



**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LICOR
ESCARCHADO, MEDIANTE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS CON
FLEXSIM, EN LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA.**

**Kevin Antonio Pillimue Ponce
Nicolás Camilo Muñoz Mur**

**Corporación Universitaria Comfacaucá – Unicomfacaucá
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial
Popayán – Cauca
2025**

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LICOR
ESCARCHADO, MEDIANTE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS CON
FLEXSIM, EN LA INDUSTRIA LICORERA DEL CAUCA.**

**Kevin Antonio Pillimue Ponce
Nicolás Camilo Muñoz Mur**

Proyecto de Grado en Ingeniería Industrial

**Director del Proyecto:
MSc., Diego Fernando Sarria**

**Evaluador del Proyecto:
MSc., Nelson Paz Ruiz**

**Corporación Universitaria Comfacaucá – Unicomfacaucá
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial
Popayán – Cauca
2025**

SUSTENTADO Y APROBADO POR LOS SIGUIENTES JURADOS:

DIEGO FERNANDO SARRIA
DIRECTOR

JURADO 1

JURADO 2

JURADO 3

Agradecimientos

En primer lugar, doy gracias a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarnos en el camino correcto durante la realización de esta tesis. Su luz fue mi inspiración en los momentos de desafío, permitiéndome alcanzar esta meta con perseverancia y fe.

A nuestro asesor Diego Fernando Sarria, así como a los docentes que nos brindaron su respaldo, por ser quienes orientaron nuestro trabajo y contribuyeron al logro de los objetivos propuestos.

A la Corporación universitaria Comfacauca Unicomfacauca y Facultad de Ciencias y Humanidades, por ofrecernos la oportunidad de formarnos profesionalmente, permitiéndonos acceder a una educación universitaria de calidad y prepararnos para enfrentar los retos de nuestra carrera.

A la empresa Industria Licorera del Cauca, por facilitar el acceso a sus procesos y mostrarse siempre transparentes y colaboradores, lo que permitió el adecuado desarrollo y culminación de nuestro proyecto de tesis.

Contenido:

Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción	9
Capítulo 1.	13
1.1 Formulación y Planteamiento del Problema	13
1.2 Justificación	16
Capítulo 2.	17
2.1 Marco Conceptual	17
2.2 Antecedentes	22
2.3 Marco Normativo	24
Capítulo 3.	26
3. Metodología.....	26
Capítulo 4.	28
4. Resultados Primera Fase	28
4.1 Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Licor Escarchado:	28
4.2 Variables Críticas Identificadas en el Proceso:	30
4.3 Matriz de Priorización de Variables Críticas Identificadas en el Proceso:	31
4.4 Mapeo del Flujo de Valor (Value Stream Mapping)	34
Capítulo 5.	42
5. Resultados Segunda Fase	42
5.1 Muestreo para la Toma de Datos	43
5.2 Análisis del Tipo de Distribución Estadística	46
5.3 Validación Estadística del Ajuste a Distribución Normal.....	48
5.4 Formulación del Modelo de Simulación de Eventos Discretos:	62
5.5 Implementación del Modelo en Simulación de Eventos Discretos	67
Capítulo 6.	73
6. Resultados Tercera Fase	73
6.1 Validación del Modelo de Simulación del Proceso de Licor Escarchado:	73
6.2 Análisis del Modelo de Simulación del Proceso Productivo Actual	76

Capítulo 7.	82
6. Resultados Cuarta Fase	82
6.1 Primer Escenario: Mejora en el Aprovechamiento de Materia Prima.....	82
6.2 Segundo Escenario: Mejora en el Proceso de Etiquetado	85
6.3 Análisis Costo - Beneficio.....	89
Conclusiones	95
Futuras Investigaciones	96
Recomendaciones	97
Anexos.....	98
Bibliografía.....	105

Lista de Tablas:

Tabla 1. Situación Actual de Operación de las Licoreras del País. Fuente: [10].	10
Tabla 2. Marco Normativo. Fuente: Propia	25
Tabla 3. Método de Recolección y Análisis de Datos. Fuente: Propia	26
Tabla 4. Matriz de Priorización de Variables Críticas. Fuente Propia.	32
Tabla 5. Métricas del VSM (Valué Stream Mapping) inicial. Fuente: Propia.	36
Tabla 6. Demanda Diaria. Fuente: Propia.	37
Tabla 7. Tiempos por Proceso. Fuente: Propia	38
Tabla 8. Descripción del Tiempo del Proceso. Fuente: Propia.	39
Tabla 9. Takt Time de Producción. Fuente: Propia.	39
Tabla 10. Cálculo de Numero de Observaciones. Fuente:	43
Tabla 11. Lectura de Datos para Cantidad de Tomas por Proceso. Fuente:[38]	44
Tabla 12. Análisis de Datos con un 95% de Intervalo de Confianza. Fuente: Propia.	44
Tabla 13. Intervalos de Confianza del 90%, 95% y 99% para Cada Proceso. Fuente: Propia	45
Tabla 14. Tipo de distribución. Fuente: Propia.....	47
Tabla 15. Registro de Datos. Fuente: Propia.....	48
Tabla 16. Prueba de Hipótesis. Fuente: [39].....	49
Tabla 17. Resultados del Test K-S del Proceso Mezclado (Tanques). Fuente: Propia	50
Tabla 18. Resultados del Test K-S del Proceso Mezclado (Azúcar). Fuente: Propia	51
Tabla 19. Resultados del Test K-S del Proceso Mezclado (Marmita). Fuente: Propia	53
Tabla 20. Resultados del Test K-S del Proceso de Dosificado. Fuente: Propia	55
Tabla 21. Resultados del Test K-S del Proceso de Lavado y Tapado. Fuente: Propia	56
Tabla 22. Resultados del Test K-S del Proceso de Etiquetado. Fuente: Propia	58

Tabla 23. Resultados del Test K-S del Proceso de Marcado. Fuente: Propia	60
Tabla 24. Resultados del Test K-S del Proceso de Empacado. Fuente: Propia	61
Tabla 25. Parametrización del Modelo. Fuente: Propia.	69
Tabla 26. Definición de Procesos y Tiempos de Espera. Fuente: Propia.	69
Tabla 27. Recueros utilizados en el modelo. Fuente: Propia.	69
Tabla 28. Validación del Tiempo de Ciclo. Fuente: Propia	75
Tabla 29. Costos de la Primera Mejora. Fuente: Propia.	90
Tabla 30. Costos de la Segunda Mejora. Fuente: Propia.	92
Tabla 31. Variables Críticas del Proceso. Fuente: Propia.....	101

Lista de Figuras:

Figura 1. Análisis de Pareto. Fuente: Propia	15
Figura 2. Source. Fuente: [20]	19
Figura 3. Processor. Fuente: [20].....	20
Figura 4. Combiner. Fuente: [20]	20
Figura 5. Queue. Fuente: [20]	20
Figura 6. Operator. Fuente: [20].....	21
Figura 7. ItemToFluid. Fuente: [20]	21
Figura 8. FluidToItem. Fuente: [20]	21
Figura 9. Fluid Pipe. Fuente: [20].....	22
Figura 10. Diagrama de Flujo del Proceso de la Línea de Escarchado. Fuente: Propia.	29
Figura 11. Variables de priorización. Fuente: Propia.	34
Figura 12. VSM (Value Stream Mapping). Fuente: Propia.	41
Figura 13. Fotos del Proceso de Producción de Licor Escarchado. Fuente: Industria Licorera del Cauca.	42
Figura 14. Gráfico de Intervalo de Confianza del 95%. Fuente: Propia.	45
Figura 15. Dispersión de los Datos con Distintos Intervalos de Confianza. Fuente: Propia.	46
Figura 16. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado (Tanques). Fuente: Propia.	50
Figura 17. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado (Azúcar). Fuente: Propia ...	52
Figura 18. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado (Marmita). Fuente: Propia..	54
Figura 19. Gráfico de Distribución Proceso de Dosificación. Fuente: Propia.....	55
Figura 20. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado de Lavado y Tapado. Fuente: Propia	57
Figura 21. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado de Etiquetado. Fuente: Propia	59
Figura 22. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado de Marcado. Fuente: Propia	60

Figura 23. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado de Empacado. Fuente: Propia	62
Figura 24. Diagrama de Recorrido. Fuente: Propia.	63
Figura 25. Planos en 2D del Proceso de Producción. Fuente: Propia	64
Figura 26. Planos en 3D del Proceso de Producción. Fuente: Propia.	65
Figura 27. Visualización de Toda el Área en 3D del Proceso de Producción. Fuente: Propia.	66
Figura 28. Plano de Simulación Línea de Producción. Fuente: Propia.	68
Figura 29. Área de Esencia, Azúcar, Alcohol y Agua. Fuente: propia.....	71
Figura 30. Área de Lavado y tapado (Multiprocesor). Fuente: Propia.....	72
Figura 31. Proceso de Embalaje Simulado. Fuente: propia.....	72
Figura 32. Validación de Tiempo de Turno Start Time y Stop Time. Fuente: Propia	73
Figura 33. Análisis de Tiempo de Ciclo. Fuente: Propia	74
Figura 34. Dashboard de la Salida de Producto para la Fabricación del Jarabe. Fuente: Propia.	76
Figura 35. Dashboard de Ocupación los Procesos. Fuente: Propia.	76
Figura 36. Dashboard de Rendimiento, Tiempo y Item del Recolector de Fluidos. Fuente: Propia.	78
Figura 37. Dashboard de Rendimiento, Tiempo y Ocupación del Proceso de Lavado y Tapado. Fuente: Propia.	78
Figura 38. Dashboard del Proceso de Etiquetado. Fuente: Propia.	79
Figura 39. Dashboard del día Cuatro de Producción Rendimiento, Tiempo, Ocupación (Etiquetado). Fuente: Propia.....	80
Figura 40. Simulación del Quinto día de Producción. Fuente: Propia.....	81
Figura 41. Dashboard de Tiempo, Rendimiento y Ocupación en el Proceso de Marcado y Empacado. Fuente: Propia.....	81
Figura 42. Primer Escenario de Mejora. Fuente: Propia.	83
Figura 43. Porcentaje de Ocupación por Cada Proceso Mejora vs Actual. Fuente: Propia.	83

Figura 44. Tiempo de Stop Times Mejora vs Actual. Fuente: Propia.	85
Figura 45. Escenario de Mejora, Implementación de Etiquetadora. Fuente: propia.	86
Figura 46. Máquina de Etiquetadora Semiautomática. Fuente: [24]	86
Figura 47. Ocupación del Proceso de Etiquetado, Actual vs Mejora. Fuente: Propia.	87
Figura 48. Stop Times del Proceso de Etiquetado, Actual vs Escenario Mejora. Fuente: Propia.	88
Figura 49. Tiempo de Cada Unidad en Reducción. Fuente: Propia.....	89

Resumen

En el contexto de la transición hacia la Industria 4.0, la simulación se posiciona como una herramienta esencial para optimizar procesos productivos. Al crear modelos digitales de procesos, productos y sistemas, permite evaluar escenarios sin alterar el entorno real, mejorando la toma de decisiones y reduciendo riesgos operativos. Tecnologías como Big Data, IoT, Inteligencia Artificial y Machine Learning complementan la simulación, potenciando su capacidad predictiva y analítica para optimizar estaciones de trabajo y cadenas productivas.

En Colombia, empresas como la Industria Licorera del Cauca enfrentan barreras para implementar estas tecnologías, dependiendo de pruebas físicas que son costosas y riesgosas. Esto limita su capacidad para identificar y resolver cuellos de botella, afectando la eficiencia, los costos y la calidad del producto final. En particular, la línea de producción de Licores Escarchados se ve afectada por la falta de sistemas precisos para optimizar el flujo de trabajo y los recursos.

Ante este panorama, se propone implementar la simulación como herramienta clave para optimizar este proceso. El uso de modelos digitales permitirá analizar mejoras sin modificar la planta física, reduciendo riesgos y costos. Además, contribuirá a mejorar la productividad, reducir tiempos y minimizar el desperdicio de materiales como alcohol y envases. Esta iniciativa no solo incrementará la competitividad y sostenibilidad de la empresa, sino que también la acercará a los estándares de la Industria 4.0, fortaleciendo su posición en el mercado global.

Palabras Claves: Optimización, Simulación de eventos discretos, Lean Manufacturing, Value Stream Mapping (VSM), FlexSim, Cuellos de Botellas.

Abstract

In the context of the transition to Industry 4.0, simulation is positioned as an essential tool for optimizing production processes. By creating digital models of processes, products, and systems, it allows for the evaluation of scenarios without altering the real environment, improving decision-making and reducing operational risks. Technologies such as Big Data, IoT, Artificial Intelligence, and Machine Learning complement simulation, enhancing its predictive and analytical capacity to optimize workstations and production chains.

In Colombia, companies such as the Cauca Liquor Industry face barriers to implementing these technologies, relying on expensive and risky physical tests. This limits their ability to identify and resolve bottlenecks, affecting efficiency, costs, and the quality of the final product. In particular, the frozen liquor production line is affected by the lack of precise systems to optimize workflow and resources.

Given this scenario, it is proposed to implement simulation as a key tool to optimize this process. The use of digital models will allow for analyzing improvements without modifying the physical plant, reducing risks and costs. In addition, it will contribute to improving productivity, reducing time, and minimizing waste of materials such as alcohol and packaging. This initiative will not only increase the company's competitiveness and sustainability but also bring it closer to Industry 4.0 standards, strengthening its position in the global market.

Key words: Optimization, Discrete Event Simulation, Lean Manufacturing, Value Stream Mapping (VSM), FlexSim, Bottlenecks.

Introducción

En 1967 se fundó el WSC (Winter Simulation Conference), lugar donde desde entonces y hasta ahora se archivan los lenguajes de simulación y aplicaciones derivadas, siendo en la actualidad el referente en lo que, a avances en el campo de los sistemas de simulación, este periodo se desarrollaron avanzadas herramientas de modelado y de análisis de resultados [1].

La simulación digital es una técnica que nos permite imitar (o simular) en un ordenador el comportamiento de un sistema físico o teórico según ciertas condiciones particulares de operación. Actualmente se tienen distintos softwares que nos permite simular como: Delmia Quest, Arena, Witness, FlexSim, entre otros [2].

Los eventos discretos es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado [3]. Los procesos industriales, basada en la técnica de simulación de eventos discretos, es una técnica informativa que permite crear modelos dinámicos de una fabricación o de un sistema logístico, que posteriormente servirán para analizar el comportamiento de ese modelo en diferentes circunstancias, analizando los posibles cambios y sus consecuencias, de tal manera que permite comprobar las hipótesis antes de implementarlas en la realidad [4].

Es importante destacar que la competitividad de una compañía perteneciente al sector de la manufactura está condicionada por la eficiencia de sus procesos, esto supone un desafío permanente que requiere de un continuo análisis y evaluación de cada fase del proceso [5], adicionalmente como lo manifiestan Orozco y Cervera (2013), “las compañías a nivel mundial han optado por incluir, dentro de su planeación estratégica: la correcta disposición del espacio físico disponible para sus operaciones, debido a que es punto neurálgico que impacta la competitividad de los negocios” [6].

La redistribución de una línea de producción en planta es una estrategia que puede mejorar significativamente la eficiencia del proceso para licores. Según Febres & Ochoa (2010), la simulación con software como FlexSim puede ser una herramienta muy útil para verificar la eficiencia de los cambios en el proceso de fabricación sin incurrir en costos reales. La simulación permite a los ingenieros y gerentes de producción modelar el proceso de fabricación actual y proponer cambios para evaluar su impacto en la eficiencia y el rendimiento. Al utilizar la simulación, se pueden identificar cuellos de botella en el proceso, ajustar los tiempos de ciclo,

rediseñar la distribución de la planta y experimentar con otras variables del proceso para optimizar la producción [7].

Con el pasar de los años, Colombia se ha destacado por su capacidad para transformarse y adaptarse a las exigencias del entorno, con ventajas comparativas producto de su posición geográfica e inigualables recursos naturales, que, sumado a la calidez de su gente, lo han hecho un país prometedor no solo para la inversión nacional, sino extranjera [8].

La producción industrial en Colombia se ha venido desarrollando con una visión de prospectiva, que integra a los diferentes actores de los encadenamientos productivos, especialmente, a las micro, pequeñas y medianas empresas, que constituyen el 80% del empleo en el país y el 90% del sector productivo nacional según cifras del Departamento Administrativo Nacional de Estadística [9].

Dentro del entorno actual de mercado, los departamentos presentan la siguiente situación en cuanto a la producción de licores con marcas propias:

Tabla 1. Situación Actual de Operación de las Licoreras del País. Fuente: [10].

No.	LICORERA	PRODUCCION DIRECTA	PRODUCCION EN CONCESION	MAQUILA	SIN PRODUCCION	No. CONVENIOS CON OTROS DEPARTAMENTOS ^{1/}
1.	ANTIOQUIA	X				6
2.	CALDAS	X				8
3.	CUNDINAMARCA	X				19
4.	VALLE	X				1
5.	TOLIMA	X				3
6.	HUILA	X	X			
7.	NARIÑO	X				
8.	BOYACA	X				
9.	CAUCA	X				
10.	CAQUETA	X				4
11.	BOLIVAR		X			5
12.	MAGDALENA			BOLIVAR		
13.	NORTE DE SANTANDER			CALDAS		
14.	SANTANDER			CUNDINAMARCA		
15.	META			CUNDINAMARCA		
16.	PUTUMAYO			CALDAS		
17.	CHOCO			CALDAS		
18.	CORDOBA				X	
19.	ATLANTICO				X	

Desde hace casi una década, la Industria Licorera del Cauca (ILC) ha podido sostener los reconocimientos Monde Selection y Premio al sabor superior del Instituto Internacional de Sabor y Calidad – iTQi. Instituciones internacionales que certifican la calidad de los productos, abriendo la senda para estar entre los mejores del mundo. Como sucedió en el 2017, en este año la ILC logró esta distinción en

todos sus productos: aguardiente tradicional y sin azúcar; las tres modalidades de escarchados y el Ron Gorgona [10].

La empresa ha desarrollado una línea de licor escarchado como parte de su estrategia para diversificar su portafolio de productos, captar nuevos segmentos de consumidores y fortalecer su economía interna. Al tratarse de una referencia novedosa dentro de su catálogo, su implementación ha implicado la incorporación de nuevos procesos productivos, los cuales requieren análisis técnico y optimización. En este contexto, el presente proyecto se enfoca en el estudio y mejora de dichos procesos dentro de la Industria Licorera del Departamento del Cauca, con el fin de garantizar eficiencia operativa, calidad en el producto final y sostenibilidad en el tiempo.

Este estudio se enmarca en el análisis y optimización del proceso productivo de la Industria Licorera del Departamento del Cauca, a través del uso de la simulación de eventos discretos como herramienta para modelar y evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas haciendo uso del software FlexSim. La finalidad es mejorar la eficiencia de los procesos mediante la identificación de cuellos de botella, el rediseño de la distribución en planta y la evaluación de escenarios que permitan aumentar el rendimiento sin incurrir en costos innecesarios. La simulación computacional, apoyada en software especializado, facilita la toma de decisiones fundamentadas, permitiendo validar hipótesis antes de implementarlas en el entorno real. Esta intervención responde a la necesidad de fortalecer la competitividad y sostenibilidad de la industria regional en un mercado cada vez más exigente.

Objetivos

Objetivo General

Proponer un modelo de optimización para el proceso productivo de Licor Escarchado en la Industria Licorera del Cauca, a través de la simulación de eventos discretos en el entorno FlexSim.

Objetivos Específicos

- Identificar los factores críticos que afectan la eficiencia del proceso productivo de Licor Escarchado, evaluando los procesos actuales para detectar cuellos de botella y áreas de oportunidad.

- Desarrollar un modelo de simulación de eventos discretos con FlexSim que represente de manera precisa los procesos productivos actuales de Licor Escarchado.
- Validar el modelo de simulación mediante la comparación de los resultados obtenidos con datos reales de producción, garantizando su precisión como herramienta de análisis y toma de decisiones.
- Diseñar dos escenarios de simulación orientados a optimizar el desempeño del proceso productivo de Licor Escarchado.

Organización del Documento

El documento está conformado por siete capítulos. En el capítulo 1 se presenta la formulación del problema, donde se contextualiza la situación actual que enfrenta la Industria Licorera del Cauca en el proceso de licor escarchado. Allí se expone la pregunta de investigación, acompañada de la justificación que respalda la viabilidad del proyecto. El capítulo 2 contiene el marco conceptual, en el cual se desarrollan los conceptos clave necesarios para comprender la investigación. Además, se incluye una revisión de la literatura, correspondiente al estado del arte, que recoge investigaciones previas que aportaron insumos valiosos para el desarrollo del proyecto. También se presenta un marco normativo que evidencia las leyes, decretos y resoluciones aplicables al producto.

En el capítulo 3 se expone el diseño metodológico de la investigación, detallando las fases establecidas para alcanzar los objetivos propuestos. A partir del capítulo 4 y hasta el capítulo 7 se encuentran los resultados correspondientes a cada una de las fases planteadas en el diseño metodológico. El capítulo 4 abarca la recolección de datos y presenta los resultados obtenidos mediante herramientas como el diagrama de flujo, el análisis de variables críticas y el mapeo de la cadena de valor (Value Stream Mapping). En el capítulo 5 se desarrolla la construcción del modelo de simulación. Posteriormente, el capítulo 6 aborda la validación de dicho modelo. Finalmente, el capítulo 7 contiene los escenarios de mejora propuestos, acompañados de un análisis de costo-beneficio para cada uno de ellos.

Al final del documento se presentan las conclusiones, las posibles líneas de investigación futura, las recomendaciones derivadas del estudio, así como los anexos y la bibliografía utilizada.

Capítulo 1.

