,78	11,02	10,69	14,21	12,23	0,20	
C8	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
TOTAL		76,91	73,83	80,00	77,94	78,04	77,34	1,29	
TP: Tiempo preliminar TPP: Tiempo preliminar promedio									

Anexo 5. Número de ciclos – Planchado

Estudio de tiempos - Número de ciclos									
Proceso: Planchado					Elaborado por:			Jerami Zamora	
Máquinas: Plancha industrial					Revisado por:			Dr.John Reyes	
Producto: General					Aprobado por:			Dr.John Reyes	
		Tiempo preliminar (s)					Cálculo		
Nº	Tipo	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TPP (s)	TPP (min)	Nºciclos
D1	Manual	69,04	54,01	88,83	76,41	66,47	70,95	1,18	20
D2	Manual	22,66	23,89	22,55	21,91	24,28	23,06	0,38	
D3	Manual	8,45	7,57	9,45	8,54	10,10	8,82	0,15	
D4	Manual	7,19	7,42	8,29	9,25	6,62	7,75	0,13	
TOTAL		107,34	92,89	129,12	116,11	107,47	110,59	1,84	
TP: Tiempo preliminar TPP: Tiempo preliminar promedio									

Anexo 6. Número de ciclos – Almacenaje

Estudio de tiempos - Número de ciclos									
Proceso: Almacenaje					Elaborado por:			Jerami Zamora	
Máquinas: -					Revisado por:			Dr.John Reyes	
Producto: General					Aprobado por:			Dr.John Reyes	
		Tiempo preliminar (s)					Cálculo		
Nº	Tipo	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TPP (s)	TPP (min)	Nºciclos
E1	Manual	Calculado dinámicamente por el software FlexSim							
E2	Manual	25,36	25,53	23,46	20,52	23,39	23,65	0,39	40
E3	Manual	7,92	8,53	7,58	7,64	7,33	7,80	0,13	

Estudio de tiempos - Número de ciclos									
Proceso: Almacenaje					Elaborado por:			Jerami Zamora	
Máquinas: -					Revisado por:			Dr.John Reyes	
Producto: General					Aprobado por:			Dr.John Reyes	
		Tiempo preliminar (s)					Cálculo		
Nº	Tipo	TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TPP (s)	TPP (min)	Nºciclos
TOTAL		33,28	34,06	31,04	28,16	30,72	31,45	0,52	
TP: Tiempo preliminar TPP: Tiempo preliminar promedio									

Cálculo del factor de desempeño

Anexo 7. Factor de desempeño – Servicios iniciales

Estudio de tiempos - Factor de desempeño							
Proceso: Servicios iniciales		Elaborado por:		Jerami Zamora			
Máquinas: Recta / Tracadora		Revisado por:		Dr.John Reyes			
Producto: General		Aprobado por:		Dr.John Reyes			
Cálculo del Factor de desempeño - Sistema Westinghouse							
Nº	Operador	Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia	Valoración	FD
A1	Femenino	0,03	0,02	0,02	0,01	0,08	1,08
A2	Femenino						
A3	Femenino	0,03	0,02	0,02	0,01	0,08	1,08
A4	Femenino	0,06	0,02	0,02	0,03	0,13	1,13
A5	Femenino						
A6	Femenino	0,03	0,02	0,02	0,03	0,1	1,1
A7	Femenino						
A8	Femenino	0	0,02	0,02	0,01	0,05	1,05
FD: Factor de Desempeño							