1.1 Formulación y Planteamiento del Problema

Con unos ingresos generados de aproximadamente 205.000 millones de dólares estadounidenses en el año 2023, China fue el país líder dentro del mercado mundial de bebidas alcohólicas. Estados Unidos y Japón, que tuvieron unos ingresos alrededor de 180.000 y 60.000 millones de dólares gracias a estos productos de Licor tales como la cerveza, vinos, tequilas, vodkas y entre otros, se situaron en segunda y tercera posición respectivamente. [11]

Enfocándonos en los países latinoamericanos, en 2022 Colombia exportó Licores por un valor aproximado de 31,6 millones de dólares. Los principales destinos de estas exportaciones fueron Estados Unidos, Polonia y España, con valores cercanos a los 4,72 millones de dólares, 4,43 millones de dólares y 3,84 millones de dólares, respectivamente. Este volumen de exportaciones es de gran importancia para el país. [12]

Entre enero y mayo de 2022, 28 empresas nacionales de 10 departamentos exportaron un total de USD 10 millones a 21 países, lo que representa un aumento del 34 % en comparación con el mismo período del año anterior, cuando las exportaciones alcanzaron los USD 7,4 millones, según datos del Dane analizados por ProColombia.

Los países con mayor participación en estas importaciones fueron Ecuador, que experimentó un crecimiento superior al 250 %; Estados Unidos, con un aumento del 15,4 %; España, con un notable incremento del 1.136 %; Perú, que creció un 106,5 %; y Chile, con un aumento del 365 %. [13]

En el análisis de actividad exportadora de Colombia, los departamentos con mayor participación fueron Antioquia, Valle del Cauca, Cauca, Cundinamarca, Caldas, Bogotá, Quindío, Atlántico, Magdalena, Bolívar y Tolima. Entre los productos de mayor demanda en mercados internacionales sobresalieron Licores como el anís, ron, cerveza de malta y whisky, destacándose en su proyección internacional.

Particularmente, el departamento del Cauca se posicionó con una gama de productos diferenciados, como el Aguardiente Caucaño Tradicional, el Aguardiente Caucaño Sin Azúcar, los Escarchados de Anís y Menta y el Ron Gorgona. Estos productos fueron reconocidos por su calidad en Monde Selection, logrando el sello de oro y dos estrellas, mientras que el Licor Escarchado de Curacao obtuvo el sello Silver y una estrella en esta misma entidad. En 2017, estos productos alcanzaron

un desempeño comercial destacado, logrando la venta de aproximadamente 4 millones de botellas y generando ingresos superiores a los \$35 mil millones.

Esta dinámica refleja la creciente competitividad de la industria Licorera del Cauca en el contexto global, respaldada por estándares de calidad y estrategias de diversificación de productos que potencian su éxito en los mercados internacionales.

La Industria Licorera del Cauca, referente en la producción de Licores colombianos, presenta una oportunidad de mejora sustancial en su proceso de Escarchado. A pesar de su trayectoria y reconocimiento, este proceso crítico adolece de ineficiencias que afectan la productividad y la calidad del producto final. La principal ineficiencia del proceso radica en su elevada dependencia de operaciones manuales, que representan el 80% del proceso productivo. Para fabricar un lote estimado de 1,440 unidades de licor escarchado, se requieren insumos como 1,440 envases, tapas y etiquetas, 120 cajas, 450 kg de azúcar, 2,880 unidades de ramas, 225 litros de alcohol, 300 ml de esencia, 140 gramos de colorante y 210 litros de agua purificada. Sin embargo, debido al alto componente de trabajo humano en actividades como el dosificado, etiquetado y empaque, se genera un desperdicio del 2.15%, lo que reduce la producción final a solo 1,428 unidades. La falta de estandarización y la variabilidad en las condiciones de operación generan demoras y una calidad inconsistente, en el caso del licor, al finalizar la etapa de dosificado, se han detectado variaciones en el porcentaje de alcohol que superan el rango aceptable establecido (entre 35% y 37%). Implementar un enfoque de ingeniería, mediante la optimización de los flujos de trabajo y la definición de estándares claros, permitirá maximizar la eficiencia y asegurar la uniformidad del producto Escarchado.

En la producción de Licores Escarchados de la Industria Licorera del Cauca, se enfrenta un problema significativo de desperdicio de materiales, específicamente en el manejo de envases y alcohol. Aplicando el principio de Pareto, que señala que una gran parte de las pérdidas se concentra en un número reducido de factores clave, se ha identificado que estos dos materiales representan los mayores volúmenes de desperdicio en el proceso. Este hallazgo implica que el impacto en los costos y la eficiencia operativa está concentrado en estos factores, lo cual exige intervenciones precisas para mejorar la rentabilidad y reducir la ineficiencia (Ver Figura 1).

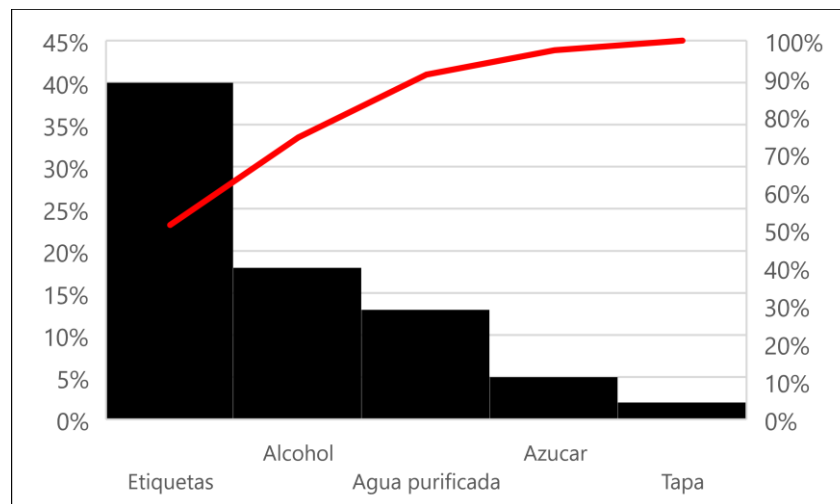


Figura 1. Análisis de Pareto. Fuente: Propia

Desde la perspectiva del Lean Thinking, se desea minimizar los desperdicios y maximizar el valor agregado en cada etapa del proceso. En el caso analizado, las etiquetas presentan un 40% de desperdicio, como se observa en el eje Y, concentrado principalmente en la etapa de etiquetado. Este proceso es completamente artesanal, lo que exige que los operarios coloquen las etiquetas de manera centrada en las botellas, una tarea propensa a errores debido a su dependencia de la precisión humana. La implementación de tecnología, como sistemas de etiquetado automatizado, permitiría reducir defectos y mermas al garantizar una colocación precisa y consistente.

En el caso del alcohol, el 18% de desperdicio mostrado en el (eje Y) de la Figura1 no solo impacta negativamente en los costos, sino que también representa un riesgo operativo debido a su alta inflamabilidad y volatilidad. Las pérdidas generadas por evaporación o derrames reflejan problemas la calidad del producto, que se podría mejorar a través de un rediseño en los sistemas de almacenamiento y dosificación. Este rediseño optimizaría los tiempos de entrega y reduciría la variabilidad, mejorando la seguridad en el manejo de este material sensible.

La producción actual, al depender mayormente de procesos manuales, presenta porcentajes de desperdicio de material que afectan directamente la rentabilidad, la consistencia en la calidad del producto y la eficiencia operativa.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera la simulación de eventos discretos con el software FlexSim puede contribuir a optimizar la eficiencia del proceso productivo de Licor Escarchado en la Industria Licorera del Cauca?

1.2 Justificación

La Industria Licorera del Cauca enfrenta importantes desafíos en su línea de producción de licor escarchado, entre ellos la alta dependencia de operaciones de trabajo humano, que representa el 80% del proceso. Esta situación genera un desperdicio del 2.15% en materiales como alcohol y envases, lo que evidencia una baja eficiencia operativa y oportunidades de mejora en estandarización y calidad. De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la automatización de procesos puede reducir hasta en un 30% los desperdicios, al tiempo que mejora la consistencia en la calidad del producto final [14].

La falta de control en parámetros críticos, como la variabilidad en el porcentaje de alcohol del producto final, refuerza la necesidad de una mayor estandarización. En este sentido, la FAO destaca que la implementación de tecnologías de control de procesos es fundamental para corregir deficiencias y garantizar el cumplimiento de estándares sanitarios y de calidad [15]. Esto no solo permite entregar un producto homogéneo, sino que también minimiza el riesgo de pérdidas económicas derivadas de reprocesos o productos fuera de especificación.

Frente a este panorama, el uso de herramientas de simulación como FlexSim se consolida como una estrategia viable para la optimización de procesos sin necesidad de intervenir directamente en el entorno físico. Según el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), la simulación en procesos industriales puede reducir los costos de producción hasta en un 20%, ya que facilita la toma de decisiones basadas en datos y reduce las pérdidas asociadas a la experimentación empírica [16].

Más allá de la mejora técnica, este tipo de iniciativas contribuye a una industria más sostenible. La FAO ha señalado que la reducción del desperdicio de materias primas en procesos de producción es esencial para disminuir el impacto ambiental y aumentar la rentabilidad de las empresas agroindustriales [17].

Por último, este proyecto también fortalece las competencias tecnológicas de los profesionales en formación, al alinearse con los objetivos de modernización industrial propuestos por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, que promueve la implementación de tecnologías digitales para mejorar la competitividad empresarial [18].

En conjunto, estos argumentos evidencian que el desarrollo del presente proyecto no solo responde a necesidades internas de la empresa, sino que también sienta las bases para su modernización tecnológica, alineándose con estándares globales, prácticas sostenibles y exigencias del mercado internacional.

Capítulo 2.

2.1 Marco Conceptual

- **Simulación de eventos discretos**

La simulación de eventos discretos es una técnica de modelado y análisis utilizado en la ingeniería, la ciencia y la gestión de operaciones para simular sistemas complejos y dinámicos. La simulación de eventos discretos se basa en la idea de que el sistema se puede representar como una serie de eventos discretos, y que el comportamiento del sistema depende de cómo estos eventos interactúan entre sí [19].

Para llevar a cabo una simulación de eventos discretos, se debe construir un modelo detallado del sistema que se desea simular, incluyendo las entidades del sistema, los eventos que ocurren y las relaciones entre ellos. El modelo se ejecuta en un software de simulación que permite realizar experimentos y analizar los resultados. La simulación de eventos discretos se utiliza ampliamente en la optimización de procesos y sistemas en diversas áreas, como la logística, la fabricación, la atención médica y el transporte. Por ejemplo, en la logística, se puede utilizar la simulación de eventos discretos para analizar la eficiencia de la cadena de suministro, incluida la planificación del transporte y la gestión del inventario.

Uno de los principales beneficios de la simulación de eventos discretos es que permite evaluar diferentes escenarios y estrategias sin poner en riesgo el sistema real [20]. Esto es especialmente útil en situaciones en las que la experimentación en el mundo real puede ser costosa, peligrosa o simplemente imposible. La simulación de eventos discretos también permite realizar análisis de sensibilidad para evaluar cómo los cambios en los parámetros del sistema pueden afectar los resultados.

- **Licor Escarchado**

Es una técnica avanzada de destilado y un cuidadoso proceso de cristalización del azúcar que se aplica en cada botella de Escarchado de menta, anís y Curaçao. Este producto, caracterizado por su alto contenido de azúcares y su diseño único y agradable, presenta un contenido alcohólico de 29% en volumen a 20 °C. Su presentación está disponible en envases de 375 ml [21].

- **Optimización**

La optimización de procesos es la disciplina que adapta continuamente los procesos con el fin de mejorarlos. Para eso se debe hacer un análisis y, así, identificar los

puntos deficientes y encontrar las soluciones para perfeccionarlos. La eficiencia de una empresa depende de sus procesos. Y es por eso por lo que su optimización es fundamental para alcanzar la competitividad esperada y convertirse en una referencia en el mercado [22].

- **Cuello botella**

Un cuello de botella, por definición, es un proceso (o etapa productiva) que funciona de manera ineficiente, o a un bajo nivel de productividad, causando como consecuencia un retraso importante en las operaciones y limitando a su vez el resto de las etapas en una cadena de producción.

Dicho de otra manera, un cuello de botella es aquel proceso que tiene un menor volumen de “salida” de ítems y que, de aumentar esta salida, aumentaríamos en el mismo valor la salida general de toda la cadena productiva [23].

- **Rendimiento operativo**

El rendimiento operativo es el grado en que una empresa alcanza sus metas y objetivos en términos de eficiencia, eficacia y calidad. La medición del rendimiento operativo puede ayudar a una empresa a identificar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, y a mejorar sus procesos, productos y servicios. Sin embargo, medir el rendimiento operativo no es una tarea sencilla, ya que implica seleccionar indicadores relevantes, recopilar y analizar datos y comunicar los resultados [24].

- **Modelado**

A creación de una representación o imagen (el modelo) de un objeto real. El modelado se refiere generalmente a la creación manual de una imagen tridimensional (el modelo) del objeto real [25].

- **Análisis de escenario**

El análisis de escenarios implica la construcción de diferentes modelos basados en una serie de supuestos a futuro sobre cómo podrían evolucionar ciertos factores clave del mercado, como tasas de interés, crecimiento económico, políticas gubernamentales, entre otros. Estos escenarios pueden ser retrospectivos, analizando cómo un fondo ha respondido a eventos pasados específicos, o pueden ser hipotéticos, considerando posibles sucesos futuro [26].

- **FlexSim**

Es un software de simulación de eventos discretos o de flujos continuos. Es una de las más poderosas herramientas para modelar, analizar, visualizar y optimizar cualquier proceso imaginable: desde procesos de manufactura hasta cadenas de suministro, y mucho más. Este software destaca por su facilidad de uso, un gran rendimiento y visualización 3D, y una mayor extensibilidad. Como resultado, proporciona soluciones a los negocios, ofreciendo un alto grado de personalización [27].

- **Eficiencia**

La eficiencia está focalizada en analizar, optimizar y buscar mejores soluciones para cada una de las etapas que se requieren para cumplir un propósito. Así que con ella se pretende reducir los costos y los tiempos que se invierte para lograr los resultados planteados. Se enfoca en los medios para alcanzar el fin de manera oportuna [28].

- **VSM**

El VSM es un método de diagrama de flujo que se utiliza para ilustrar y analizar un proceso de producción. El mapa de flujo de valor es un componente clave en la gestión de proyectos Lean o Lean manufacturing, una metodología ágil que aumenta el valor para el cliente al eliminar el desperdicio de cada fase del proyecto. La metodología Lean Manufacturing intenta optimizar los procesos de fabricación eliminando aquellos subprocesos o tareas que no son necesarios o entorpecen el proceso de producción [29].

- **Source**

Genera nuevas entidades en el modelo, representando la llegada de materiales o productos al sistema. En este caso, se utiliza en la primera etapa del proceso, donde ingresan los baldes de alcohol y agua.

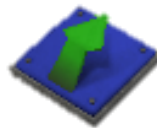


Figura 2. Source. Fuente: [20]

- **Processor**

Realiza acciones específicas sobre una entidad, como transformación, ensamblaje o inspección, con un tiempo de procesamiento definido. En el modelo de simulación, los Processors están presentes en múltiples etapas, como el etiquetado, el marcado y el empaclado. etc.



Figura 3. Processor. Fuente: [20]

- **Combiner**

Permite combinar múltiples entidades en una sola, simulando procesos como el ensamblaje o la mezcla de materiales. En el modelo, esta entidad representa la preparación del jarabe en la marmita, donde se integran varios insumos.

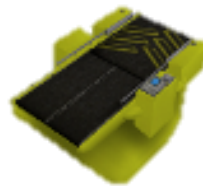


Figura 4. Combiner. Fuente: [20]

- **Queue**

Representa áreas de espera o almacenamiento temporal donde las entidades se acumulan antes de ser procesadas. Por ejemplo, se implementaron queues después de etapas como el etiquetado, permitiendo gestionar los productos mientras esperan su siguiente proceso.

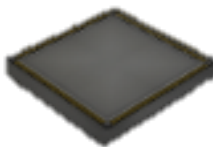


Figura 5. Queue. Fuente: [20]

- **Operator**

Simula trabajadores que ejecutan tareas específicas dentro del sistema, como transportar materiales, operar equipos o realizar controles de calidad. En el modelo, los operadores están distribuidos en diferentes fases del proceso productivo.



Figura 6. Operator. Fuente: [20]

- **ItemToFluid**

Convierte entidades discretas en flujo continuo, ideal para representar procesos de vertido o transformación de materiales sólidos a líquidos. En este modelo, se emplea para transformar la materia prima en forma líquida.



Figura 7. ItemToFluid. Fuente: [20]

- **FluidToItem**

Transforma flujos continuos en entidades discretas, simulando procesos como el envasado o dosificación. En la simulación, esta entidad representa la etapa de dosificación del Licor Escarchado en los envases.

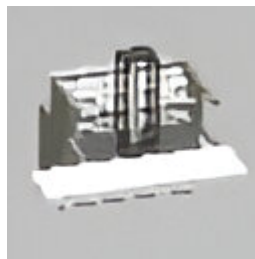


Figura 8. FluidToItem. Fuente: [20]

- **Fluid Pipe**

Simula tuberías que transportan fluidos dentro del sistema, controlando el flujo y la dirección del material. En el modelo, conecta las entidades ItemToFluid y FluidToItem, representando el paso del líquido entre etapas.



Figura 9. Fluid Pipe. Fuente: [20]

2.2 Antecedentes

Para este trabajo se llevó a cabo una revisión de literatura para considerar los estudios previos y trabajos académicos relacionados con la simulación de eventos discretos mediante el entorno de simulación FlexSim, los cuales nos pueden aportar valor a nuestro proyecto.

El proyecto titulado *"Optimización del proceso de toma de decisiones en el manejo de sustancias químicas en planta de distribución mediante modelación en programa FlexSim"* [30], constituye un valioso antecedente metodológico y técnico para el desarrollo del presente proyecto de tesis. Los autores proponen una estructura clara de mejora continua apoyada en el modelado de procesos, identificación de cuellos de botella, reorganización del layout productivo y evaluación cuantitativa de mejoras en tiempos de producción y uso de recursos.

Este enfoque metodológico aporta fundamentos clave al proyecto de tesis actual, ya que permite entender cómo la aplicación sistemática de DMAIC la cual hace parte de Six Sigma, combinada con simulación digital, puede generar impactos concretos en la eficiencia operativa de procesos complejos. En particular, los resultados obtenidos en el estudio antecedente como la reducción del 3.28% en el tiempo total de producción y el ahorro del 16.28% en el uso de montacargas evidencian el potencial del uso de FlexSim como herramienta para la toma de decisiones informadas y la optimización de flujos de trabajo sin intervenir físicamente la planta.

Asimismo, el artículo resalta la importancia de la distribución eficiente de espacios dentro de una instalación productiva, un aspecto altamente relacionado con el

análisis de layout que también se aborda en esta tesis. La integración entre simulaciones digitales y el perfeccionamiento de procesos reales se posiciona como un factor fundamental, respaldando la eficacia y conveniencia de usar modelos virtuales para optimizar la elaboración de licor escarchado en esta empresa licorera.

Otro referente que respalda conceptualmente la presente investigación es el artículo titulado “Optimización de recursos mediante la simulación de eventos discretos” [31]. Este trabajo académico aborda la aplicación de modelos de simulación discreta como una estrategia efectiva para la optimización de recursos en entornos industriales, específicamente en una empresa textil ecuatoriana. A partir de una estructura analítica y un enfoque práctico, los autores plantean un modelo que permite identificar cuellos de botella, mejorar la utilización de recursos humanos y técnicos, y cumplir con el plan maestro de producción bajo condiciones óptimas de costo y tiempo.

La metodología utilizada en este estudio refuerza la utilidad de la simulación como herramienta para la toma de decisiones estratégicas, destacando su valor en contextos productivos que presentan alta variabilidad y dependencia de la mano de obra. En este sentido, el artículo se vincula directamente con los objetivos del presente proyecto de tesis, ya que ambos comparten el propósito de mejorar la eficiencia operativa de procesos industriales mediante la simulación en FlexSim.

Al igual que en el caso analizado en el artículo, el modelo de simulación propuesto en esta tesis puede ser alimentado con datos reales para representar con precisión el flujo de trabajo, permitiendo identificar las variables críticas que afectan la productividad, el cumplimiento de la demanda y la calidad del producto. Además, la validación de la distribución de esos datos reales del modelo mediante herramientas estadísticas, tal como se realizó en el estudio mencionado, ofrece una garantía adicional sobre la confiabilidad de los resultados obtenidos.

El documento desarrollado por Felipe García Jacobo [32], representa una valiosa contribución al marco conceptual y técnico de esta tesis, ya que ofrece una experiencia aplicada que demuestra la utilidad del software FlexSim para analizar y mejorar procesos productivos reales, partiendo de un enfoque metodológico riguroso que combina recolección de datos, diseño experimental, análisis estadístico y modelado tridimensional. Este estudio aborda una problemática concreta de ineficiencia en una línea de producción altamente repetitiva, caracterizada por paros intermitentes, manejo intensivo de recursos humanos y una fuerte dependencia del tiempo de ciclo operativo de cada unidad productiva.

Uno de los aportes más significativos del documento es su tratamiento detallado sobre el uso del módulo ExperFit de FlexSim para determinar las distribuciones de probabilidad más adecuadas a partir de datos empíricos, lo cual permite una parametrización realista y fundamentada del modelo de simulación. La aplicación de distribuciones como gamma e inversa gaussiana para representar fallos, tiempos de actividad y tiempos de reparación, demuestra cómo se puede construir un modelo robusto y confiable que reproduzca con alta precisión el comportamiento del sistema bajo estudio. Esta técnica de análisis de datos es completamente aplicable al caso del proceso de licor escarchado, en el cual también se presentan eventos aleatorios como tiempos de procesamiento variables, fallos por interrupciones humanas, y utilización de recursos limitados.

El trabajo de García Jacobo [32], también aporta un enfoque estructurado en cuanto al diseño experimental dentro del entorno de simulación, proponiendo la validación de distintos escenarios y comparando resultados en cuanto a productividad, tiempos de paro y eficiencia general del sistema, lo cual puede ser replicado directamente en la tesis, donde se pretende encontrar un escenario de producción óptimo a través de la simulación de eventos discretos.

Por último, el artículo titulado *“Etapas de un modelo de simulación y la modelación con FlexSim”*[33] proporciona una guía metodológica y técnica que es directamente aplicable al proyecto de tesis, ofreciendo una estructura clara para la construcción y análisis de modelos de simulación en FlexSim. Su enfoque en la aplicación práctica del software en sistemas de producción complejos lo convierte en una referencia esencial para el desarrollo de estrategias de optimización en la producción del licor escarchado, contribuyendo significativamente al logro de los objetivos planteados en esta investigación.

2.3 Marco Normativo

El marco normativo que regula la industria de bebidas alcohólicas en Colombia abarca una serie de leyes y decretos que establecen lineamientos tanto para la gestión del monopolio rentístico de Licores como para los requisitos sanitarios y de seguridad laboral en el sector. De acuerdo con el normograma [34] las leyes más relevantes para la Industria Licorera del Cuca son:

Tabla 2. Marco Normativo. Fuente: Propia

Norma	Descripción
Ley 1816 de 2016	Por la cual se fija el régimen propio del monopolio rentístico de Licores destilados, se modifica el impuesto al consumo de Licores, vinos, aperitivos y similares, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1686 de 2012	Por el cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir para la fabricación, elaboración, hidratación, envase, almacenamiento, distribución, transporte, comercialización, expendio, exportación e importación de bebidas alcohólicas destinadas para consumo humano.
Decreto 1366 de 2020	Por el cual se establecen disposiciones para otorgar el registro sanitario de bebidas alcohólicas fabricadas y comercializadas por microempresarios y la certificación en buenas prácticas de manufactura.
Ley 9 de 1979	La conservación de ciertos límites acordes con las necesidades del consumo humano y con el grado de desarrollo previsto en su área de influencia; El mejoramiento de sus características hasta alcanzar las calidades para consumo humano y las metas propuestas para un conveniente desarrollo en el área de influencia. Actualiza y complementa la normativa en torno a los riesgos laborales.
Ley 1562 de 2012	Para los operarios de la industria Licorera, esta ley exige que las empresas cuenten con sistemas para la identificación y control de riesgos, lo que garantiza ambientes de trabajo más seguros y productivos.
Decreto 3075 de 1993 [35]	Son el conjunto de medidas preventivas necesarias para garantizar la seguridad, limpieza y calidad de los alimentos en cualquier etapa de su manejo.
Resolución 2674 de 2013 [36]	La presente resolución tiene por objeto establecer los requisitos sanitarios que deben cumplir las personas naturales y/o jurídicas que ejercen actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y materias primas de alimentos y los requisitos para la notificación, permiso o registro sanitario de los alimentos, según el riesgo en salud pública, con el fin de proteger la vida y la salud de las personas.

Capítulo 3.

3. Metodología

El enfoque metodológico adoptado para este proyecto es mixto y experimental. El enfoque mixto integra aspectos cualitativos y cuantitativos: describe el proceso actual e identifica limitaciones operativas mediante observaciones y entrevistas, complementándolo con análisis de datos como tiempos y costos que alimentan el modelo de simulación. El enfoque experimental utiliza simulaciones para manipular variables del proceso, generar escenarios y validar propuestas comparándolas con datos reales, garantizando soluciones precisas y aplicables antes de implementarlas. La metodología establecida para cumplir con los objetivos propuestos se dividió en tres (4) fases, las cuales se describen a continuación

- **Recolección y Análisis de Datos**

Como punto de partida, se realiza la recolección y el análisis de los datos relacionados con el proceso de producción de Licor Escarchado en la Industria Licorera del Cauca, con el propósito de identificar posibles ineficiencias, cuellos de botella y áreas de oportunidad dentro del sistema productivo. La recopilación de datos incluye variables fundamentales como tiempos de operación, utilización de recursos humanos y tecnológicos, cumplimiento de normativas, frecuencia de producción y otros aspectos relevantes.

Para garantizar la calidad y pertinencia de la información, se aplica herramientas de análisis específicas, seleccionadas en función de los requerimientos del estudio. Estas herramientas se presentan de forma detallada en la tabla siguiente:

Tabla 3. Método de Recolección y Análisis de Datos. Fuente: Propia

Recolección de Datos	Análisis de Datos
Experimentos	Inferencia y Análisis estadístico (R, SPSS, Minitab)
Muestreo	Mapa de Procesos
Cuestionarios	Value Stream Mapping
Entrevistas	Simulación discreta (Flexsim, Promodel)
Registros y docs. En la fuente	Análisis de Pareto
Instrumentos de Medición	Gráficos de control de procesos

Observación	Análisis de Sensibilidad
Sesiones de grupo	Análisis de dispersión

- **Desarrollo del Modelo de Simulación**

En esta etapa se construye un modelo de simulación utilizando el software FlexSim, con el fin de representar de manera precisa el proceso actual de producción del Licor Escarchado en la Industria Licorera del Cauca. El modelo se basa en la información recopilada previamente en la etapa anterior.

Este entorno virtual permitirá observar el comportamiento dinámico del sistema productivo, facilitando el análisis de variables clave como el tiempo de ciclo, los niveles de ocupación de los operarios y equipos, así como oportunidades de mejora.

- **Validar el Modelo de Simulación**

La validación del modelo de simulación es una etapa clave para asegurar su confiabilidad como herramienta de análisis y mejora del proceso productivo de Licor Escarchado. Este procedimiento consiste en comparar los resultados generados por el modelo con datos reales obtenidos de la operación actual, evaluando la correspondencia entre ambos en términos de tiempos de ciclo, niveles de producción, uso de recursos y cumplimiento de la demanda. Para llevar a cabo esta validación, se utiliza el Value Stream Mapping (VSM), una herramienta desarrollada previamente en la etapa de recolección y análisis de los datos.

- **Diseño de Escenarios de Optimización**

En esta etapa se desarrollan y evalúan dos escenarios alternativos que representen propuestas de mejora para el proceso productivo de Licor Escarchado. Estos escenarios son contruidos a partir de los resultados obtenidos en las fases previas de análisis de datos, Value Stream Mapping (VSM) y simulación del modelo base, permitiendo identificar oportunidades concretas de optimización.

Capítulo 4.

4. Resultados Primera Fase

4.1 Diagrama de Flujo del Proceso de Producción de Licor Escarchado:

El diagrama de flujo que se presenta a continuación describe detalladamente las actividades que integran el proceso de producción del Licor Escarchado. Este esquema facilita la visualización completa del proceso, desde su inicio hasta su conclusión, comenzando con la solicitud de materias primas por parte del coordinador de producción. Este paso inicial es fundamental, ya que asegura la disponibilidad de los insumos requeridos y su cumplimiento con los estándares de calidad necesarios antes de iniciar la producción.

Una vez que las materias primas han sido verificadas y aprobadas mediante pruebas de calidad específicas, se inicia el proceso de preparación de ramas. Esta actividad, de carácter manual, implica un esfuerzo considerable, ya que requiere de cinco turnos de trabajo para completarse. Consiste en organizar cuidadosamente las ramas que se incorporarán dentro del Licor, procurando una disposición estética y atractiva acorde con el diseño final del producto.

Concluida la preparación de las ramas, comienza la producción del Licor Escarchado. El primer paso consiste en la limpieza de los equipos, entre ellos los tanques de almacenamiento, la marmita, el reactor y la máquina de llenado. Esta limpieza es crucial para garantizar la calidad del producto y prevenir contaminaciones entre diferentes lotes de producción. Luego, se procede al llenado de los tanques con agua y alcohol, ingredientes base del Licor, los cuales se transportan a través de un sistema de tuberías que evita pérdidas y contaminaciones. Posteriormente, estos líquidos son trasladados manualmente a la marmita mediante baldes, con la participación de los operarios para agilizar el proceso. En la marmita, se incorporan azúcar, esencia y colorante, según el tipo de Licor a fabricar. La mezcla se agita de forma manuable, utilizando una espátula, en distintas fases para asegurar la completa disolución del azúcar y la adecuada integración de los ingredientes.

Una vez obtenida una mezcla homogénea, esta se transfiere al reactor mediante tuberías. En esta fase, la mezcla es sometida a un proceso automatizado de homogeneización, el cual garantiza que el Licor alcance la consistencia y calidad requeridas. Cuando el producto está listo, se realiza el llenado de botellas en la máquina correspondiente, donde los operarios verifican la correcta posición de los elementos internos y colocan una tapa provisional para evitar derrames o contaminaciones. Seguidamente, las botellas se someten al proceso de

cristalización, permaneciendo almacenadas durante un mínimo de tres días, lo cual permite la formación de los cristales característicos del Licor Escarchado.

Una vez finalizada la cristalización, las botellas se trasladan al área de lavado, donde se eliminan los residuos de azúcar y otras impurezas. A continuación, la máquina de tapado sella definitivamente las botellas, asegurando su adecuada conservación. Posteriormente, se realiza el etiquetado manual de cada unidad, cuidando que la presentación cumpla con los estándares establecidos. Luego, se efectúa el marcado del lote y la fecha de producción mediante un equipo especializado, lo que garantiza la trazabilidad del producto. Finalmente, las botellas se empacan en cajas de doce unidades y se organizan en estibas para su almacenamiento y posterior distribución. Estas cajas se trasladan al área de bodega o producto terminado, donde se almacenan hasta su despacho a los clientes (Ver Figura 10).

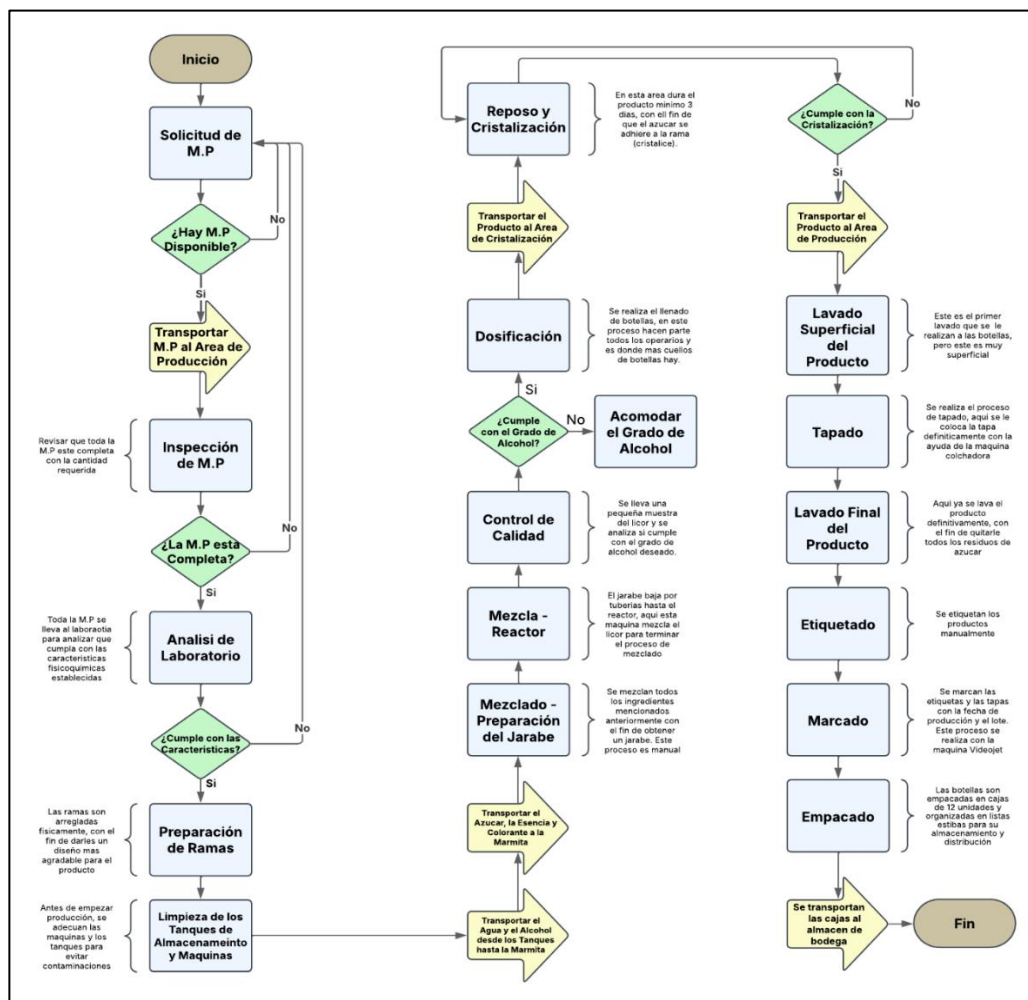


Figura 10. Diagrama de Flujo del Proceso de la Línea de Escarchado. Fuente: Propia.

4.2 Variables Críticas Identificadas en el Proceso:

Las visitas técnicas efectuadas en la Industria Licorera del Cauca, con un enfoque en el proceso de producción de Licores Escarchados, permitieron obtener una comprensión clara y detallada de las posibles mejoras dentro de la cadena de producción. Durante estas observaciones, se examinó el proceso en funcionamiento, lo que facilitó un análisis minucioso de cada fase y permitió la recopilación de datos relevantes. Esta aproximación directa resultó esencial para detectar tanto los aspectos positivos como aquellos que requerían ajustes con el fin de optimizar la eficiencia y la calidad del producto final.

La intervención de los actores principales del proceso, entre ellos el jefe de producción, el coordinador del área de Escarchados, el responsable de calidad y los operarios, fue determinante para comprender en profundidad la dinámica operativa. Gracias a su colaboración, se lograron esclarecer inquietudes significativas en torno a la eficiencia operativa y a la efectividad de los métodos empleados. Desde la mezcla de ingredientes hasta el empaque final, todas las actividades fueron observadas detenidamente, lo cual permitió identificar las variables críticas que inciden en el desempeño del proceso (Ver Anexo 2).

Con el propósito de comprender de manera más profunda las variables esenciales involucradas en este procedimiento, se realizó un análisis centrado en la calidad, basado en la información contenida en la tabla correspondiente (Ver Anexo 2). A continuación, se describen las variables críticas detectadas durante este estudio:

- **El personal**

La ausencia de formación adecuada incide negativamente en la eficiencia y en la calidad del proceso. Por ello, la implementación de un programa estructurado de capacitación y mentoría permitiría fortalecer las competencias técnicas del equipo, al tiempo que promovería una cultura organizacional enfocada en la calidad y la seguridad.

- **Los tiempos de producción en cada etapa**

El respeto por los tiempos definidos para cada fase del proceso resulta determinante para evitar retrasos y la generación de cuellos de botella. Un sistema de monitoreo continuo permite asegurar la fluidez del proceso sin interrupciones innecesarias.

- **La proporción de la materia prima**

La precisión en la dosificación de los ingredientes resulta fundamental para mantener la uniformidad en sabor, color y textura del Licor. El uso de sistemas de

medición confiables y exactos garantiza que cada lote cumpla con los parámetros establecidos.

- **La disposición eficiente de los equipos tecnológicos**

Una adecuada organización del equipamiento evita pérdidas de recursos, tiempos muertos y obstáculos en el flujo de trabajo. La disponibilidad oportuna de las máquinas contribuye directamente a una mayor productividad.

- **El control de calidad del producto**

La inspección del producto tras la etapa de mezcla permite verificar que cumpla con los estándares definidos en cuanto a colorimetría, grado alcohólico y sabor. Esta verificación resulta clave para asegurar la calidad constante y la fidelidad del cliente.

- **Las prácticas adecuadas en la fabricación**

Alinear las operaciones con normativas de sanidad y seguridad protege la integridad del personal y garantiza la inocuidad del producto final. La aplicación de buenas prácticas de manufactura y el mantenimiento de un entorno limpio permiten prevenir accidentes y asegurar el cumplimiento de los requisitos legales y técnicos.

4.3 Matriz de Priorización de Variables Críticas Identificadas en el Proceso:

Con el fin de establecer un orden de importancia en el análisis de las variables críticas previamente identificadas, se elaboró una matriz de ponderación. En esta matriz (Ver Tabla 3), se incluyeron todas las variables clave del proceso de producción de Licor Escarchado, asignándoles un nivel de importancia y de impacto, utilizando una escala del 1 al 5, definida de la siguiente manera: 1: Baja, 2: Medio-baja, 3: Medio, 4: Medio-alta y 5: Alta. Estas evaluaciones son realizadas por el jefe del área de Licor Escarchado, quien asigna las calificaciones tanto de ponderación como de impacto para cada variable, basándose en su experiencia técnica y conocimiento del proceso. Este análisis se llevó a cabo durante la implementación del plan Gemba Walk.

Tabla 4. Matriz de Priorización de Variables Críticas. Fuente Propia.

Variables Críticas	Ponderación (1-5)	Impacto (1-5)	Prioridad (Ponderación * Impacto)
Personal	3	3	9
Tiempos Producción	4	5	20
Proporción Materia Prima	3	3	9
Disposición tecnológica	5	4	20
Control Calidad	5	4	20
Prácticas Adecuadas	4	5	20

- **Personal**

Se asignó una ponderación de 3, dado que, si bien contar con personal capacitado es relevante para mantener la eficiencia y la calidad del proceso, no constituye el aspecto más determinante frente a otros factores de tipo técnico, como la disposición tecnológica o el control de calidad. En cuanto al impacto, se le otorgó un valor de 3, ya que la formación adecuada mejora el rendimiento operativo, pero su influencia es menos crítica comparada con variables que afectan directamente la calidad del producto o el rendimiento general del proceso.

- **Tiempos de producción**

Se asigna una ponderación de 4 a la variable relacionada con el cumplimiento de los tiempos establecidos para cada etapa del proceso. Esta asignación se fundamenta en la necesidad de adherirse estrictamente a los cronogramas planificados, con el objetivo de prevenir retrasos y cuellos de botella que puedan afectar negativamente la productividad del sistema.

La variable de impacto recibió una calificación de 5, considerando que una gestión inadecuada en este aspecto puede generar demoras significativas, incremento de costos y dificultades en la entrega del producto final.

- **Proporción de materia prima**

Se asignó una ponderación de 3, al ser importante mantener la proporción exacta de ingredientes para asegurar la uniformidad del Licor, aunque se reconoce que es un aspecto de control relativamente sencillo. Su impacto también se valoró en 3, ya que influye en características como el sabor, el color y la textura, pero no presenta

una criticidad tan elevada como otras variables que inciden más directamente en la eficiencia o en la percepción del producto final.

- **Disposición tecnológica**

Recibió la máxima ponderación de 5, debido a la necesidad de contar con una disposición estratégica de los equipos tecnológicos, que evite desperdicios, retrasos y tiempos improductivos. El impacto se valoró en 4, ya que una mala organización del equipamiento puede generar interrupciones en el flujo de trabajo, extendiendo los tiempos de producción y afectando el rendimiento del sistema.

- **Control de calidad**

Se le asignó una ponderación de 5, destacando su papel esencial en la verificación de que el producto cumpla con los parámetros establecidos de colorimetría, grado alcohólico y sabor, aspectos clave para la satisfacción del cliente. El impacto se estimó en 4, pues, aunque no incide de manera tan directa en la eficiencia operativa como otras variables, sí resulta determinante para garantizar la aceptación del producto y proteger la imagen de la empresa.

- **Prácticas adecuadas**

Esta variable obtuvo una ponderación de 4, al reconocer la importancia de cumplir con las normativas de sanidad, seguridad y salud ocupacional, tanto para resguardar al personal como para asegurar la calidad del producto. El impacto fue de 5, ya que una ejecución inadecuada de las prácticas puede derivar en accidentes laborales, problemas sanitarios o incumplimientos legales, afectando directamente la seguridad, la continuidad del proceso y el cumplimiento regulatorio.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las variables con mayor prioridad son: la disposición tecnológica, el control de calidad, los tiempos de producción y las prácticas adecuadas, cada una con una calificación total de 20. Estas variables se identifican como factores críticos con un efecto sustancial sobre el rendimiento del proceso. La disposición de los equipos y el control de calidad son esenciales para alcanzar altos niveles de eficiencia y asegurar un producto final acorde a los estándares. Por su parte, los tiempos de producción y las prácticas adecuadas impactan directamente en la productividad, la seguridad y la conformidad legal, lo que obliga a un monitoreo y mejora constante de estos aspectos.

En contraste, las variables personal y proporción de materia prima presentan una prioridad más baja, con una calificación de 9 cada una. Aunque siguen siendo relevantes para el buen desempeño del proceso, su nivel de influencia es menor frente a las variables anteriormente mencionadas. La capacitación del personal

permite aumentar la eficiencia, y el control en la proporción de ingredientes asegura la consistencia del Licor; sin embargo, ambas variables son más controlables y tienen un impacto relativamente menor en la productividad global del sistema (Ver Figura 11).

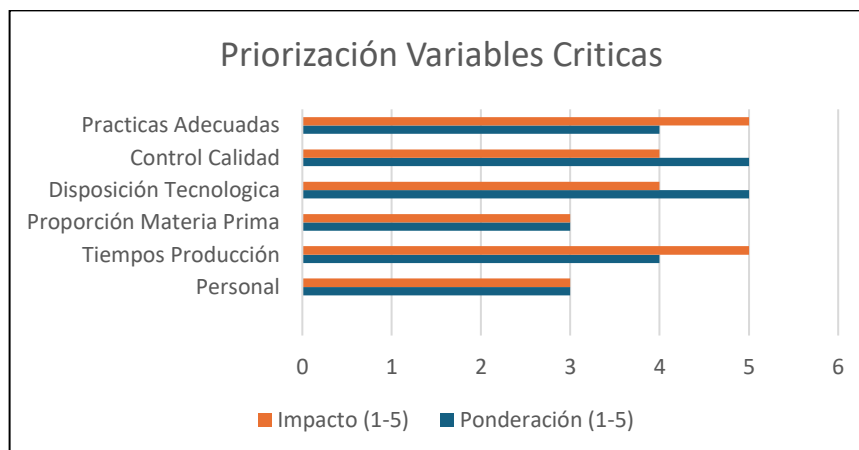


Figura 11. Variables de priorización. Fuente: Propia.