Anexo 8. Factor de desempeño – Lavado

Estudio de tiempos - Factor de desempeño							
Proceso: Lavado		Elaborado por:		Jerami Zamora			
Máquinas: Lavadora Rotativa		Revisado por:		Dr.John Reyes			
Producto: Tono industrial		Aprobado por:		Dr.John Reyes			
Cálculo del Factor de desempeño - Sistema Westinghouse							
Nº	Operador	Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia	Valoración	FD
D-B1	Masculino						
D-B2	Masculino	0,03	0,02	0,02	0,01	0,08	1,08
D-B3	Masculino	0,06	0,02	0,02	0,01	0,11	1,11
D-B4	Masculino	0	0	0	0	0	1
D-B5	Masculino	0,06	0,02	0,02	0,01	0,11	1,11
D-B6	Masculino	0	0	0	0	0	1
D-B7	Masculino	0,03	0,02	0,02	0,01	0,08	1,08
D-B8	Masculino	0	0	0,00	0	0	1
S-B9	Masculino	0,03	0,02	0,02	0,01	0,08	1,08
S-B10	Masculino	0,06	0,02	0,02	0,01	0,11	1,11
S-B11	Masculino	0	0	0,00	0	0	1
S-B12	Masculino	0,03	0,02	0,02	0,01	0,08	1,08
FD: Factor de Desempeño							

Anexo 9. Factor de desempeño – Lavado (Centrifugado y Secado)

Estudio de tiempos - Factor de desempeño							
Proceso: Lavado		Elaborado por:		Jerami Zamora			
Máquinas: Centrifugadora - Secadora		Revisado por:		Dr.John Reyes			
Producto: General		Aprobado por:		Dr.John Reyes			
Cálculo del Factor de desempeño - Sistema Westinghouse							
Nº	Operador	Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia	Valoración	FD
B1	Masculino	0,06	0,02	0,02	0,03	0,13	1,13
B2	Masculino						
B3	Masculino	0	0	0	0	0	1
B4	Masculino	0,06	0,02	0,02	0,03	0,13	1,13
B5	Masculino						
B6	Masculino	0	0	0	0	0	1
B7	Masculino	0,06	0,02	0,02	0,03	0,13	1,13
B8	Masculino						
B9	Masculino	0,06	0,02	0,02	0,03	0,13	1,13

B10	Masculino	
FD: Factor de Desempeño		

Anexo 10. Factor de desempeño – Acabados

Estudio de tiempos - Factor de desempeño							
Proceso: Acabados		Elaborado por:		Jerami Zamora			
Máquinas: Remachadora - Botonera		Revisado por:		Dr.John Reyes			
Producto: General		Aprobado por:		Dr.John Reyes			
Cálculo del Factor de desempeño - Sistema Westinghouse							
Nº	Operador	Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia	Valoración	FD
C1	Femenino	0,06	0,02	0,02	0,01	0,11	1,11
C2	Femenino						
C3	Femenino	0,06	0,02	0,02	0,01	0,11	1,11
C4	Femenino						
C5	Femenino	0,03	0,05	0,03	0,01	0,12	1,12
C6	Femenino						
C7	Femenino	0,06	0,03	0,03	0,003	0,123	1,123
C8	Femenino						
FD: Factor de Desempeño							

Anexo 11. Factor de desempeño – Planchado

Estudio de tiempos - Factor de desempeño							
Proceso: Planchado		Elaborado por:		Jerami Zamora			
Máquinas: Plancha industrial		Revisado por:		Dr.John Reyes			
Producto: General		Aprobado por:		Dr.John Reyes			
Cálculo del Factor de desempeño - Sistema Westinghouse							
Nº	Operador	Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia	Valoración	FD
D1	Femenino	0,06	0,02	0,02	0,01	0,11	1,11
D2	Femenino	0,02	0,05	0,02	0,01	0,1	1,1
D3	Femenino	0,02	0,05	0,02	0,01	0,1	1,1
D4	Femenino	0,02	0,05	0,02	0,01	0,1	1,1
FD: Factor de Desempeño							

Anexo 12. Factor de desempeño –Almacenaje

Estudio de tiempos - Factor de desempeño							
Proceso: Almacenaje		Elaborado por:		Jerami Zamora			
Máquinas: -		Revisado por:		Dr.John Reyes			
Producto: General		Aprobado por:		Dr.John Reyes			
Cálculo del Factor de desempeño - Sistema Westinghouse							
Nº	Operador	Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia	Valoración	FD
E1	Femenino						
E2	Femenino	0,03	0,02	0,02	0,03	0,1	1,1
E3	Femenino	0,03	0,02	0,02	0,03	0,1	1,1
FD: Factor de Desempeño							

Cálculo de suplementos

Anexo 13. Suplementos – Servicios iniciales

Estudio de tiempos - Cálculo de suplementos														
Proceso: Servicios iniciales				Elaborado por:				Jerami Zamora						
Máquinas: Recta / Tracadora				Revisado por:				Dr.John Reyes						
Producto: General				Aprobado por:				Dr.John Reyes						
Cálculo de holguras o suplementos (OIT)														
Nº	Sexo Operador	Constantes		Variables										S (%)
		Necesidades Personales	Fatiga	Por trabajar de pie	Postura anormal	Fuerza / energía muscular	Mala Iluminación	Condiciones Atmosféricas	Concentración intensa	Ruido	Tensión mental	Monotonía	Tedio	
A1	Femenino	7	4	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	18
A2	Femenino													
A3	Femenino	7	4	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	18
A4	Femenino	7	4	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	15
A5	Femenino													
A6	Femenino	7	4	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	15
A7	Femenino													
A8	Femenino	7	4	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	14
S: Total Suplementos														

Anexo 14. Suplementos – Lavado

Estudio de tiempos - Cálculo de suplementos														
Proceso: Lavado				Elaborado por:				Jerami Zamora						
Máquinas: Lavadora Rotativa				Revisado por:				Dr.John Reyes						
Producto: Tono industrial				Aprobado por:				Dr.John Reyes						
Cálculo de holguras o suplementos (OIT)														
Nº	Sexo Operador	Constantes		Variables										S (%)
		Necesidades Personales	Fatiga	Por trabajar de pie	Postura anormal	Fuerza / energía muscular	Mala Iluminación	Condiciones Atnosféricas	Concentración intensa	Ruido	Tensión mental	Monotonía	Tedio	
D-B1	Masculino													
D-B2	Masculino	5	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12
D-B3	Masculino	5	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12
D-B4	Masculino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
D-B5	Masculino	5	4	2	2	2	0	0	0	0	1	0	0	16
D-B6	Masculino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
D-B7	Masculino	5	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12
D-B8	Masculino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
S-B9	Masculino	5	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12

Estudio de tiempos - Cálculo de suplementos														
Proceso: Lavado				Elaborado por:				Jerami Zamora						
Máquinas: Lavadora Rotativa				Revisado por:				Dr.John Reyes						
Producto: Tono industrial				Aprobado por:				Dr.John Reyes						
Cálculo de holguras o suplementos (OIT)														
Nº	Sexo Operador	Constantes		Variables										S (%)
		Necesidades Personales	Fatiga	Por trabajar de pie	Postura anormal	Fuerza / energía muscular	Mala Iluminación	Condiciones Atmosféricas	Concentración intensa	Ruido	Tensión mental	Monotonía	Tedio	
S-B10	Masculino	5	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12
S-B11	Masculino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
S-B12	Masculino	5	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	12
S: Total Suplementos														

Anexo 15. Suplementos – Lavado (Centrifugado y Secado)

Estudio de tiempos - Cálculo de suplementos														
Proceso: Lavado				Elaborado por:				Jerami Zamora						
Máquinas: Centrifugadora - Secadora				Revisado por:				Dr.John Reyes						
Producto: General				Aprobado por:				Dr.John Reyes						
Cálculo de holguras o suplementos (OIT)														
N°	Sexo Operador	Constantes		Variables										S (%)
		Necesidades Personales	Fatiga	Por trabajar de pie	Postura anormal	Fuerza / energía muscular	Mala Iluminación	Condiciones Atnosféricas	Concentración intensa	Ruido	Tensión mental	Monotonía	Tedio	
B1	Masculino	5	4	2	0	2	0	0	0	2	1	0	0	16
B2	Masculino													
B3	Masculino	5	4	2	0	2	0	0	0	2	1	0	0	16
B4	Masculino	5	4	2	0	2	0	0	0	2	1	0	0	16
B5	Masculino													
B6	Masculino	5	4	2	0	2	0	0	0	2	1	0	0	16
B7	Masculino	5	4	2	0	2	0	0	0	2	1	0	0	16
B8	Masculino													
B9	Masculino	5	4	2	0	2	0	0	0	2	1	0	0	16
B10	Masculino													
S: Total Suplementos														