4.4 Mapeo del Flujo de Valor (Value Stream Mapping)

Con el objetivo de lograr una mejora continua en el flujo de trabajo y aumentar la eficiencia operativa de la empresa, se identificó la necesidad de implementar la herramienta de Mapeo del Flujo de Valor (VSM, por sus siglas en inglés). Esta metodología permite visualizar de manera clara cómo se desplazan los materiales e información a lo largo de cada fase del proceso productivo, lo que facilita un análisis más detallado de todas las etapas, desde la mezcla de materia prima, la dosificación y cristalización, hasta el lavado y tapado, el etiquetado, el marcado y el empaque. Este enfoque busca identificar oportunidades de mejora en cada fase del proceso.

La Industria Licorera del Cauca es una empresa líder en la región, reconocida por su producción de licores de alta calidad, entre los que destaca el Aguardiente Caucano. Recientemente ha ampliado su portafolio con productos como el Ron Gorgona y la Ginebra Gin Vicker's. En este proyecto se seleccionó el Licor Escarchado como objeto de estudio por ser uno de los procesos más complejos, con alta carga manual y tecnología menos especializada. A pesar de ello, es el segundo producto más vendido, lo que justifica la necesidad de optimizar su producción.

Los datos obtenidos durante la observación del proceso productivo se presentan en una serie de tablas (Ver Tablas 4, 5, 6, 7 y 8), las cuales documentan elementos clave para la comprensión integral del funcionamiento del sistema. Gracias a esta información, fue posible llevar a cabo un análisis detallado de los tiempos de producción, permitiendo identificar puntos críticos en los que existen oportunidades claras de optimización, con el fin de mejorar el rendimiento general de la operación.

Cálculo de las Métricas del Proceso:

Fuentes de datos: Los valores numéricos correspondientes al número de turnos, duración de la jornada laboral, tiempos asignados a pausas y almuerzos, cantidad de máquinas, porcentaje de funcionamiento, entre otros parámetros, fueron proporcionados por los responsables del área de producción de la empresa.

A partir de esta información, se procedió al análisis de métricas clave en cada etapa del proceso de elaboración del Licor Escarchado, tales como el tiempo disponible, el tiempo de ciclo y la producción real, con el propósito de medir con precisión los niveles de eficiencia y productividad. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla correspondiente (Ver Tabla 4).

Tabla 5. Métricas del VSM (Valué Stream Mapping) inicial. Fuente: Propia.

Descripción	UMD	Mezclado	Dosificación	Cristalizado	Lavado y Tapado	Etiquetado	Marcado	Empacado
Número de turnos	und	1	1	1	1	1	1	1
Jornada laboral	hrs/turno	8	8	8	8	8	8	8
Tiempo almuerzo, pausas	hrs/turno	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo disponible (TD)	seg/día	25200	25200	25200	25200	25200	25200	25200
Producción bruta	und/turno	1680	1344	113	1531	720	5753	5753
N° máquinas	und	2	2	N/A	1	1	1	1
% de funcionamiento (TF)	%	90%	87%	90%	90%	90%	90%	90%
Producción real	und/turno	3024	2339	102	1378	648	5178	5178
Tiempo de ciclo (TC)	seg/und	15,00	18,75	222,50	16,46	35,00	4,38	4,38
% defectos (PNC)	%	0,00%	0,90%	0,25%	0,20%	0,60%	0,20%	0,00%
Tiempo de cambio de producto (TCP)	min	2	10	1	10	1	1	1
N° Operarios	und	7	6	5	5	5	5	5

- **Tiempo Disponible**

Es el tiempo total que podría usarse para producir en un turno determinado restándole las paradas programadas como descansos o mantenimiento. Las unidades son segundos/día.

Formula: $TD = (Jornada Laboral - Tiempo descanso) * N^{\circ} Turnos * 60 * 60$

Ecuación: $TD = (8 - 1) * 1 * 60 * 60 = 25200 \text{ seg/día}$

- **Producción Bruta**

El total de unidades fabricadas sin considerar si son defectuosas o no (incluye todo lo producido, bueno y malo). Formula:

Formula: $PB = \frac{Tiempo Disponible}{Tiempo de Ciclo}$

Ecuación: $PB \text{ Mezclado} = \frac{25200}{15} = 1680 \frac{\text{und}}{\text{turno}}$

- **Producción Real**

La cantidad real de productos buenos que salen en un periodo, después de descontar defectos o paradas no planeadas.

Formula: $PR = Producción Bruta * N^{\circ} Maquinas * \% Funcionamiento$

Ecuación: $PR \text{ Mezclado} = 1680 * 2 * 90\% = 3024 \frac{\text{und}}{\text{turno}}$

- **Demanda Diaria**

Es la cantidad de productos que los clientes requieren por día.

Formula: $DD = \frac{Demanda Mensual}{Días Hábiles x Mes}$

Ecuación: $DD = \frac{1428}{20} = 71 \frac{\text{und}}{\text{día}}$

Tabla 6. Demanda Diaria. Fuente: Propia.

Descripción	UMD	Valor
Demanda mensual	und/mes	1428
Días hábiles x mes	días/mes	20
Demanda diaria	und/día	71

- **Lead Time**

Es el tiempo total que transcurre desde que se inicia un pedido/producción hasta que el producto está listo para entregar al cliente.

$$\text{Formula: } LT = \frac{\text{Inventario en und}}{\text{Demanda diaria}}$$

$$\text{Ecuación: } LT \text{ Mezclado} = \frac{2953}{71} = 41 \text{ días}$$

Tabla 7. Tiempos por Proceso. Fuente: Propia.

Descripción	UMD	Mezclado	Dosificación	Cristalización	Lavado y Tapado	Etiquetado	Marcado	Empacado
Inventario	und	2953	2267	31	1306	577	5107	5107
Lead time	días	41	32	0	18	8	72	72

- **TVA**

Es el tiempo en el que realmente se está agregando valor al producto o servicio desde la perspectiva del cliente.

$$\text{Formula: } TVA = \sum \text{Tiempo Ciclo}$$

$$\text{Ecuación: } TVA = \sum 15 + 18,75 + 222,5 + 16,46 + 35 + 4,4 + 4,38 = 316 \text{ min}$$

- **TNVA**

Es el tiempo en el que no se agrega valor al producto o servicio, pero que sigue formando parte del proceso.

$$\text{Formula: } TNVA = \sum \text{Lead Time}$$

$$\text{Ecuación: } TNVA = \sum 41 + 32 + 0 + 18 + 8 + 72 + 72 = 243 \text{ min}$$

- **Touch Time**

El tiempo real en que el producto está siendo trabajado físicamente.

$$\text{Formula: } TCH T = \frac{TVA}{\text{Tiempo Total} \rightarrow (TVA+TNVA)} * 100\%$$

$$\text{Ecuación: } TCH T = \frac{316}{243} * 100\% = 57\%$$

Tabla 8. Descripción del Tiempo del Proceso. Fuente: Propia.

Descripción	UMD	Valor
TVA (Tiempo de valor añadido)	min	316
TNVA (Tiempo no valor añadido)	min	243
Tiempo Total	min	559
Touch time	%	57%

- **Takt time:**

Es la velocidad con la que se debe producir para satisfacer la demanda del cliente, generalmente expresado en segundos sobre unidad.

Formula: $TT = \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Demanda Diaria}}$

Ecuación: $TT = \frac{25200}{71} = 353 \text{ seg/und}$

Tabla 9. Takt Time de Producción. Fuente: Propia.

Descripción	UMD	Valor
Takt time	seg/und	353

Análisis de las métricas del proceso de producción:

Tiempo de Ciclo vs. Takt Time: Aunque los tiempos de ciclo (TC) registrados en la mayoría de las operaciones del proceso de Escarchado de Licor se encuentran por debajo del takt time (353 seg/unidad), esta aparente ventaja oculta un problema estructural grave: el desbalance entre procesos. Al trabajar significativamente más rápido que lo requerido, las estaciones generan un flujo asíncrono que rompe la continuidad del sistema productivo.

Producción Bruta vs. Producción Real: Aunque la producción bruta en varias etapas aparenta ser adecuada, la producción real se ve severamente afectada por el bajo porcentaje de funcionamiento de los equipos. Por ejemplo, en Dosificación, la producción bruta es de 1344 und/turno, pero la producción real desciende a 2339 unidades tras considerar las ineficiencias. Esto implica un desperdicio significativo

de capacidad productiva, derivado de tiempos muertos, ineficiencias operativas y falta de mantenimiento efectivo.

Tiempo No Valor Añadido (TNVA) vs. Tiempo de Valor Añadido (TVA): La proporción entre TVA y TNVA es alarmante. Solo 316 minutos (57%) del tiempo total son considerados como de valor añadido, mientras que 243 minutos (43%) corresponden a tiempos muertos o improductivos. Esta brecha representa una pérdida considerable de eficiencia y evidencia que casi la mitad del tiempo se emplea en actividades que no contribuyen directamente al valor del producto final. Esto es sintomático de un flujo de producción mal diseñado, con tiempos de espera prolongados, movimientos innecesarios y falta de balanceo en las cargas de trabajo.

Porcentaje de Defectos (PNC): Aunque aparentemente bajos (0,2% a 0,9%), estos porcentajes, en volúmenes grandes de producción, se traducen en cientos de unidades defectuosas al mes. Lo preocupante es que los defectos se distribuyen en varias etapas del proceso, lo que sugiere falta de estandarización, capacitación insuficiente del personal, o deficiencias en el control de calidad.

Análisis del Valué Stream Mapping Inicial:

El sistema de producción de Licor Escarchado muestra una estructura profundamente desbalanceada. La mayoría de las estaciones operan con tiempos de ciclo muy por debajo del takt time, lo que fomenta la sobreproducción y dificulta la implementación de un flujo continuo. La falta de sincronización genera acumulaciones excesivas, altos lead times y cuellos de botella disfrazados por inventarios. Especial atención merece el proceso de cristalización, que aunque es un reposo planificado, se convierte en el punto de mayor restricción, sin que el sistema esté ajustado para compensar o adaptar su ritmo a esta limitación.

Desde la perspectiva Lean, este sistema contiene múltiples formas de desperdicio (sobreproducción, inventario, espera, utilización ineficiente de recursos), lo que justifica la necesidad urgente de aplicar medidas de balanceo de líneas, estandarización, mejora continua y control visual para restaurar el flujo y aumentar el valor añadido (Ver Figura 12).

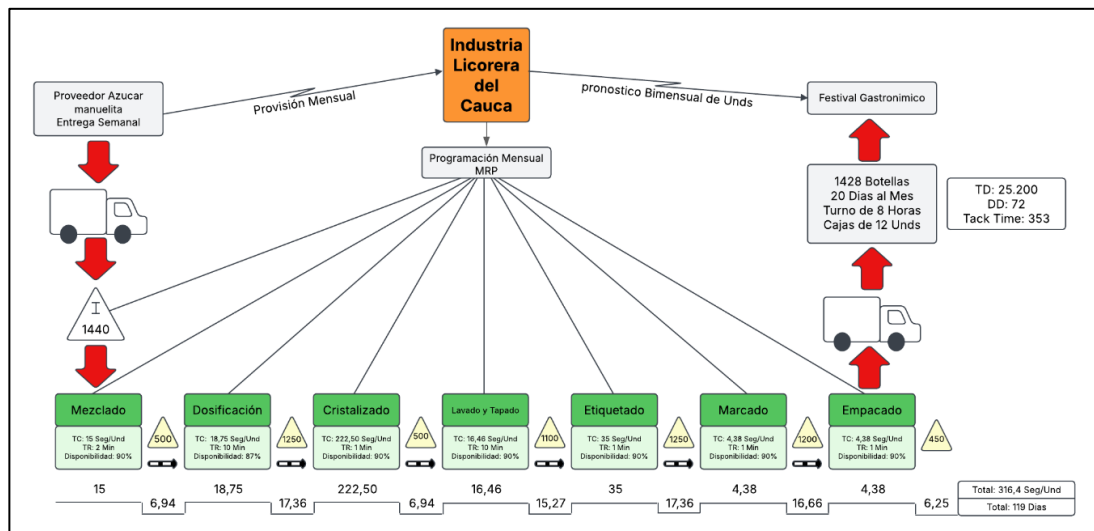


Figura 12. VSM (Value Stream Mapping). Fuente: Propia.

Capítulo 5.

5. Resultados Segunda Fase

La recolección de datos constituye un componente fundamental dentro del desarrollo de modelos de simulación por eventos discretos, ya que de su calidad depende la precisión y fiabilidad del modelo resultante. En este contexto, se llevó a cabo un análisis detallado de las operaciones correspondientes al área de Escarchado, empleando para ello la técnica de observación directa. Esta estrategia permitió identificar fallos operativos y cuellos de botella que actualmente limitan el rendimiento general del proceso.

Como complemento a este análisis, se incluyen representaciones gráficas e imágenes que ilustran visualmente las distintas etapas del proceso de producción del Licor Escarchado (Ver Figura 13), con el fin de facilitar la comprensión del sistema y aportar insumos visuales al diseño del modelo de simulación.



Figura 13. Fotos del Proceso de Producción de Licor Escarchado. Fuente: Industria Licorera del Cauca.

5.1 Muestreo para la Toma de Datos

1. Se realiza una muestra tomando 10 lectura teniendo en cuenta que los ciclos son $\leq$ a 2 minutos esto debido a que hay más confiabilidad en los tiempos más grandes ya que la probabilidad de un error puede aumentar.
2. Se calcula el rango o intervalo de los tiempos de ciclo, es decir, restar del tiempo mayor el tiempo menor de la muestra:

$$X_{max} - X_{min} = R$$

3. Calcular la media aritmética o promedio.

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$$

$\sum X$
 n

Sumatoria de los tiempos observados

Numero de tiempos observados

4. Hallar el coeficiente entre rango y la media.

$$R/\bar{x}$$

5. Se busca el coeficiente en la tabla, en la columna R / (promedio de X), se ubica el valor correspondiente al número de muestras realizadas (5 o 10) cual es el número de observaciones a realizar para obtener un nivel de confianza del 98% y un nivel de precisión del 5%.

Tabla 10. Cálculo de Numero de Observaciones. Fuente: [38].

TABLA PARA EL CALCULO DEL NUMERO DE OBSERVACIONES								
R/ $\bar{X}$	5	10	R/ $\bar{X}$	5	10	R/ $\bar{X}$	5	10
0.10	3	2	0.42	52	30	0.74	162	93
0.12	4	2	0.44	57	33	0.76	171	98
0.14	6	3	0.46	63	36	0.78	180	103
0.16	8	4	0.48	68	39	0.80	190	108
0.18	10	6	0.50	74	42	0.82	199	113
0.20	12	7	0.52	80	46	0.84	209	119
0.22	14	8	0.54	86	49	0.86	218	126
0.24	17	10	0.56	93	53	0.88	229	131
0.26	20	11	0.58	100	57	0.90	239	138
0.28	23	13	0.60	107	61	0.92	250	143
0.30	27	15	0.62	114	65	0.94	261	149
0.32	30	17	0.64	121	69	0.96	273	156
0.34	34	20	0.66	129	74	0.98	284	162
0.36	38	22	0.68	137	78	1.00	296	169
0.38	43	24	0.70	145	83	1.02	303	173
0.40	47	27	0.72	153	88	1.04	313	179

Tabla 11. Lectura de Datos para Cantidad de Tomas por Proceso. Fuente: Propia.

Valores Xmax	68,74	43,86	5,10	5,97	222,01	16,88	35,87	4,43	4,44
Valores Xmin	50,42	31,73	4,48	5,32	220,36	15,71	33,19	4,27	4,25
Xmax-Xmin=R	18,32	12,13	0,62	0,65	1,65	1,17	2,68	0,16	0,19
$\bar{X}$	58,24	37,51	4,77	5,63	221,02	16,32	34,56	4,37	4,33
$\bar{x}$ R/	0,31	0,32	0,13	0,12	0,01	0,07	0,08	0,04	0,04
Dato de Tabla	17	17	3	2	2	2	2	2	2

El intervalo de confianza indica que, con un nivel de certeza del 95%, el valor promedio real del proceso se encuentra dentro del rango estimado.

- Desviación estándar de la muestra

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

- Intervalos de confianza de una media poblacional

$$\bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Tabla 12. Análisis de Datos con un 95% de Intervalo de Confianza. Fuente: Propia.

Proceso	Promedio ($\bar{x}$)	Desv. Est. (s)	Error Estándar $s/\sqrt{n}$	IC (95%) $\pm 1.96 * \text{error}$
Tanques	58.24	5.98	18.914	(54.62 , 61.86)
Azúcar	37.51	4.06	12.838	(35.00 , 40.02)
Marmita	4.77	0.22	0.0696	(4.64 , 4.91)
Dosificación	5.63	0.26	0.0822	(5.47 , 5.79)
Cristalizado	221.05	0.71	0.2246	(220.61 , 221.49)
Lavado y Tapado	16.32	0.45	0.1422	(16.04 , 16.60)
Etiquetado	34.56	0.97	0.3067	(33.96 , 35.15)
Marcado	4.37	0.05	0.0158	(4.34 , 4.40)
Empacado	4.33	0.06	0.0190	(4.29 , 4.37)

Gráfica de intervalos de confianza del 95% para cada uno de los procesos:

Cada punto representa el tiempo promedio por proceso, las barras verticales representan el rango del intervalo de confianza ($\pm 1.96 * \text{error estándar}$), lo que indica la precisión de cada medición. se observa que los procesos como Cristalizado y Tanques tienen mayor tiempo, mientras que Marcado y Empacado tienen menor duración y variabilidad.

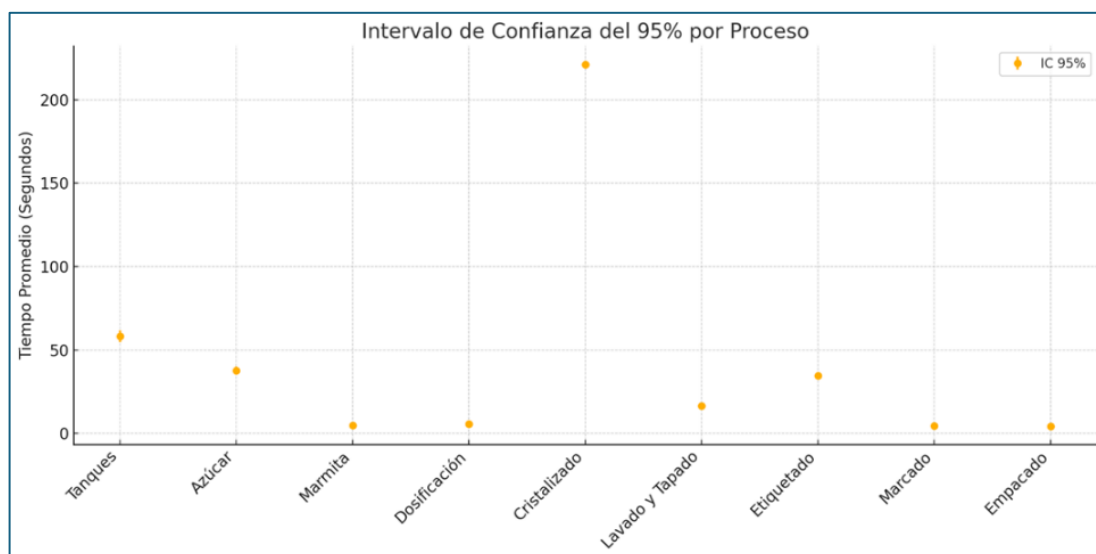


Figura 14. Gráfico de Intervalo de Confianza del 95%. Fuente: Propia.

Tabla 13. Intervalos de Confianza del 90%, 95% y 99% para Cada Proceso. Fuente: Propia

Proceso	Nivel de Confianza	Promedio	Desv. Estándar	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Tanques	90%	58,24	5,98	1,891042041	55,12923584	61,35076416
Azúcar	90%	37,51	4,06	1,28388473	35,39800962	39,62199038
Marmita	90%	4,77	0,22	0,069570109	4,655557171	4,884442829
Dosificación	90%	5,63	0,26	0,082219219	5,494749384	5,765250616
Cristalizado	90%	221,05	0,71	0,224521714	220,6806618	221,4193382
Lavado y Tapado	90%	16,32	0,45	0,142302495	16,0859124	16,5540876
Etiquetado	90%	34,56	0,97	0,306740933	34,05541117	35,06458883
Marcado	90%	4,37	0,05	0,015811388	4,343990266	4,396009734
Empacado	90%	4,33	0,06	0,018973666	4,298788319	4,361211681
Tanques	95%	58,24	5,98	1,891042041	54,5335576	61,9464424
Azúcar	95%	37,51	4,06	1,28388473	34,99358593	40,02641407
Marmita	95%	4,77	0,22	0,069570109	4,633642587	4,906357413
Dosificación	95%	5,63	0,26	0,082219219	5,46885033	5,79114967
Cristalizado	95%	221,05	0,71	0,224521714	220,6099374	221,4900626
Lavado y Tapado	95%	16,32	0,45	0,142302495	16,04108711	16,59891289
Etiquetado	95%	34,56	0,97	0,306740933	33,95878777	35,16121223
Marcado	95%	4,37	0,05	0,015811388	4,339009679	4,400990321
Empacado	95%	4,33	0,06	0,018973666	4,292811615	4,367188385
Tanques	99%	58,24	5,98	1,891042041	53,3686757	63,1113243

Azúcar	99%	37,51	4,06	1,28388473	34,20271294	40,81728706
Marmita	99%	4,77	0,22	0,069570109	4,5907874	4,9492126
Dosificación	99%	5,63	0,26	0,082219219	5,418203291	5,841796709
Cristalizado	99%	221,05	0,71	0,224521714	220,4716321	221,6283679
Lavado y Tapado	99%	16,32	0,45	0,142302495	15,95342877	16,68657123
Etiquetado	99%	34,56	0,97	0,306740933	33,76983536	35,35016464
Marcado	99%	4,37	0,05	0,015811388	4,329269864	4,410730136
Empacado	99%	4,33	0,06	0,018973666	4,281123836	4,378876164

La gráfica permite observar visualmente cómo se amplían los intervalos a medida que aumenta el nivel de confianza, lo cual facilita la interpretación de la precisión relativa y la variabilidad entre los distintos procesos.