Anexo 16. Suplementos – Acabados

Estudio de tiempos - Cálculo de suplementos														
Proceso: Acabados				Elaborado por:				Jerami Zamora						
Máquinas: Remachadora - Botonera				Revisado por:				Dr.John Reyes						
Producto: General				Aprobado por:				Dr.John Reyes						
Cálculo de holguras o suplementos (OIT)														
Nº	Sexo Operador	Constantes		Variables										S (%)
		Necesidades Personales	Fatiga	Por trabajar de pie	Postura anormal	Fuerza / energía muscular	Mala Iluminación	Condiciones Atnosféricas	Concentración intensa	Ruido	Tensión mental	Monotonía	Tedio	
C1	Femenino	7	4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	15
C2	Femenino													
C3	Femenino	7	4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	15
C4	Femenino													
C5	Femenino	7	4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	15
C6	Femenino													
C7	Femenino	7	4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	15
C8	Femenino													
S: Total Suplementos														

Anexo 17. Suplementos – Planchado

Estudio de tiempos - Cálculo de suplementos														
Proceso: Planchado				Elaborado por:				Jerami Zamora						
Máquinas: Plancha industrial				Revisado por:				Dr.John Reyes						
Producto: General				Aprobado por:				Dr.John Reyes						
Cálculo de holguras o suplementos (OIT)														
Nº	Sexo Operador	Constantes		Variables										S (%)
		Necesidades Personales	Fatiga	Por trabajar de pie	Postura anormal	Fuerza / energía muscular	Mala Iluminación	Condiciones Atmosféricas	Concentración intensa	Ruido	Tensión mental	Monotonía	Tedio	
D1	Femenino	7	4	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	18
D2	Femenino	7	4	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	18
D3	Femenino	7	4	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	18
D4	Femenino	7	4	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	18
S: Total Suplementos														

Anexo 18. Suplementos – Almacenaje

Estudio de tiempos - Cálculo de suplementos														
Proceso: Almacenaje				Elaborado por:				Jerami Zamora						
Máquinas: -				Revisado por:				Dr.John Reyes						
Producto: General				Aprobado por:				Dr.John Reyes						
Cálculo de holguras o suplementos (OIT)														
Nº	Sexo Operador	Constantes		Variables										S (%)
		Necesidades Personales	Fatiga	Por trabajar de pie	Postura anormal	Fuerza / energía muscular	Mala Iluminación	Condiciones Atnosféricas	Concentración intensa	Ruido	Tensión mental	Monotonía	Tedio	
E1	Femenino													
E2	Femenino	7	4	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	18
E3	Femenino	7	4	4	1	1	0	0	0	0	1	0	0	18
S: Total Suplementos														

Cálculo del tiempo normal y estándar

Anexo 19. Tiempo normal y estándar – Servicios iniciales

Estudio de tiempos - Tiempo normal y tiempo estándar												
Proceso: Servicios iniciales						Elaborado por:		Jerami Zamora				
Máquinas: Recta / Tracadora						Revisado por:		Dr.John Reyes				
Producto: Tono General						Aprobado por:		Dr.John Reyes				
Nº	Ciclos					Cálculo de tiempo estándar						
	1	2	3	4	5	TOP (s)	TOP (min)	FD	TN (s)	S	Ts (s)	Ts (min)
	6	7	8	9	10							
A1	32,51	29,63	33,20	37,17	29,20	29,48	0,49	1,08	31,84	18,00	37,57	0,63
	29,20	37,43	33,74	28,13	32,72							
	28,16	28,15	31,36	21,58	22,43							
	27,71	25,66	31,69	26,14	23,85							
A2	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
A3	17,70	14,02	14,66	11,41	13,33	13,93	0,23	1,08	15,05	18,00	17,75	0,30
	14,75	12,00	15,33	13,20	13,88							
	13,20	18,54	14,48	12,21	16,30							
	11,85	14,96	10,24	11,62	14,94							
A4	7,50	6,92	6,63	6,45	5,25	6,72	0,11	1,13	7,60	15,00	8,74	0,15
	6,02	6,28	7,82	7,10	4,96							
	7,08	6,36	6,06	7,37	7,79							
	7,69	5,90	6,44	7,09	7,74							
A5	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
A6	31,97	33,49	28,73	28,27	38,65	34,29	0,57	1,10	37,72	15,00	43,37	0,72
	41,46	34,08	39,64	36,32	31,12							
	36,32	42,40	34,26	42,54	20,91							
	38,70	34,90	32,90	34,92	24,18							
A7	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
A8	8,46	9,22	10,69	8,07	7,69	8,72	0,15	1,05	9,15	14,00	10,44	0,17
	8,09	9,95	9,18	8,05	9,42							
	8,88	10,02	7,83	8,32	8,24							
	6,83	9,14	9,09	8,76	8,44							
TOTAL						93,14	1,55				117,87	1,96
TOP: Tiempo observado promedio FD: Factor de Desempeño TN: Tiempo Normal S: Suplementos Ts: Tiempo Estándar												

Anexo 20. Tiempo normal y estándar – Lavado

Estudio de tiempos - Tiempo normal y tiempo estándar												
Proceso: Lavado						Elaborado por:			Jerami Zamora			
Máquinas: Lavadora Rotativa						Revisado por:			Dr.John Reyes			
Producto: Tono industrial						Aprobado por:			Dr.John Reyes			
Nº	Ciclos					Cálculo de tiempo estándar						
	1	2	3	4	5	TOP (s)	TOP (min)	FD	TN (s)	S	Ts (s)	Ts (min)
	6	7	8	9	10							
D-B1	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
D-B2	83,67	76,26	85,44	95,66	75,13	83,23	1,39	1,08	89,89	12,00	100,68	1,68
D-B3	32,28	41,37	37,30	31,09	36,17	35,64	0,59	1,11	39,56	12,00	44,31	0,74
D-B4	135,80	135,75	151,25	104,06	108,19	127,01	2,12	1,00	127,01	1,00	128,28	2,14
D-B5	29,91	27,71	34,21	28,22	25,75	29,16	0,49	1,11	32,37	16,00	37,55	0,63
D-B6	1135,41	899,26	940,21	731,86	854,77	912,30	15,21	1,00	912,30	1,00	921,43	15,36
D-B7	49,24	40,07	51,16	44,07	46,31	46,17	0,77	1,08	49,86	12,00	55,85	0,93
D-B8	132,10	185,56	144,92	122,17	163,13	149,58	2,49	1,00	149,58	1,00	151,07	2,52
S-B9	49,21	62,13	42,53	48,24	62,02	52,83	0,88	1,08	57,05	12,00	63,90	1,06
S-B10	37,30	34,44	33,00	32,06	26,13	32,59	0,54	1,11	36,17	12,00	40,51	0,68
S-B11	489,44	510,78	635,69	576,97	403,59	523,29	8,72	1,00	523,29	1,00	528,53	8,81
S-B12	51,83	46,57	44,41	53,97	57,07	50,77	0,85	1,08	54,83	12,00	61,41	1,02
TOTAL						2042,57	34,04				2133,51	35,56
TOP: Tiempo observado promedio FD: Factor de Desempeño TN: Tiempo Normal S: Suplementos Ts: Tiempo Estándar												

Anexo 21. Tiempo normal y estándar – Lavado (Centrifugado y Secado)