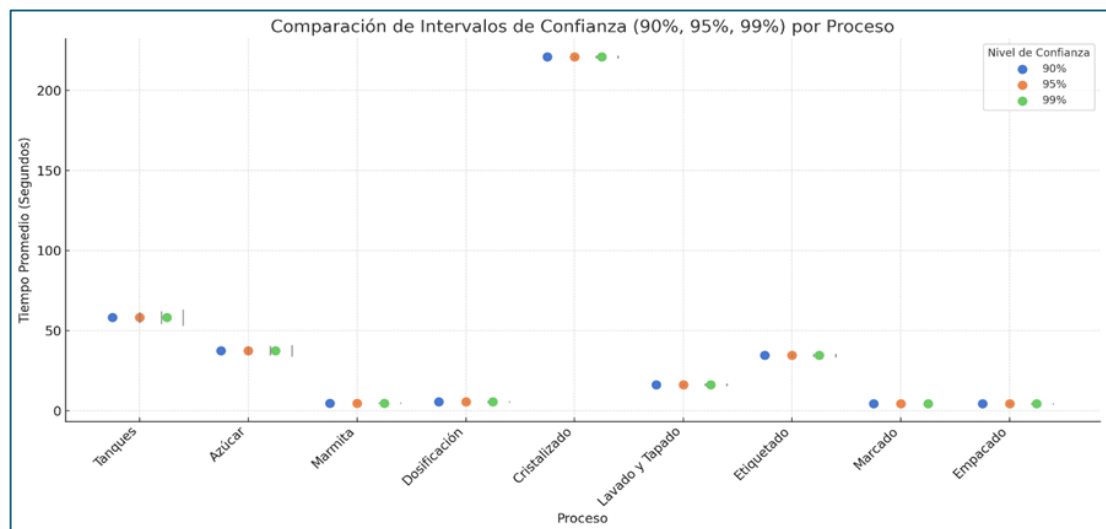


Figura 15. Dispersión de los Datos con Distintos Intervalos de Confianza. Fuente: Propia.

5.2 Análisis del Tipo de Distribución Estadística

Encontrar el tipo de distribución estadística de un conjunto de datos es fundamental para construir un modelo de simulación en FlexSim, ya que permite representar con precisión el comportamiento real del sistema que se desea analizar.

Cada proceso dentro de un sistema productivo tiene características únicas: algunos tienen tiempos constantes, otros siguen una distribución normal, exponencial o uniforme. Si no se conoce y asigna correctamente la distribución adecuada a cada

etapa del proceso, el modelo podría generar resultados irreales o poco confiables, afectando negativamente la toma de decisiones basada en dicha simulación.

- **Coeficiente de Variación:** Mide la variabilidad o dispersión relativa (desviación estándar en términos de la media).
 $CV \approx 1 \rightarrow$ Considerar exponencial.
 $CV < 0.5 \rightarrow$ Evaluar normal o Weibull (según asimetría).
 CV muy bajo (ej. < 0.1) $\rightarrow$ Posible normal o determinística.
- **Asimetría:** Indica si los datos están sesgados hacia la izquierda o derecha.
 $Asimetría \approx 0$: Distribución normal.
 $Asimetría > 0.5$: Weibull o lognormal (cola derecha).
 $Asimetría < -0.5$: Weibull con cola izquierda.
- **Curtosis:** Mide si los datos son más "picos" o "planos".
 $Curtosis \approx 0$: Similar a normal.
 $Curtosis > 0$: Datos más "picos" que la normal.
 $Curtosis < 0$: Datos más "planos".

Tabla 14. Tipo de distribución. Fuente: Propia.

Proceso	Distribución	Justificación Clave
Mezclado - Tanques	Normal	$CV=0.10$ (bajo), $asimetría=0.39$ (ligera), $curtosis=-0.55$ (platicúrtica). Histograma mostraría forma de campana ligeramente asimétrica.
Mezclado – Azúcar	Normal	$CV=0.11$: Variabilidad moderada-baja, $Asimetría=0.31$: Ligera asimetría positiva (cola derecha), pero no pronunciada. $Curtosis=-1.36$: Distribución más plana que la normal
Mezclado – Marmita	Normal	$CV=0.05$ (muy bajo), $asimetría=-0.18$ (insignificante). Datos muy consistentes.
Dosificación	Normal	$CV=0.05$, $asimetría=0.11$ (prácticamente simétrica). $Curtosis=-1.70$ indica distribución plana pero simétrica.
Lavado y Tapado	Normal	$CV=0.05$, $asimetría=0.11$ (prácticamente simétrica). $Curtosis=-1.70$ indica distribución plana pero simétrica.
Etiquetado	Normal	$CV=0.03$, $asimetría=0.11$ (simetría casi perfecta). $Curtosis=-1.83$ (platicúrtica pero simétrica).
Marcado	Normal	$CV=0.03$, $asimetría=-0.18$ (insignificante). Datos muy consistentes.
Empacado	Normal	$CV=0.01$ (mínimo), pero $asimetría=-0.69$ (cola izquierda). $Curtosis=-0.25$ sugiere distribución limitada en rangos.

El análisis estadístico de las distribuciones correspondientes a las distintas etapas del proceso evidencia que todas presentan un comportamiento conforme a una distribución normal, lo cual indica estabilidad y predictibilidad en los datos recolectados. Esta identificación fortalece la validez y confiabilidad del modelo de simulación, al mismo tiempo que facilita un análisis más preciso del comportamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas.

Adicionalmente, este hallazgo permite una comprensión más profunda de los factores que inciden en el rendimiento del proceso, contribuyendo a la detección de oportunidades de mejora y al diseño de estrategias de optimización más efectivas. Dado que las variables evaluadas corresponden a mediciones continuas, se concluye que la distribución de los datos es de tipo continua. Esto implica que pueden asumir un número infinito de valores dentro de un rango determinado, lo cual es característico de parámetros industriales como el tiempo de operación, el volumen de insumos utilizados o los niveles de producción alcanzados.

Tabla 15. Registro de Datos. Fuente: Propia

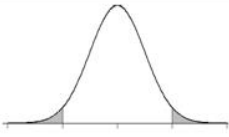
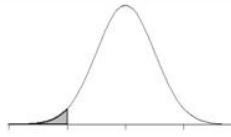
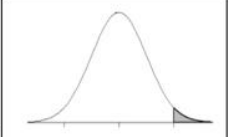
	Procesos								
	Mezclado			Dosificación	Cristalizado	Lavado y Tapado	Etiquetado	Marcado	Empacado
	Tanques	Azúcar	Mamita						
Tiempo 1 en Seg	63,08	34,67	4,96	5,32	221,65	15,81	34,93	4,43	4,44
Tiempo 2 en Seg	57,51	34,62	4,88	5,34	220,36	16,88	34,51	4,41	4,26
Tiempo 3 en Seg	58,45	31,73	4,85	5,75	220,5	16,74	33,57	4,34	4,41
Tiempo 4 en Seg	58,51	40,86	4,76	5,35	220,6	15,71	33,19	4,34	4,3
Tiempo 5 en Seg	65,07	36,73	4,48	5,97	222,01	16,81	35,08	4,27	4,25
Tiempo 6 en Seg	54,26	34,46	5,1	5,6	222,35	16,02	34,94	4,41	4,36
Tiempo 7 en Seg	50,42	43,86	4,72	5,44	220,98	16,79	35,83	4,39	4,28
Tiempo 8 en Seg	55,63	40,65	4,52	5,66	220,75	16,26	33,24	4,31	4,36
Tiempo 9 en Seg	50,71	35,29	4,49	5,95	220,93	16,11	34,4	4,37	4,29
Tiempo 10 en Seg	68,74	42,22	4,96	5,87	220,39	16,04	35,87	4,39	4,33
Total	582,38	375,09	47,72	56,25	2210,52	163,17	345,56	43,66	43,28
Promedio	58,24	37,51	4,77	5,63	221,05	16,32	34,56	4,37	4,33

5.3 Validación Estadística del Ajuste a Distribución Normal

Se aplica la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para evaluar si diferentes conjuntos de datos se ajustan a una distribución normal. Esta prueba compara la

función de distribución acumulada empírica de los datos muestrales con la distribución teórica esperada (en este caso, la normal). Su objetivo es validar si las variaciones observadas en procesos industriales (mezclado, dosificación, etiquetado, etc.) siguen un comportamiento normal, lo cual es fundamental para aplicar técnicas estadísticas paramétricas. A continuación, se evidencia los tipos de hipótesis nula H_0 y alternativa H_1 utilizados en pruebas de hipótesis estadísticas para medias poblacionales (Ver Tabla 16).

Tabla 16. Prueba de Hipótesis. Fuente: [37]

Hipotesis Nula	$H_0: \mu = \mu_0$	$H_0: \mu \geq \mu_0$	$H_0: \mu \leq \mu_0$
Hipotesis Alternativa	$H_1: \mu \neq \mu_0$	$H_1: \mu < \mu_0$	$H_1: \mu > \mu_0$
Representacion grafica			

Proceso de mezclado (Tanques):

$X = (63.08, 57.51, 58.45, 58.51, 65.07, 54.26, 50.42, 55.63, 50.71, 68.74)$

$X(i) = (50.42, 50.71, 54.26, 55.63, 57.51, 58.45, 58.51, 63.08, 65.07, 68.74)$

Tamaño de la muestra: $n = 10$

Calcular la media y desviación estándar:

$$\mu = \frac{1}{10} (50.42, 50.71, 54.26, 55.63, 57.51, 58.45, 58.51, 63.08, 65.07, 68.74) = 58.23$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X(i) - \mu)^2} \approx 5.55$$

Cálculo del Test K-S:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma}, \quad F(X_i) = \varphi(Z_i), \quad Fn(X_i) = \frac{i}{n}$$

Tabla 17. Resultados del Test K-S del Proceso Mezclado (Tanques). Fuente: Propia

Valor	Probabilidad	Z	F(Z)	1-F(Z)
50,42	0,1	-1,409	0,0791	0,0209
50,71	0,2	-1,359	0,0872	0,1128
54,26	0,3	-0,717	0,2365	0,0635
55,63	0,4	-0,47	0,3191	0,0809
57,51	0,5	-0,131	0,4478	0,0522
58,45	0,6	0,038	0,5151	0,0849
58,51	0,7	0,049	0,5195	0,1805
63,08	0,8	0,872	0,8082	0,0082
65,07	0,9	1,229	0,8908	0,0092
68,74	1	1,894	0,9706	0,0294

Cálculo de D_n : $\alpha = 0.05$

$$D_n = \max |Fn(X_i) - \varphi(Z_i)| = 0.1805$$

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{10} \approx 0.430$$

$$D_n = 0.1805 < D_{critico} = 0.430$$

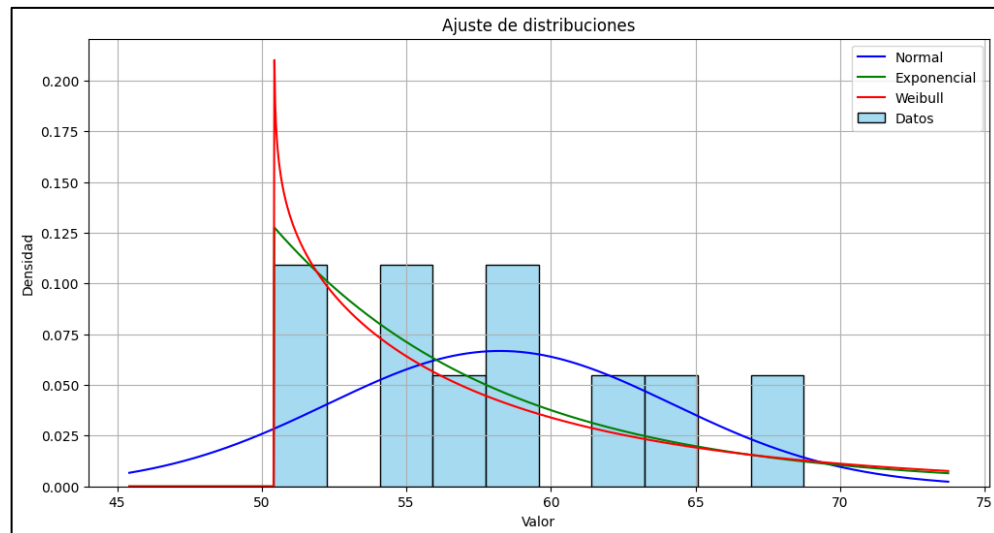


Figura 16. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado (Tanques). Fuente: Propia

El gráfico muestra el ajuste de distribuciones Normal frente a los datos observados. La curva de distribución normal en rojo o línea continua se superpone estrechamente con el histograma de los datos, indicando un alto grado de coincidencia. Las densidades de probabilidad (eje Y) y los valores (eje X) reflejan que la mayoría de las observaciones caen dentro del rango esperado para una distribución normal aproximadamente entre 50 y 70.

Proceso de mezclado (Azúcar):

$X = (34.67, 34.62, 31.73, 40.86, 36.73, 34.46, 43.86, 40.65, 35.29, 42.22)$

$X(i) = (34.67, 34.62, 31.73, 40.86, 36.73, 34.46, 43.86, 40.65, 35.29, 42.22)$

Tamaño de la muestra: $n = 10$

Cálculo la media y desviación estándar:

$$\mu = \frac{1}{10} (34.67, 34.62, 31.73, 40.86, 36.73, 34.46, 43.86, 40.65, 35.29, 42.22) = 37.509$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X(i) - \mu)^2} \approx 4.059$$

Cálculo del Test K-S:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma}, \quad F(X_i) = \varphi(Z_i), \quad Fn(X_i) = \frac{i}{n}$$

Tabla 18. Resultados del Test K-S del Proceso Mezclado (Azúcar). Fuente: Propia

Valor	Probabilidad	F(Z)	1-F(Z)
31,73	0,1	0,0772	0,0228
34,46	0,2	0,2263	0,0263
34,62	0,3	0,2383	0,0617
34,67	0,4	0,2421	0,1579
35,29	0,5	0,2923	0,2077
36,73	0,6	0,4239	0,1761
40,65	0,7	0,7805	0,0805
40,86	0,8	0,7955	0,0045
42,22	0,9	0,8771	0,0229
43,86	1	0,9412	0,0588

Cálculo de D_n : $\alpha = 0.05$

$$D_n = \max |Fn(X_i) - \varphi(Z_i)| = 0.208$$

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{10} \approx 0.430$$

$$D_n = 0.208 < D_{critico} = 0.430$$

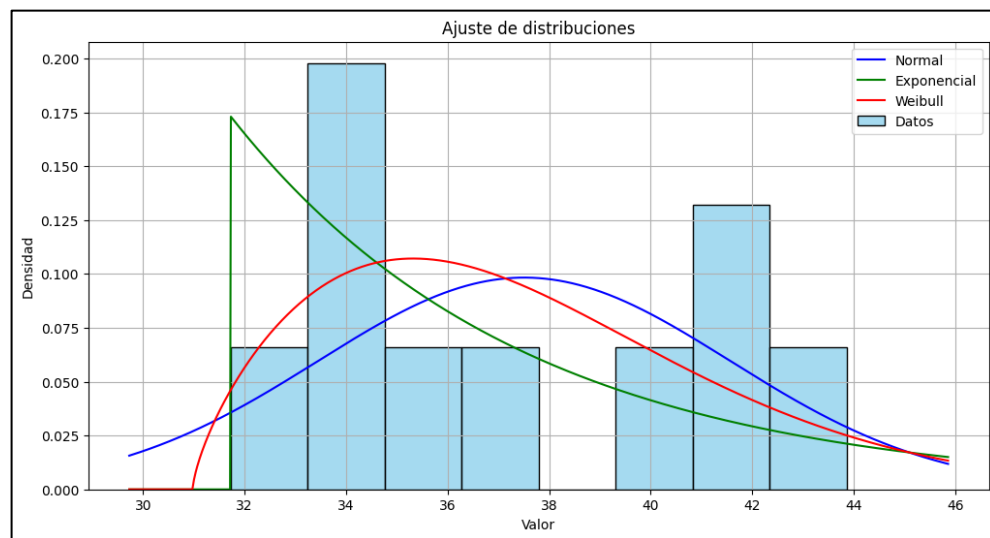


Figura 17. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado (Azúcar). Fuente: Propia

El análisis gráfico y estadístico confirma que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal, como evidencia la superposición casi perfecta entre la curva normal teórica y el histograma observado. La prueba de Kolmogorov-Smirnov respalda este resultado, indicando que no hay diferencias significativas entre la distribución empírica y la normal.

Proceso de Mezclado (Marmita):

$X = (4.96, 4.88, 4.85, 4.76, 4.48, 5.10, 4.72, 4.52, 4.49, 4.96)$

$X_{(i)} = (4.48, 4.49, 4.52, 4.72, 4.76, 4.85, 4.88, 4.96, 4.96, 5.10)$

Tamaño de la muestra: $n = 10$

Cálculo la media y desviación estándar:

$$\mu = \frac{1}{10}(4.48, 4.49, 4.52, 4.72, 4.76, 4.85, 4.88, 4.96, 4.96, 5.10) = 4.872$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X(i) - \mu)^2} \approx 0.193$$

Cálculo del Test K-S:

$$Zi = \frac{Xi - \mu}{\sigma}, F(Xi) = \varphi(Zi), Fn(Xi) = \frac{i}{n}$$

Tabla 19. Resultados del Test K-S del Proceso Mezclado (Marmita). Fuente: Propia

Valor	Probabilidad	F(Z)	1-F(Z)
4,48	0,1	0,0212	0,0788
4,49	0,2	0,0239	0,1761
4,52	0,3	0,0344	0,2656
4,72	0,4	0,2177	0,1823
4,76	0,5	0,2802	0,2198
4,85	0,6	0,4562	0,1438
4,88	0,7	0,5159	0,1841
4,96	0,8	0,6772	0,1228
4,96	0,9	0,6772	0,2228
5,1	1	0,8808	0,1192

Cálculo de D_n : $\alpha = 0.05$

$$D_n = \max |Fn(Xi) - \varphi(Zi)| = 0.3808$$

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{10} \approx 0.430$$

$$D_n = 0.3808 < D_{critico} = 0.430$$

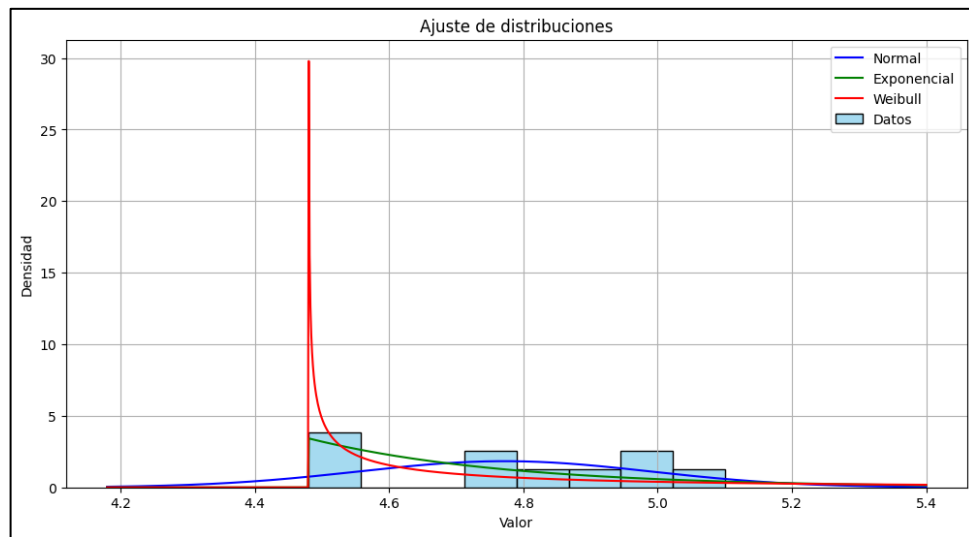


Figura 18. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado (Marmita). Fuente: Propia

El gráfico muestra claramente cómo la distribución normal línea continua se ajusta estrechamente a los datos observados, superponiéndose casi perfectamente con el histograma en el rango de valores entre 4.2 y 5.4. Este ajuste visual se corrobora estadísticamente mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Proceso de Dosificación:

$X = (5.32, 5.34, 5.75, 5.35, 5.97, 5.60, 5.44, 5.66, 5.95, 5.87)$

$X(i) = (5.32, 5.34, 5.35, 5.44, 5.60, 5.66, 5.75, 5.87, 5.95, 5.97)$

Tamaño de la muestra: $n = 10$

Cálculo de la media y desviación estándar:

$$\mu = \frac{1}{10} (5.32, 5.34, 5.35, 5.44, 5.60, 5.66, 5.75, 5.87, 5.95, 5.97) = 5.625$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X(i) - \mu)^2} \approx 0.2346$$

Cálculo del Test K-S:

$$Zi = \frac{Xi - \mu}{\sigma}, \quad F(Xi) = \varphi(Zi), \quad Fn(Xi) = \frac{i}{n}$$

Tabla 20. Resultados del Test K-S del Proceso de Dosificado. Fuente: Propia

Valor	Probabilidad	Z	F(Z)	1-F(Z)
5.32	0.1	-1.298	0.1160	0.0160
5.34	0.2	-1.213	0.1321	0.0679
5,35	0,3	-1,171	0,1406	0,1594
5,44	0,4	-0,787	0,2343	0,1657
5,6	0,5	-0,106	0,461	0,039
5,66	0,6	0,149	0,5545	0,0455
5,75	0,7	0,534	0,6879	0,0121
5,87	0,8	1,045	0,8315	0,0315
5,95	0,9	1,384	0,8986	0,0014
5,97	1	1,474	0,9118	0,0882