Estudio de tiempos - Tiempo normal y tiempo estándar												
Proceso: Lavado						Elaborado por:		Jerami Zamora				
Máquinas: Centrifugadora - Secadora						Revisado por:		Dr.John Reyes				
Producto: General						Aprobado por:		Dr.John Reyes				
N°			Ciclos				Cálculo de tiempo estándar					
	1	2	3	4	5	TOP (s)	TOP (min)	FD	TN (s)	S	Ts (s)	Ts (min)
	6	7	8	9	10							
B1	104,44	124,04	107,33			111,94	1,87	1,13	126,49	16,00	146,73	2,45
B2	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
B3	589,20	649,28	610,45			616,31	10,27	1,00	616,31	16,00	714,92	11,92
B4	27,48	15,27	27,11			23,29	0,39	1,13	26,31	16,00	30,52	0,51

Estudio de tiempos - Tiempo normal y tiempo estándar												
Proceso: Lavado						Elaborado por:			Jerami Zamora			
Máquinas: Centrifugadora - Secadora						Revisado por:			Dr.John Reyes			
Producto: General						Aprobado por:			Dr.John Reyes			
Nº		Ciclos					Cálculo de tiempo estándar					
	1	2	3	4	5	TOP (s)	TOP (min)	FD	TN (s)	S	Ts (s)	Ts (min)
	6	7	8	9	10							
B5	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
B6	2462,21	2026,99	2258,41			2249,20	37,49	1,00	2249,20	16,00	2609,08	43,48
B7	22,58	24,71	26,32			24,54	0,41	1,13	27,73	16,00	32,16	0,54
B8	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
B9	498,43	433,50	550,93			494,29	8,24	1,13	558,54	16,00	647,91	10,80
B10	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
TOTAL						3519,56	58,66				4181,32	69,69
TOP: Tiempo observado promedio FD: Factor de Desempeño TN: Tiempo Normal S: Suplementos Ts: Tiempo Estándar												

Anexo 22. Tiempo normal y estándar – Acabados

Estudio de tiempos - Tiempo normal y tiempo estándar												
Proceso: Acabados						Elaborado por:			Jerami Zamora			
Máquinas: Remachadora / Botonera						Revisado por:			Dr.John Reyes			
Producto: General						Aprobado por:			Dr.John Reyes			
N°	Ciclos					TOP (s)	Cálculo de tiempo estándar					
	1	2	3	4	5		TOP (min)	FD	TN (s)	S	Ts (s)	Ts (min)
	6	7	8	9	10							
C1	17,60	16,04	16,31	12,14	16,83	13,92	0,23	1,11	15,45	15,00	17,76	0,30
	14,78	13,00	12,17	13,81	9,35							
	16,14	14,03	13,06	11,74	12,90							
	16,28	10,46	14,37	13,10	14,19							
C2	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
C3	18,57	16,62	13,53	13,82	17,28	15,64	0,26	1,11	17,36	15,00	19,96	0,33
	15,63	9,53	16,20	16,93	15,33							
	14,59	15,98	17,54	23,11	13,94							
	14,79	10,99	18,56	16,18	13,68							
C4	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
C5	41,32	26,86	39,37	32,13	43,33	36,05	0,60	1,12	40,38	15,00	46,43	0,77
	38,84	40,49	34,52	29,53	41,34							
	42,24	30,95	28,39	38,07	34,88							

Estudio de tiempos - Tiempo normal y tiempo estándar												
Proceso: Acabados						Elaborado por:			Jerami Zamora			
Máquinas: Remachadora / Botonera						Revisado por:			Dr.John Reyes			
Producto: General						Aprobado por:			Dr.John Reyes			
Nº		Ciclos					Cálculo de tiempo estándar					
	1	2	3	4	5	TOP (s)	TOP (min)	FD	TN (s)	S	Ts (s)	Ts (min)
	6	7	8	9	10							
	36,38	29,96	40,90	28,54	42,95							
C6	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
C7	12,01	12,31	12,10	8,38	9,47	11,62	0,19	1,12	13,05	15,00	15,01	0,25
	10,02	11,41	12,41	11,54	11,76							
	13,57	14,37	12,61	10,36	11,02							
	14,33	9,17	9,91	12,49	13,22							
C8	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
TOTAL						77,23	1,29				99,17	1,65
TOP: Tiempo observado promedio FD: Factor de Desempeño TN: Tiempo Normal S: Suplementos Ts: Tiempo Estándar												