Cálculo de D_n : $\alpha = 0.05$

$$D_n = \max |Fn(Xi) - \varphi(Zi)| = 0.1657$$

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{10} \approx 0.430$$

$$D_n = 0.1657 < D_{critico} = 0.430$$

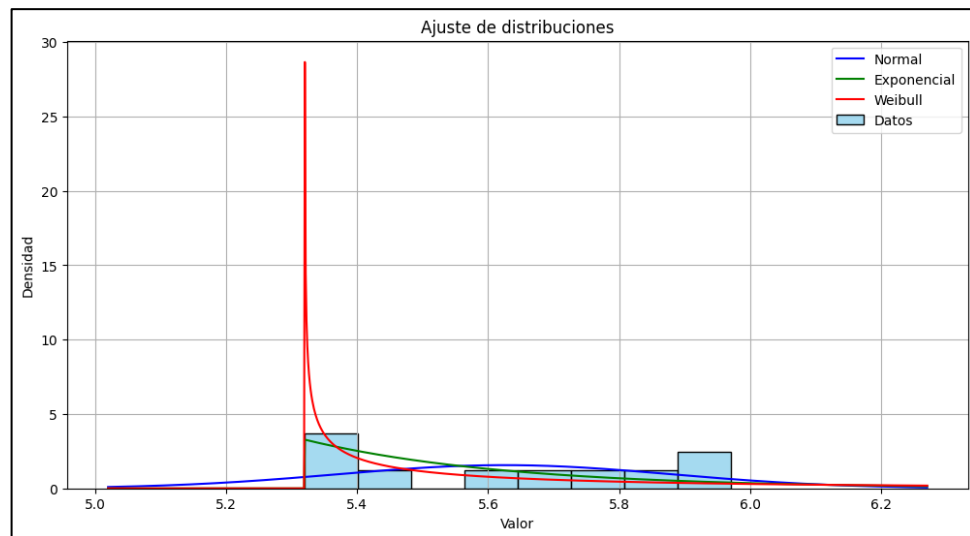


Figura 19. Gráfico de Distribución Proceso de Dosificación. Fuente: Propia

La representación gráfica demuestra un notable ajuste entre la distribución normal teórica y los datos observados en el rango de 5.0 a 6.2, donde la curva normal se superpone consistentemente con la distribución de frecuencias reales. Este alineamiento visual se complementa con los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Proceso de Lavado y Tapado:

$X = (15.81, 16.88, 16.74, 15.71, 16.81, 16.02, 16.79, 16.26, 16.11, 16.04)$

$X(i) = (15.71, 15.81, 16.02, 16.04, 16.11, 16.26, 16.74, 16.79, 16.81, 16.88)$

Tamaño de la muestra: $n = 10$

Cálculo de la media y desviación estándar:

$$\mu = \frac{1}{10} (15.71, 15.81, 16.02, 16.04, 16.11, 16.26, 16.74, 16.79, 16.81, 16.88) \\ = 16.217$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X(i) - \mu)^2} \approx 0.4186$$

Cálculo del Test K-S:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma}, \quad F(X_i) = \varphi(Z_i), \quad Fn(X_i) = \frac{i}{n}$$

Tabla 21. Resultados del Test K-S del Proceso de Lavado y Tapado. Fuente: Propia

Valor	Probabilidad	Z	F(Z)	1-F(Z)
15,71	0,1	-1,213	0,1125	0,0125
15,81	0,2	-0,973	0,1652	0,0348
16,02	0,3	-0,471	0,3187	0,0187
16,04	0,4	-0,422	0,337	0,063
16,11	0,5	-0,256	0,3989	0,1011
16,26	0,6	0,103	0,5411	0,0589
16,74	0,7	1,25	0,8944	0,1944
16,79	0,8	1,368	0,9145	0,1145
16,81	0,9	1,417	0,9222	0,0222
16,88	1	1,585	0,9437	0,0563

Cálculo de D_n : $\alpha = 0.05$

$$D_n = \max |Fn(X_i) - \varphi(Z_i)| = 0.1944$$

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{10} \approx 0.430$$

$$D_n = 0.1944 < D_{critico} = 0.430$$

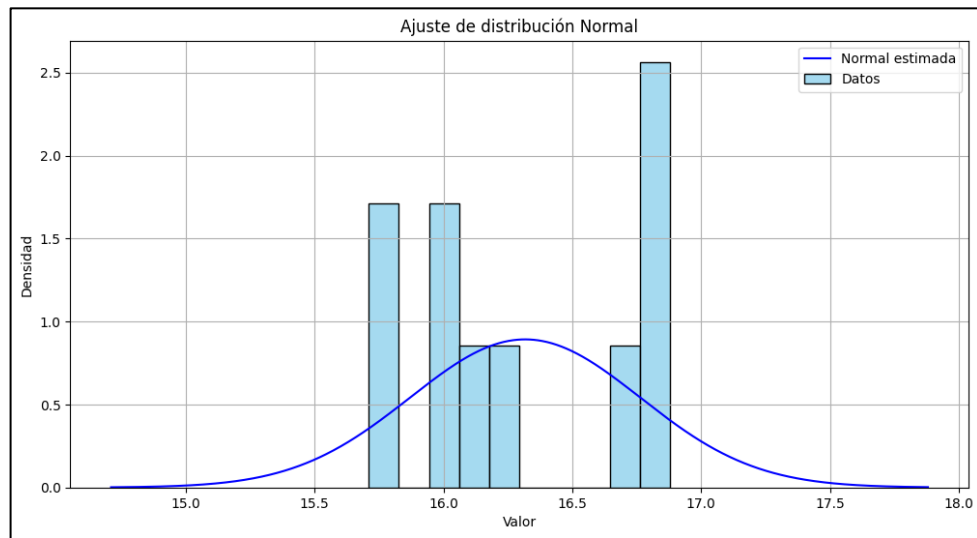


Figura 20. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado de Lavado y Tapado. Fuente: Propia

El gráfico evidencia un excelente ajuste entre la distribución normal estimada y los datos observados en el rango de 15.0 a 18.0 unidades, mostrando una notable coincidencia en la forma de la curva y la distribución de los valores. Esta correspondencia visual se confirma mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Proceso de Etiquetado:

$X = (34.93, 34.51, 33.57, 33.19, 35.08, 34.94, 35.83, 33.24, 34.40, 35.87)$

$X_{(i)} = (33.19, 33.24, 33.57, 34.40, 34.51, 34.93, 34.94, 35.08, 35.83, 35.87)$

Tamaño de la muestra: $n = 10$

Cálculo de la media y desviación estándar:

$$\mu = \frac{1}{10} (33.19, 33.24, 33.57, 34.40, 34.51, 34.93, 34.94, 35.08, 35.83, 35.87) = 34.556$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X(i) - \mu)^2} \approx 0.960$$

Cálculo del Test K-S:

$$Zi = \frac{Xi - \mu}{\sigma}, F(Xi) = \varphi(Zi), Fn(Xi) = \frac{i}{n}$$

Tabla 22. Resultados del Test K-S del Proceso de Etiquetado. Fuente: Propia

Valor	Probabilidad	Z	F(Z)	1-F(Z)
33.19	0.1	-1.424	0.0773	0.0227
33.24	0.2	-1.388	0.0827	0.01173
33,57	0,3	-1,027	0,1527	0,1473
34,4	0,4	-0,163	0,4352	0,0352
34,51	0,5	-0,049	0,4804	0,0196
34,93	0,6	0,397	0,6548	0,0548
34,94	0,7	0,407	0,6585	0,0415
35,08	0,8	0,547	0,7077	0,0923
35,83	0,9	1,336	0,909	0,009
35,87	1	1,379	0,9168	0,0832

Cálculo de D_n : $\alpha = 0.05$

$$D_n = \max |Fn(Xi) - \varphi(Zi)| = 0.1473$$

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{10} \approx 0.430$$

$$D_n = 0.1473 < D_{critico} = 0.430$$

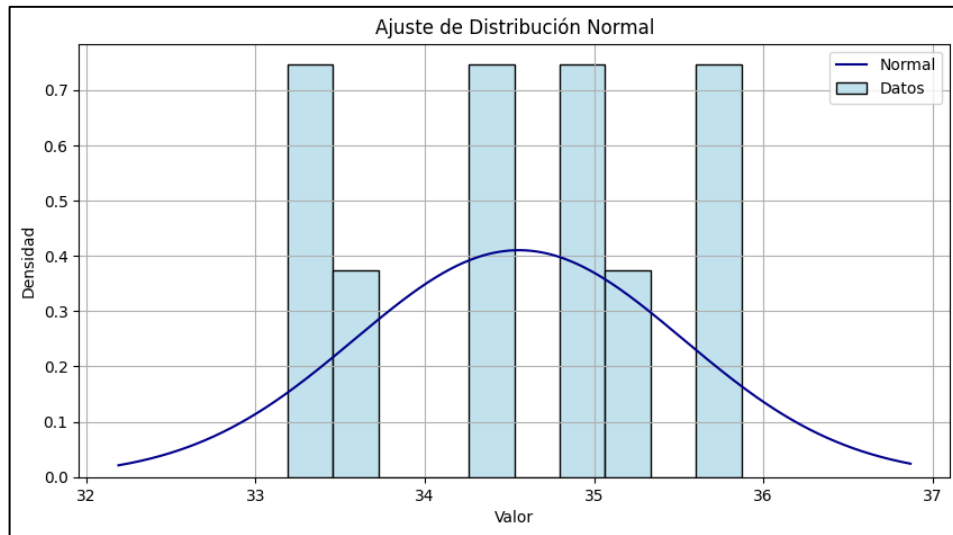


Figura 21. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado de Etiquetado. Fuente: Propia

El análisis gráfico y estadístico confirma que los datos siguen adecuadamente una distribución normal. La curva de distribución normal teórica se ajusta correctamente a los valores observados, mostrando una notable coincidencia tanto en la tendencia central como en las colas de la distribución. Esta observación visual se corrobora mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Proceso de Marcado:

$X = (4.43, 4.41, 4.34, 4.34, 4.27, 4.41, 4.39, 4.31, 4.37, 4.39)$

$X_{(i)} = (4.27, 4.31, 4.34, 4.34, 4.37, 4.39, 4.39, 4.41, 4.41, 4.43)$

Tamaño de la muestra: $n = 10$

Cálculo de la media y desviación estándar:

$$\mu = \frac{1}{10} (4.27, 4.31, 4.34, 4.34, 4.37, 4.39, 4.39, 4.41, 4.41, 4.43) = 4.366$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X(i) - \mu)^2} \approx 0.0534$$

Cálculo del Test K-S:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma}, \quad F(X_i) = \varphi(Z_i), \quad Fn(X_i) = \frac{i}{n}$$

Tabla 23. Resultados del Test K-S del Proceso de Mercado. Fuente: Propia

Valor	Probabilidad	F(Z)	1-F(Z)
4,27	0,1	0,0163	0,0837
4,31	0,2	0,1027	0,0973
4,34	0,3	0,1752	0,1248
4,34	0,4	0,1752	0,2248
4,37	0,5	0,2869	0,2131
4,39	0,6	0,3592	0,2408
4,39	0,7	0,3592	0,3408
4,41	0,8	0,4727	0,3273
4,41	0,9	0,4727	0,4273
4,43	1	0,5611	0,4389

Cálculo de D_n : $\alpha = 0.05$

$$D_n = \max |Fn(X_i) - \varphi(Z_i)| = 0.4389$$

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{10} \approx 0.430$$

$$D_n = 0.4389 < D_{critico} = 0.430$$

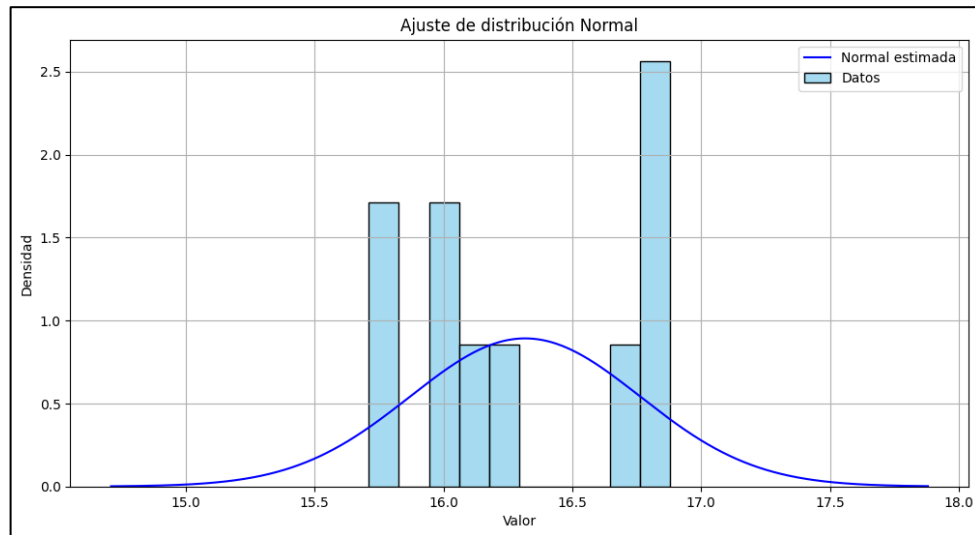


Figura 22. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado de Mercado. Fuente: Propia

La representación gráfica muestra un claro ajuste entre la distribución normal estimada y los datos observados en el rango de 15.0 a 18.0 unidades. La curva normal se superpone notablemente con la distribución de los valores reales, particularmente en la zona central entre 16.5 y 17.5 unidades, donde se concentra la mayor densidad de datos. Este alineamiento visual se corrobora estadísticamente mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Proceso de Empacado:

$X = (4.44, 4.26, 4.41, 4.30, 4.25, 4.36, 4.28, 4.36, 4.29, 4.33)$

$X_{(i)} = (4.25, 4.26, 4.28, 4.29, 4.30, 4.33, 4.36, 4.36, 4.41, 4.44)$

Tamaño de la muestra:

$n = 10$

Calcular la media y desviación estándar

$$\mu = \frac{1}{10} (4.25, 4.26, 4.28, 4.29, 4.30, 4.33, 4.36, 4.36, 4.41, 4.44) = 4.328$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X(i) - \mu)^2} \approx 0.0641$$

Cálculo del Test K-S

$$Z_i = \frac{X_i - \mu}{\sigma}, \quad F(X_i) = \varphi(Z_i), \quad F_n(X_i) = \frac{i}{n}$$

Tabla 24. Resultados del Test K-S del Proceso de Empacado. Fuente: Propia

Valor	Probabilidad	Z	F(Z)	1-F(Z)
4,25	0,1	-1,2147	0,1124	0,0124
4,26	0,2	-1,0593	0,1455	0,0545
4,28	0,3	-0,7484	0,2272	0,0728
4,29	0,4	-0,593	0,2762	0,1238
4,3	0,5	-0,4377	0,3302	0,1698
4,33	0,6	0,0312	0,5124	0,0876
4,36	0,7	0,4672	0,6806	0,0194
4,36	0,8	0,4672	0,6806	0,1194
4,41	0,9	1,28	0,8997	0,0003
4,44	1	1,738	0,9586	0,0414

Cálculo de D_n : $\alpha = 0.05$

$$D_n = \max |Fn(X_i) - \varphi(Z_i)| = 0.1698$$

$$D_{critico} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = \frac{1.36}{10} \approx 0.430$$

$$D_n = 0.1698 < D_{critico} = 0.430$$

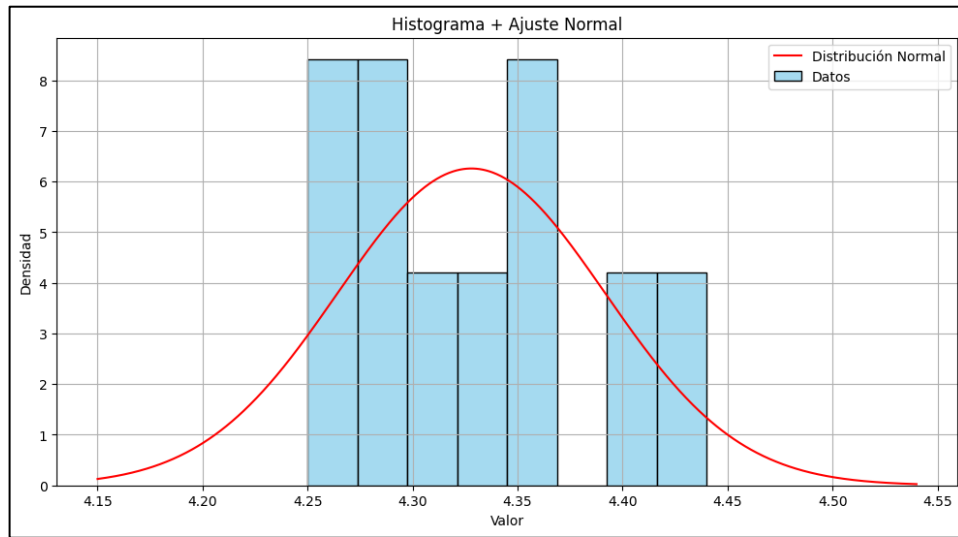


Figura 23. Gráfico de Distribución Proceso Mezclado de Empacado. Fuente: Propia

El histograma revela un notable ajuste entre los datos observados y la distribución normal teórica en el rango de 4.15 a 4.55 unidades. La curva normal se superpone eficazmente con la distribución de frecuencias reales, mostrando una coincidencia especialmente precisa en el intervalo central 4.30 - 4.40 unidades donde se concentra la mayor densidad de datos. Este ajuste visual se corrobora estadísticamente mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

5.4 Formulación del Modelo de Simulación de Eventos Discretos:

Para la formulación del modelo de simulación, se desarrollaron inicialmente diversas herramientas orientadas a comprender en profundidad tanto el flujo de materiales como el flujo de trabajo dentro del proceso de producción de Licor Escarchado. Estas herramientas resultan esenciales, ya que permiten identificar con mayor precisión las etapas clave del proceso, los recursos implicados y las posibles fuentes de ineficiencia.

Entre las herramientas implementadas, se destaca el diagrama de recorrido, el cual proporciona una representación gráfica detallada de la trayectoria seguida por los materiales, los operarios y los equipos dentro de la planta (Ver Figura 24). Esta representación facilita la visualización de la secuencia operativa, los desplazamientos y las interacciones entre los distintos elementos del sistema, siendo un insumo fundamental para el diseño del modelo de simulación en software especializado.

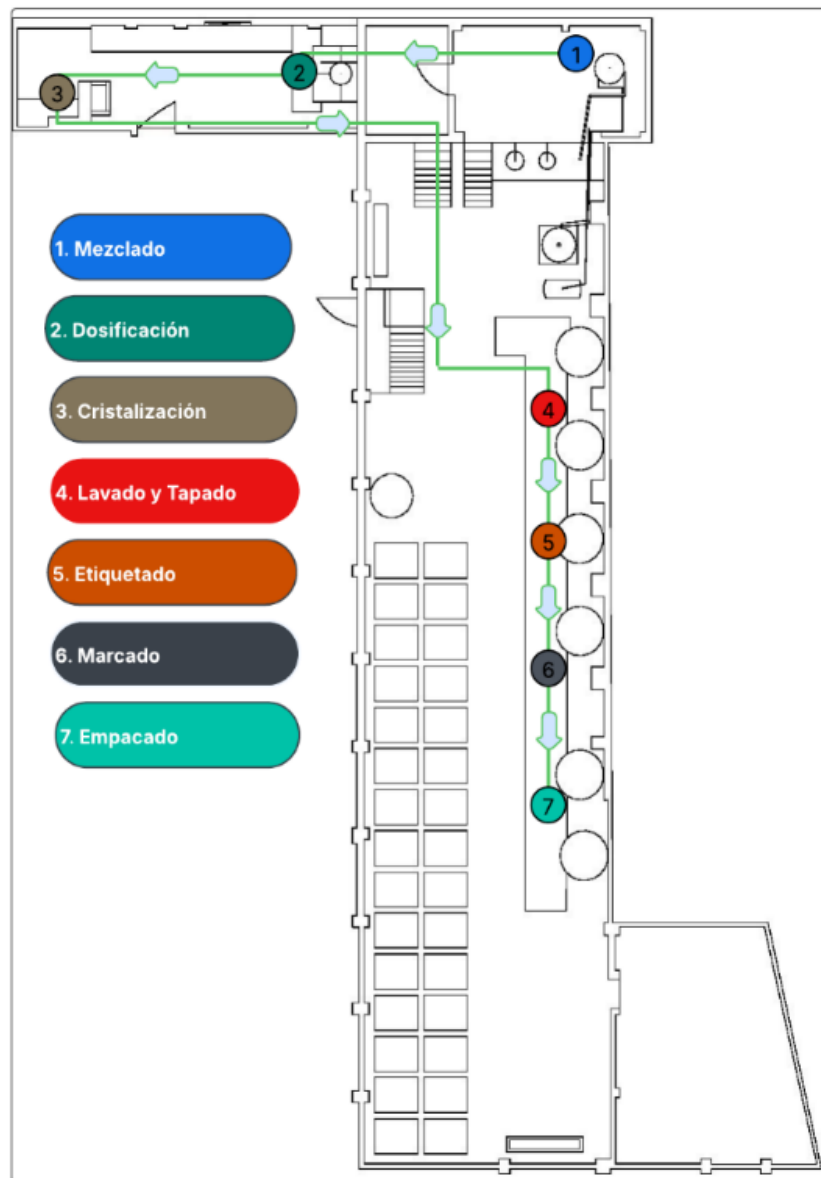


Figura 24. Diagrama de Recorrido. Fuente: Propia.

Además del diagrama de recorrido, se emplearon otras representaciones clave para complementar el análisis y proporcionar una visión integral del proceso productivo. Entre estas herramientas, se destaca el plano de planta elaborado en AutoCAD, el cual proporciona una vista detallada y precisa de la disposición física de las áreas de trabajo, los equipos utilizados y las zonas de almacenamiento (Ver Figura 25). Esta representación permite evaluar de manera eficiente la distribución espacial de los recursos, identificar posibles interferencias en el flujo operativo y analizar la interacción entre los distintos componentes del sistema productivo. La incorporación de este plano en el modelo de simulación contribuye a aumentar el realismo del escenario modelado, asegurando una mejor alineación entre el entorno simulado y la operación real.

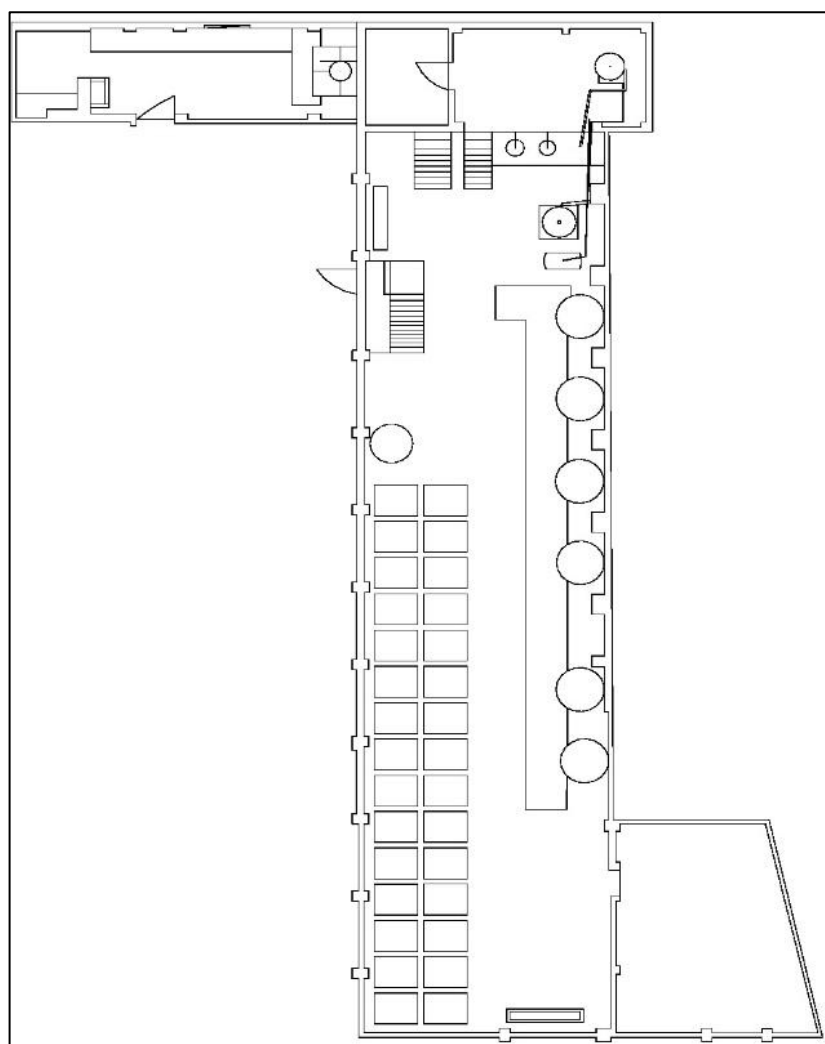


Figura 25. Planos en 2D del Proceso de Producción. Fuente: Propia

Así mismo, se creó un modelo en 3D utilizando el software SketchUp, con el objetivo de proporcionar una representación tridimensional detallada del entorno productivo. Esta herramienta facilita una visualización más realista y comprensible de la estructura del proceso, permitiendo identificar con mayor claridad oportunidades de mejora en la organización del espacio físico, la disposición de los equipos y la circulación de operarios y materiales dentro de la planta (Ver Figuras 26 y 27). La integración del modelo 3D fortalece el análisis espacial al complementar la información proporcionada por el plano en AutoCAD, y sirve como base visual para futuras simulaciones dinámicas y presentaciones técnicas del proyecto.



Figura 26. Planos en 3D del Proceso de Producción. Fuente: Propia.

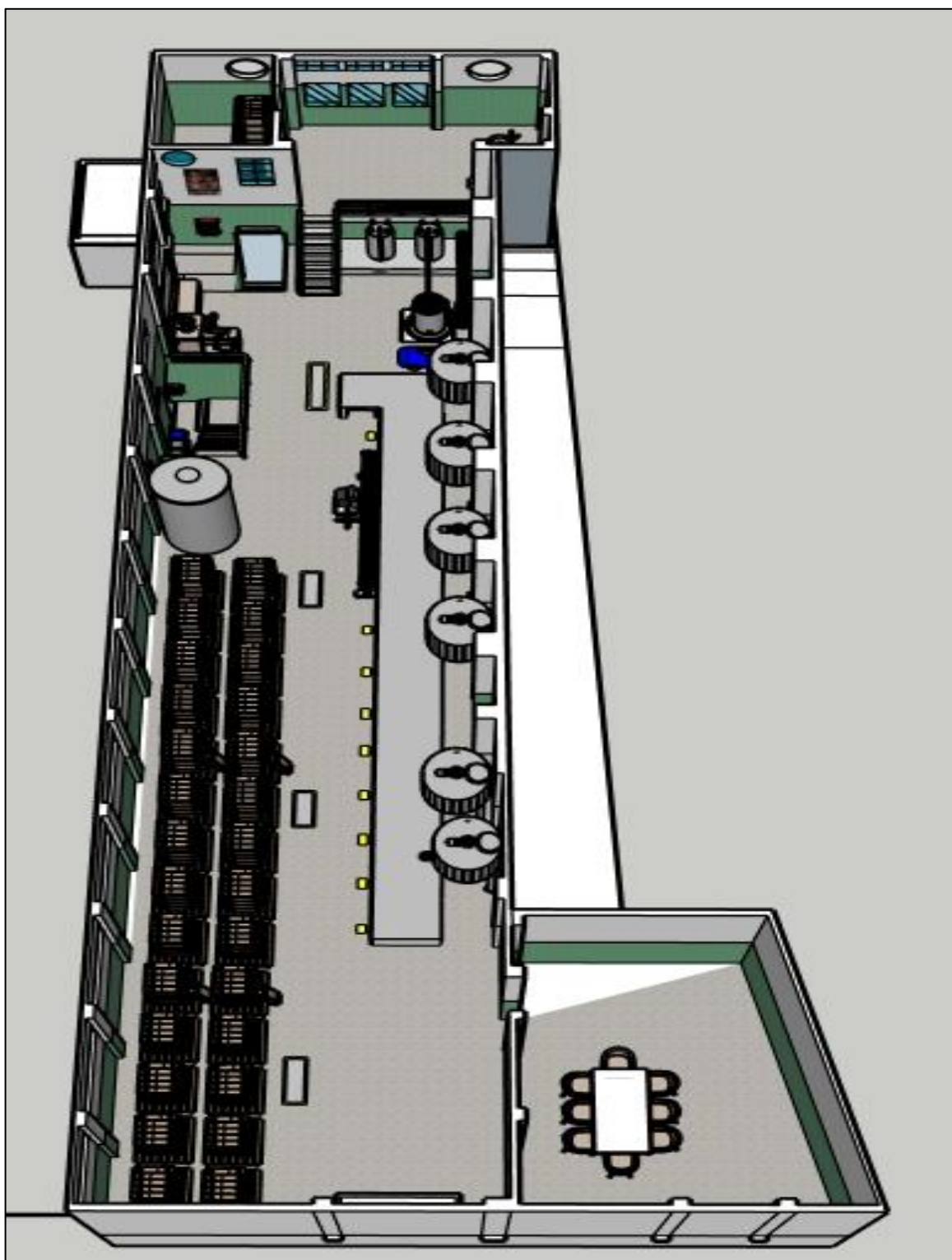


Figura 27. Visualización de Toda el Área en 3D del Proceso de Producción. Fuente: Propia.

5.5 Implementación del Modelo en Simulación de Eventos Discretos

Para llevar a cabo la implementación del modelo, el primer paso consistió en trasladar el proceso de producción de Licor Escarchado desde su entorno físico a un entorno virtual mediante el uso del software FlexSim. Esta etapa implicó la creación de una representación digital detallada del sistema productivo, en la cual se modelaron con precisión las actividades, eventos y componentes que conforman la operación real.

La construcción del modelo virtual requirió definir con exactitud las diferentes entidades involucradas, como los productos, operarios, máquinas y flujos de trabajo. Se tuvo especial cuidado en representar las interacciones y secuencias entre estos elementos, con el fin de asegurar que el comportamiento del modelo simulado reflejara fielmente la dinámica del sistema real.

Dentro del entorno de FlexSim, se estructuraron todos los elementos del proceso en bloques funcionales, lo cual permitió visualizar y analizar de forma clara el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones. Entre las entidades utilizadas en la simulación se incluyen: Source, Processor, Combiner, A Navigation*, Conveyors, Queue, Operator, ItemToFluid, FluidToItem y Fluid Pipe.

Para garantizar que el modelo de simulación represente con precisión los cálculos derivados del Value Stream Mapping (VSM) y los datos recopilados durante las visitas técnicas, se desarrolló un primer escenario que refleja fielmente el estado actual del proceso de producción de Licor Escarchado (Ver Figura 28).

Este modelo inicial tiene como propósito ofrecer una representación visual y operativa detallada del flujo de trabajo, lo que facilita la detección de posibles ineficiencias, cuellos de botella y oportunidades de mejora dentro del sistema productivo. Mediante esta herramienta, se busca comprender a fondo las dinámicas del proceso y establecer una base sólida para futuras acciones de optimización.

El enfoque de la simulación se centra en capturar con precisión las actividades involucradas, los tiempos de ciclo, el desplazamiento de materiales y otros factores críticos que influyen directamente en la eficiencia y productividad del sistema. Esta primera versión del modelo no solo permite analizar el rendimiento actual, sino que también constituye el punto de partida para la formulación e implementación de estrategias de mejora, impulsando así la transición hacia un proceso más ágil, eficiente y competitivo.

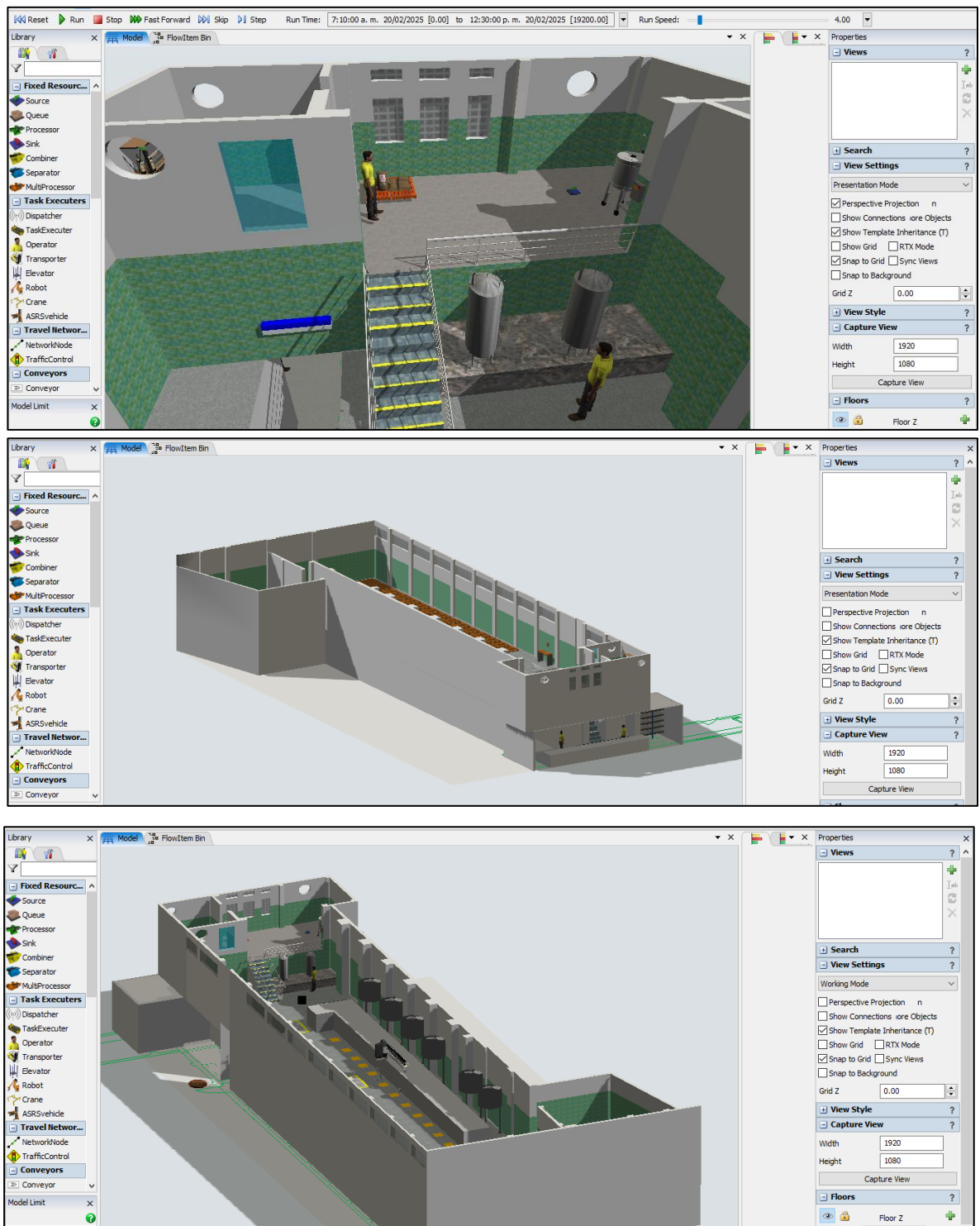


Figura 28. Plano de Simulación Línea de Producción. Fuente: Propia.

Parametrización de Variables de Entrada del Modelo:

Tabla 25. Parametrización del Modelo. Fuente: Propia.

Variable	Valor
Turno operativo	8 horas/día
Numero de operarios	7 en planta
Frecuencia de trabajo	20 días/mes
Producción total	1440 botellas
Cajas de salida	12 unidades por caja
Tiempo disponible total (TD)	25.200 seg/día
Tiempo de demanda diaria (DD)	72 u/día
Takt Time	350 seg/unidad

Tabla 26. Definición de Procesos y Tiempos de Espera. Fuente: Propia.

Proceso	Tiempo Ciclo (seg)	Tiempo Espera	Und Salidas
Mezclado	15	7:00 - 7:10; 8:00 - 9:00; 10:00 - 10:50; 11:50 - 2:00	1440 Botellas
Dosificación	56.25	8:00-9:00; 9:00- 10:00; 10:00 - 11:00	1440 Botellas
Cristalizado	221.02	7:00; 2:00	1428 Botellas
Lavado y Tapado	16.32	0	1428 Botellas
Etiquetado	34.56	0	1428 Botellas
Marcado	4.37	0	1428 Botellas
Empacado	4.33	0	119 Cajas

Tabla 27. Recursos utilizados en el modelo. Fuente: Propia.

Flexsim			
Recursos	Cantidad	Unidades	Distribución
Operarios	7	Segundos	Normal
Source	3	Segundos	Normal
Queue	6	Segundos	Normal
Processor	7	Segundos	Normal
Combiner	2	Segundos	Normal
MultiProcessor	1	Segundos	Normal
NetworkNode	15	Unidades	Normal
Rack	1	Segundos	Normal
FluidToke	1	Mililitros	Normal

FluidMixer	1	Mililitros	Normal
Fluidpipe	1	Mililitros	Normal
FluidToFluid	1	Mililitros	Normal

En la línea de Escarchados, la empresa cuenta con seis operarios responsables de ejecutar las actividades necesarias para la elaboración del Licor. Estos colaboradores participan en todas las etapas del proceso, siguiendo el procedimiento establecido. Para simplificar el modelo de simulación, se asignó a cada operario una tarea específica, en lugar de replicar la dinámica real donde todos intervienen en múltiples procesos. Esta decisión se adoptó con el objetivo de visualizar con mayor claridad el flujo de trabajo, evitando complicaciones en el análisis. De esta manera, se replicó la capacidad real de producción asignando un operario por proceso y escalando su impacto según la cantidad total de personal (seis operarios en total). El proceso completo de producción tiene una duración de ocho días, ajustándose a la receta requerida para obtener el producto final.

La simulación inicia a las 6:00 a. m. En esta primera etapa, el modelo permanece estático, ya que personal externo realiza la limpieza y desinfección de los equipos antes de comenzar la producción. Una vez preparado el área, el proceso continúa con el aprovisionamiento de materias primas. Para esto, se diseñaron los siguientes flujos principales:

Alcohol y agua: Se representaron estos insumos en baldes de 10 litros. En total, los operarios manipularon 13 baldes: 7 con agua y 6 con alcohol. Se asignó un operario la tarea de transportarlos hasta un Combiner (que simula la marmita), donde se mezclan estos insumos.

Azúcar, esencia y colorante: El operario transporta los bultos de azúcar (50 kg cada uno) desde un Processor hasta la marmita. La adición del azúcar se realiza en intervalos específicos para garantizar un proceso controlado. Posteriormente, ese mismo operario lleva la esencia (10 ml) y, si es necesario, el colorante (5 g en polvo) desde otro Processor hasta la marmita.

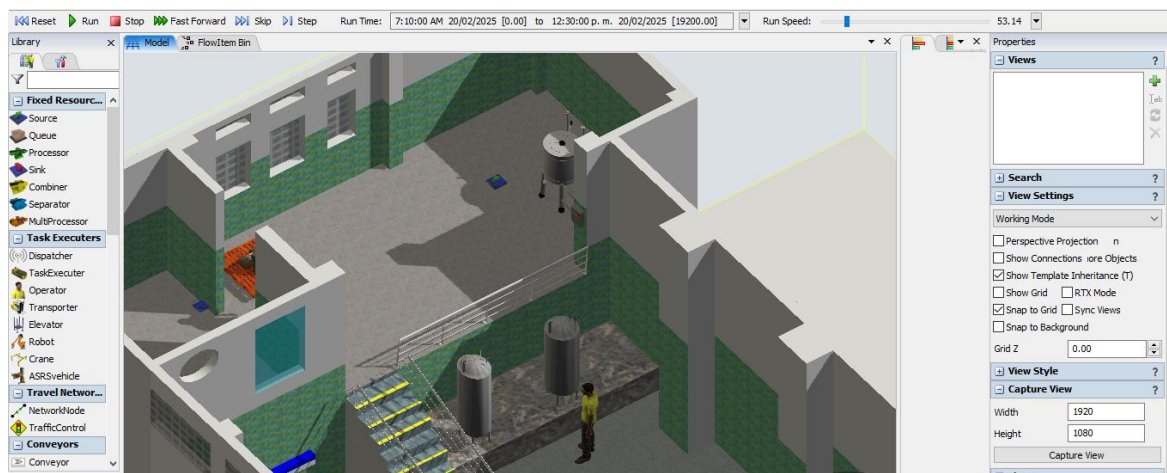


Figura 29. Área de Esencia, Azúcar, Alcohol y Agua. Fuente: propia.

Una vez incorporadas todas las materias primas, comienza la preparación del jarabe. Durante esta fase, se programó la adición de los tres bultos de azúcar en momentos precisos, distribuidos a lo largo del tiempo de procesamiento. Esto asegura una mezcla homogénea y el cumplimiento exacto de los parámetros de producción.

Cuando el jarabe está preparado, se traslada al sótano, donde ingresa a un reactor (ItemToFluid). Posteriormente, pasa a una dosificadora (FluidToItem), equipada con ocho boquillas, encargada de llenar las botellas con el Licor. En esta etapa, el operario coloca las botellas vacías en la dosificadora, las retira una vez llenas y las ubica en un mesón cercano. Luego, el mismo operario recoge las botellas del mesón y las transporta al área de cristalización, representada en la simulación por un Rack.

Este flujo de trabajo se repitió tres veces, ya que la producción incluye tres sabores diferentes del Licor. Cada ciclo sigue el mismo procedimiento, lo que garantiza la uniformidad en el proceso y permite mantener la eficiencia operativa.

Una vez completado el tiempo de cristalización y alcanzado el nivel deseado de Escarchado, el operario retira las botellas del Rack y las traslada al segundo piso, donde las coloca en un mesón (Queue). Desde allí, ingresan a un multiproceso que engloba tres operaciones clave: lavado superficial de botellas, tapado con máquina colchadora y lavado profundo. Estas tareas se ejecutan en un solo turno, optimizando el flujo de producción.



Figura 30. Área de Lavado y tapado (Multiprocesor). Fuente: Propia.

Posteriormente, las botellas pasan a la etapa de etiquetado, representada por un Processor. Dado que este proceso es completamente manual, el tiempo de simulación fue ajustado para reflejar la duración real de la actividad, equivalente a dos turnos de trabajo. En el siguiente turno, el operario lleva las botellas al área de marcaje (Processor), donde se imprimen las fechas de producción y los códigos de lote utilizando una máquina VideoJet.

Finalmente, las botellas se transportan a un Combiner para la etapa de embalaje. Aquí, se empaican en cajas de 12 unidades y se organizan en estibas, listas para su traslado al área de almacenamiento.



Figura 31. Proceso de Embalaje Simulado. Fuente: propia.

Capítulo 6.

6. Resultados Tercera Fase

6.1 Validación del Modelo de Simulación del Proceso de Licor Escarchado:

Para que el modelo de simulación sea útil en la toma de decisiones, es fundamental que represente de manera precisa el comportamiento del proceso real. Esta validación se llevó a cabo comparando los datos generados por la simulación con información histórica del proceso, obtenida a través de herramientas como el Value Stream Mapping (VSM).