Anexo 23. Tiempo normal y estándar – Planchado

Estudio de tiempos - Tiempo normal y tiempo estándar													
Proceso: Planchado						Elaborado por:			Jerami Zamora				
Máquinas: Plancha industrial						Revisado por:			Dr.John Reyes				
Producto: General						Aprobado por:			Dr.John Reyes				
N°		Ciclos					Cálculo de tiempo estándar						
	1	2	3	4	5	TOP (s)	TOP (min)	FD	TN (s)	S	Ts (s)	Ts (min)	
	6	7	8	9	10								
D1	72,32	63,93	81,65	73,56	61,50	70,26	1,17	1,11	77,99	18,00	92,02	1,53	
	73,50	61,93	64,35	61,45	61,24								
	60,42	73,70	87,76	63,97	78,17								
	61,81	68,52	88,79	65,65	80,95								
D2	21,13	18,96	33,38	24,13	25,15	23,27	0,39	1,10	25,60	18,00	30,21	0,50	
	20,66	21,76	20,24	24,94	26,26								
	26,27	26,14	21,62	24,90	23,66								
	22,21	23,61	20,65	20,45	19,33								
D3	9,98	9,51	9,14	9,35	10,37	8,64	0,14	1,10	9,50	18,00	11,21	0,19	
	9,11	8,23	5,50	9,42	7,69								
	10,75	7,80	8,45	9,40	8,75								
	7,71	8,18	6,79	8,33	8,29								
D4	8,75	6,49	7,13	6,08	6,39	7,12	0,12	1,10	7,83	18,00	9,24	0,15	
	6,85	6,46	8,40	7,07	8,30								

	7,26	4,59	7,06	8,36	7,90							
	6,25	6,43	8,38	7,48	6,67							
TOTAL						109,28	1,82			142,68	2,38	
TOP: Tiempo observado promedio FD: Factor de Desempeño TN: Tiempo Normal S: Suplementos Ts: Tiempo Estándar												

Anexo 24. Tiempo normal y estándar – Almacenaje

Estudio de tiempos - Tiempo normal y tiempo estándar												
Proceso: Almacenaje						Elaborado por:			Jerami Zamora			
Máquinas: -						Revisado por:			Dr.John Reyes			
Producto: General						Aprobado por:			Dr.John Reyes			
Nº	Ciclos					Cálculo de tiempo estándar						
	1	2	3	4	5	TOP (s)	TOP (min)	FD	TN (s)	S	Ts (s)	Ts (min)
	6	7	8	9	10							
E1	Calculado dinámicamente por el software FlexSim											
E2	26,62	25,27	20,75	31,90	21,33	25,43	0,42	1,10	27,98	18,00	33,01	0,55
	28,44	23,00	25,29	24,48	33,43							
	26,69	20,38	25,96	21,72	23,82							
	24,42	21,30	30,90	22,51	20,29							
	25,06	28,90	24,27	23,35	26,14							
	26,54	25,07	24,00	32,06	25,56							
	19,20	29,44	28,10	24,83	30,32							
	28,00	26,40	22,99	25,28	23,38							
E3	8,11	6,83	8,38	5,84	8,21	7,83	0,13	1,10	8,62	18,00	10,17	0,17
	8,05	6,39	7,33	8,14	7,49							
	9,01	7,51	7,63	8,47	7,42							
	8,96	8,07	9,32	6,53	8,50							
	7,72	8,66	7,94	7,60	6,62							
	7,30	6,62	9,72	11,57	6,04							
	8,40	6,93	8,55	7,22	9,32							
	7,49	6,60	7,89	7,53	7,44							
TOTAL						33,27	0,55				43,18	0,72
TOP: Tiempo observado promedio FD: Factor de Desempeño TN: Tiempo Normal S: Suplementos Ts: Tiempo Estándar												