El propósito fue comprobar que el modelo virtual reflejara fielmente las operaciones que se realizan en planta, permitiendo identificar diferencias y hacer los ajustes necesarios en los parámetros. Solo de esta manera es posible asegurar que los resultados obtenidos tengan la consistencia necesaria para proponer mejoras al proceso productivo.

Para lograr una representación adecuada, se analizó el proceso durante un turno específico de trabajo. Este ciclo productivo completo opera dentro de un marco temporal de 25.200 segundos al día, equivalentes a siete horas netas de labor. Este tiempo ya contempla la hora de descanso de los operarios, lo cual permite trabajar con datos reales de capacidad. Además, el análisis incluyó la cantidad de unidades requeridas (Ver Figura 32), un aspecto clave para determinar si el sistema tiene la capacidad suficiente para responder a la demanda.

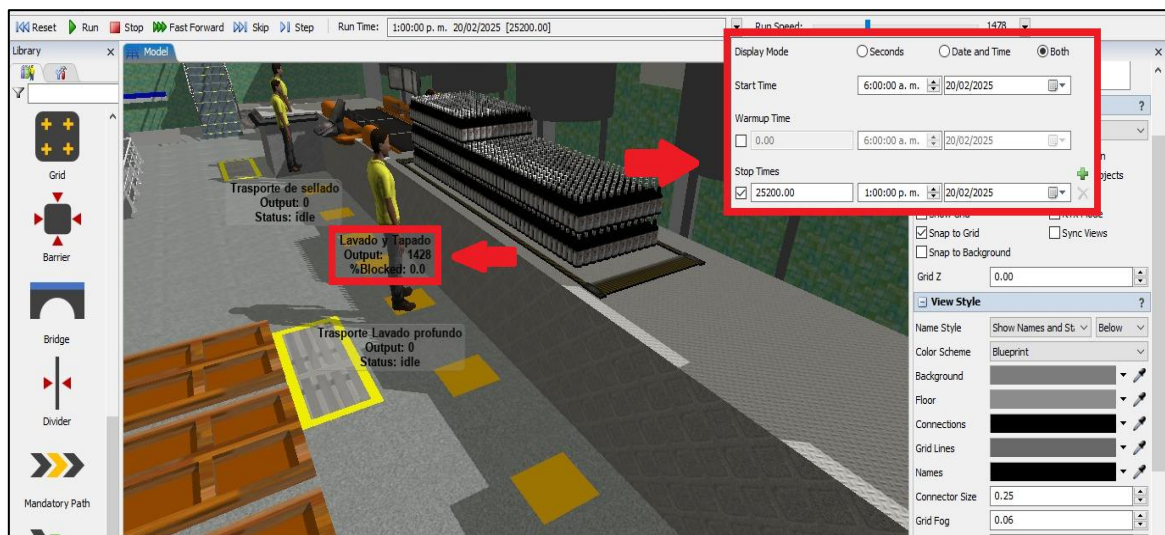


Figura 32. Validación de Tiempo de Turno Start Time y Stop Time. Fuente: Propia

A partir de los datos obtenidos en el Value Stream Mapping (VSM) (Ver Tabla 8), se estableció un takt time de 353 segundos por unidad. Para comprobar que este valor se refleja correctamente en el modelo de simulación, se validó mediante el siguiente cálculo:

$$TackTime: \frac{Tiempo\ Disponible}{\frac{Demanda\ Mensual}{Días\ Laborados\ Mes}}$$

- **Tiempo productivo disponible:** 25,200 segundos diarios (7 horas netas de trabajo)
- **Volumen de demanda mensual:** 1,428 unidades
- **Días hábiles de producción:** 20 días al mes

$$TackTime: \frac{25200}{\frac{1428}{20}} = 352,9$$

El tiempo de ciclo es un parámetro clave para evaluar si el modelo de simulación refleja fielmente la realidad, ya que determina la eficiencia de cada etapa del proceso. Para validar este aspecto, se recopilaron los tiempos de ciclo reales del proceso, previamente documentados en el Value Stream Mapping (ver Tabla 5), y se contrastaron con los tiempos generados por la simulación. Como ejemplo ilustrativo, en la Figura 33 se presenta el dashboard donde se encuentra el tiempo de ciclo del proceso de lavado y tapado,

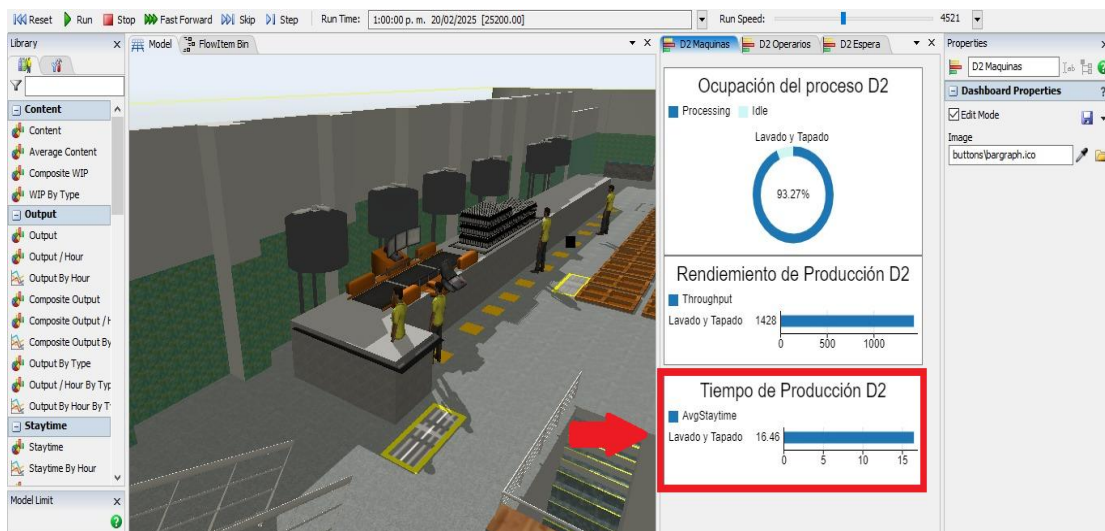


Figura 33. Análisis de Tiempo de Ciclo. Fuente: Propia

Tabla 28. Validación del Tiempo de Ciclo. Fuente: Propia

Proceso	Parametro Toerico	Parametro Simulación	Diferencia
Mezclado	15	14,55	0,45
Dosificación	18,75	17,01	1,74
Cristalizado	222,5	219,3	3,2
Llenado y Tapado	16,46	16,46	0
Etiquetado	35	35	0
Marcado	4,38	4,38	0
Empacado	4,38	4,12	0,26

El análisis comparativo entre los parámetros teóricos y los resultados obtenidos mediante la simulación del proceso de producción de licor escarchado evidencia una alta fidelidad del modelo (Ver Tabla 28). Se observa que en la mayoría de las etapas del proceso, como llenado y tapado, etiquetado y marcado, los tiempos de ciclo simulados coinciden exactamente con los valores teóricos, lo que indica una adecuada configuración del modelo y una correcta representación de la realidad operacional. Por otro lado, en procesos como mezclado, reposo, lavado de botellas y empacado, se identifican pequeñas variaciones entre los parámetros teóricos y simulados. Sin embargo, estas diferencias son mínimas y no comprometen la validez general del modelo.

Asimismo, otros indicadores clave como el tiempo disponible diario (25.200 segundos), la demanda mensual (1.428 unidades) y el takt time (353 segundos por unidad) muestran una coincidencia total entre los valores del modelo de simulación y los datos reales del proceso.

La alta precisión y consistencia del modelo con respecto al proceso real validan su utilidad como herramienta confiable para el análisis, diagnóstico y mejora del sistema productivo, garantizando que cualquier ajuste basado en sus resultados tendrá un impacto real y medible.

6.2 Análisis del Modelo de Simulación del Proceso Productivo Actual

Día uno de producción:

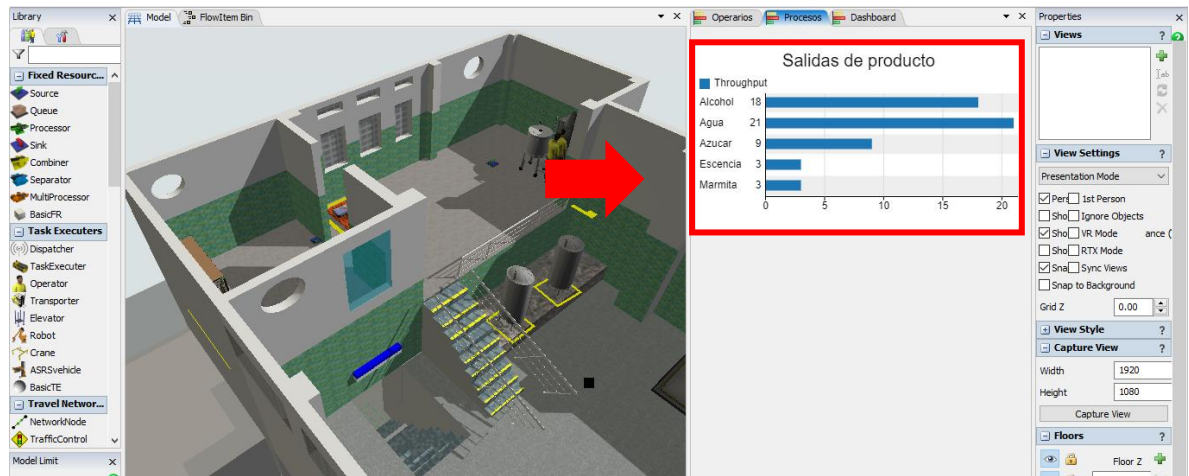


Figura 34. Dashboard de la Salida de Producto para la Fabricación del Jarabe. Fuente: Propia.

El análisis del indicador de salidas de producto permite evidenciar que, durante el ciclo de producción simulado para la elaboración de tres sabores de Licor Escarchado, se utilizaron 18 baldes de 10 litros de alcohol, 21 baldes de 10 litros de agua y 9 bultos de azúcar, en cantidades proporcionales a los requerimientos establecidos en la formulación del producto. Asimismo, se identificaron tres unidades de esencia, correspondientes a cada uno de los sabores procesados, lo que confirma la correcta dosificación del componente aromático en cada lote. Por último, el proceso de mezcla ejecutado en la marmita arrojó tres ciclos completos de producción, representando la consolidación de los tres lotes del producto final (Ver Figura 34).



Figura 35. Dashboard de Ocupación los Procesos. Fuente: Propia.

El proceso de alcohol presenta una ocupación del 61.75%, mientras que el agua registra un 70%, cifras que indican una operación moderada, ligeramente por encima del punto medio de capacidad. Aunque estos porcentajes demuestran que los recursos no están subutilizados, revelan un margen significativo para optimizar su rendimiento y eficiencia operativa. El análisis detallado muestra que ambos procesos podrían integrarse de manera más efectiva al sistema productivo. Actualmente, el transporte de estos líquidos mediante baldes representa una oportunidad de mejora evidente. La implementación de un sistema de aprovisionamiento directo a la marmita mediante tuberías o bombas dosificadoras permitiría: eliminar pasos intermedios innecesarios, reducir tiempos de transferencia, minimizar riesgos de contaminación y aumentar la precisión en las cantidades suministradas (Ver Figura 35).

El proceso de azúcar presenta una ocupación del 99.45%, cifra que, aunque aparentemente crítica, refleja una operación ajustada a los requerimientos del sistema. Esta alta utilización responde al diseño actual del proceso, donde cada costal de 50 kg es manipulado por un operario, quien debe cargarlo, transportarlo y verterlo directamente en la marmita. Sin embargo, esta aparente eficiencia esconde importantes riesgos operativos y de seguridad: como exposición a lesiones musculoesqueléticas por manejo de cargas pesadas, quemaduras por contacto con la marmita y posibilidad de derrames durante el vertido (Ver Figura 35).

El proceso de la esencia tiene una ocupación del 73.52%, lo cual representa un nivel de ocupación acorde con la frecuencia de uso del insumo, que se incorpora una sola vez durante la producción del Escarchado. La esencia es un componente clave, pero de baja recurrencia, por lo que su nivel de ocupación es completamente coherente con su función. No se identifica ineficiencia alguna; más bien, el proceso se comporta conforme a lo esperado, demostrando una buena alineación entre capacidad y demanda real (Ver Figura 35).

Finalmente, la marmita es el punto de convergencia de todos los insumos previos, por lo que su comportamiento es particularmente revelador. El hecho de que tenga una ocupación del 100% en modo recolección, pero solo un 23.53% en modo de procesamiento, indica que gran parte del tiempo está esperando a que se ingresen todos los ingredientes necesarios para iniciar la mezcla. Este desfase se explica, en parte, por el tiempo que requiere el suministro del azúcar, cuya entrega es manual y cuidadosa. Sin embargo, no se observa un problema de capacidad, sino una necesidad de mejorar la automatización del aprovisionamiento de materia prima a la marmita, con el fin de evitar que la marmita acumule tiempos muertos prolongados (Ver Figura 35).

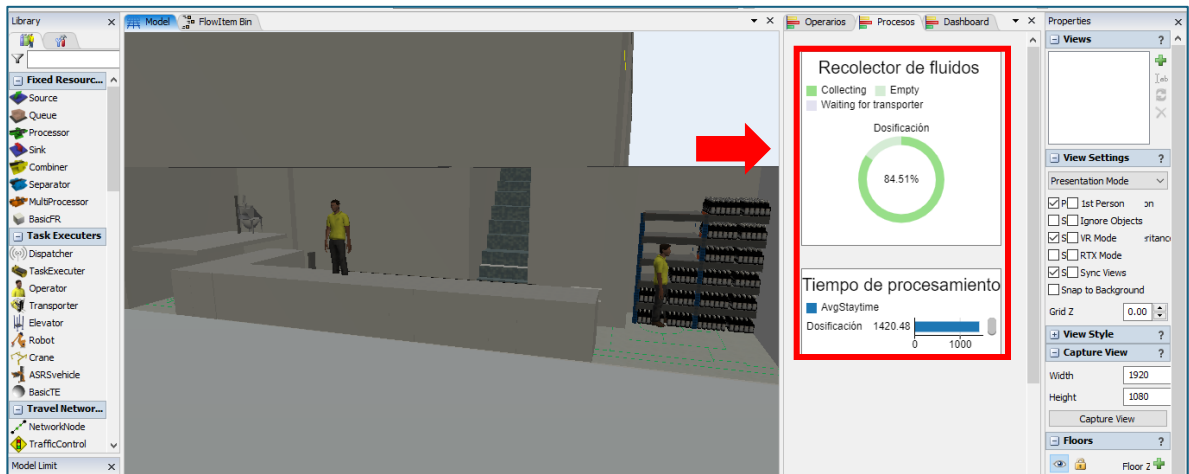


Figura 36. Dashboard de Rendimiento, Tiempo y Item del Recolector de Fluidos. Fuente: Propia.

El módulo de dosificación del recolector de fluidos opera al 84,51% de su capacidad activa, cifra que, aunque aparentemente eficiente, representa un riesgo operacional al superar el umbral crítico del 80%. Esta saturación limita la capacidad de crecimiento del sistema, reduce su flexibilidad ante incrementos de demanda o fallos, y favorece la formación de cuellos de botella. Además, el tiempo promedio de procesamiento por lote (1.514,99 segundos $\approx$ 25,25 minutos) y el alto volumen de unidades procesadas (1.428) reflejan una carga operativa sostenida, dejando margen insuficiente para absorber variabilidad, mantenimiento o interrupciones no planificadas (Ver Figura 36).

Día dos de producción

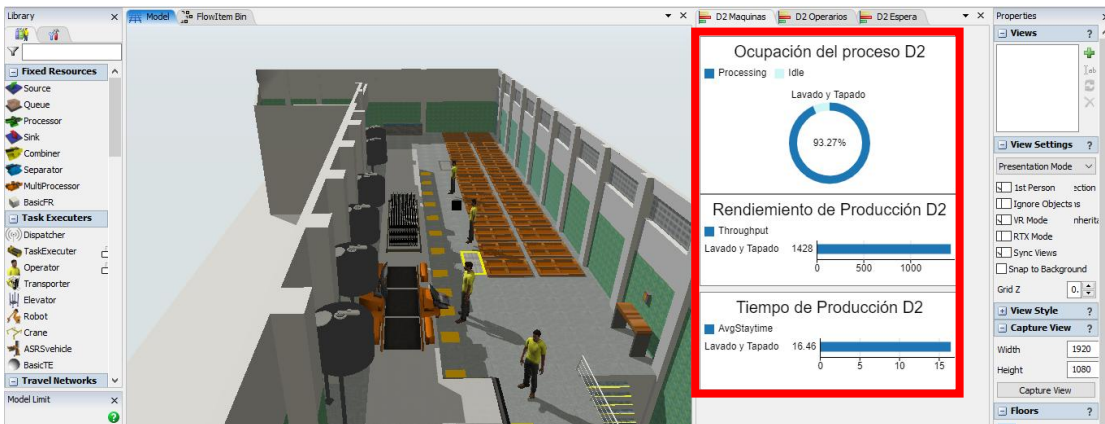


Figura 37. Dashboard de Rendimiento, Tiempo y Ocupación del Proceso de Lavado y Tapado. Fuente: Propia.

El multiproceso integrado de lavado de botellas, tapado y lavado profundo presenta una ocupación del 93.27%, demostrando un excelente aprovechamiento de su capacidad operativa. Este alto nivel de eficiencia, cercano al máximo teórico, indica que el equipo funciona cerca de su límite de diseño. Este alto rendimiento se debe precisamente a la efectiva combinación de operación con maquinaria e intervención manual, que en conjunto generan importantes beneficios. Sin embargo, el 6.73% restante del tiempo aparentemente parece ser mínimo, este porcentaje representa valiosos minutos de inactividad acumulados, principalmente causado por la espera de material (Ver Figura 37).

Día tres de producción

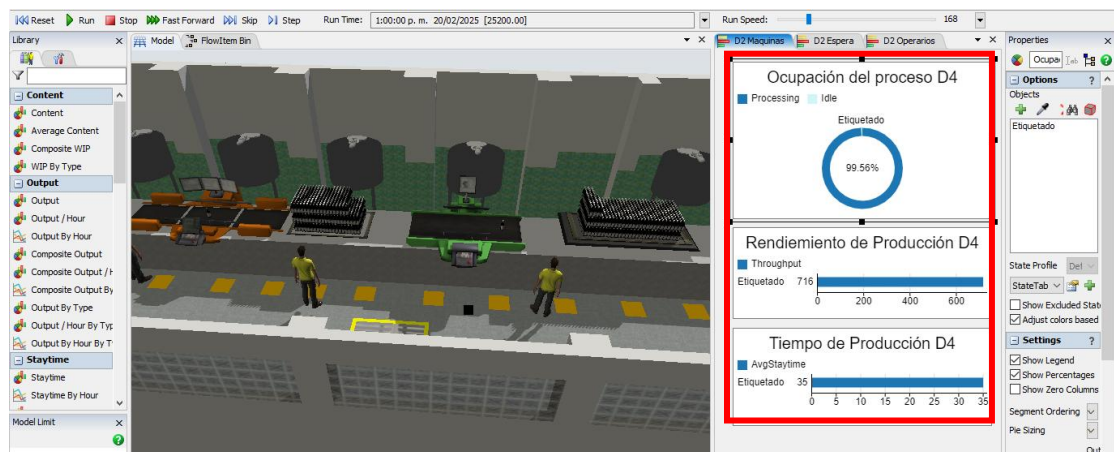


Figura 38. Dashboard del Proceso de Etiquetado. Fuente: Propia.

El proceso de etiquetado actual opera con una preocupante ocupación del 99.10% durante las siete horas del turno laboral (6:00 a.m. a 1:00 p.m.), alcanzando apenas 713 unidades procesadas a un ritmo lento de 35 segundos por botella. Esta saturación extrema, que supera ampliamente el umbral óptimo del 70-85%, revela graves deficiencias en el sistema productivo actual. La necesidad de implementar un segundo turno completo para completar el lote de 1,428 unidades evidencia una grave limitación de capacidad, donde la ausencia total de margen operativo impide cualquier flexibilidad ante incrementos de demanda o eventualidades en la producción.

Día cuatro de producción



Figura 39. Dashboard del día Cuatro de Producción Rendimiento, Tiempo, Ocupación (Etiquetado). Fuente: Propia.

En la jornada correspondiente al día 4 de producción, el proceso evaluado presenta una ocupación del 89.61%, lo que indica una utilización casi total del tiempo disponible durante el turno de trabajo. Se alcanzó un rendimiento de 1,428 unidades en un total de 7 horas efectivas de operación, excluyendo el tiempo de descanso. Esto representa un tiempo promedio de 34 segundos por unidad procesada, cumpliendo con la meta establecida para el lote completo (Ver Figura 39).

La ejecución completamente manuable del proceso genera múltiples ineficiencias que impactan directamente en la productividad y calidad. Este método artesanal deriva en una alta tasa de errores con etiquetas mal colocadas que requieren frecuentes reprocesos, generando no solo pérdida de tiempo sino también un desgaste físico y visual acumulativo en los operarios. La fatiga resultante de esta labor tediosa y repetitiva se traduce en una creciente inconsistencia en la calidad del etiquetado conforme avanza la jornada laboral.

La implementación de mejoras tecnológicas en el proceso de etiquetado representa una oportunidad clave para transformar radicalmente la eficiencia operativa. Una solución particularmente efectiva sería la adopción de máquinas etiquetadoras semiautomáticas de bajo costo, las cuales ofrecen un equilibrio ideal entre inversión inicial y resultados inmediatos.

Día cinco de producción



Figura 40. Simulación del Quinto día de Producción. Fuente: Propia.

El proceso de marcado, realizado el quinto día de producción, fue altamente eficiente con una ocupación del 97.25%. En 1 hora y 45 minutos se marcaron 1,425 botellas, con un tiempo promedio de 4.38 segundos por unidad. Este rendimiento se debe al sistema automatizado Videojet, que aporta precisión y rapidez en la impresión de códigos y fechas.

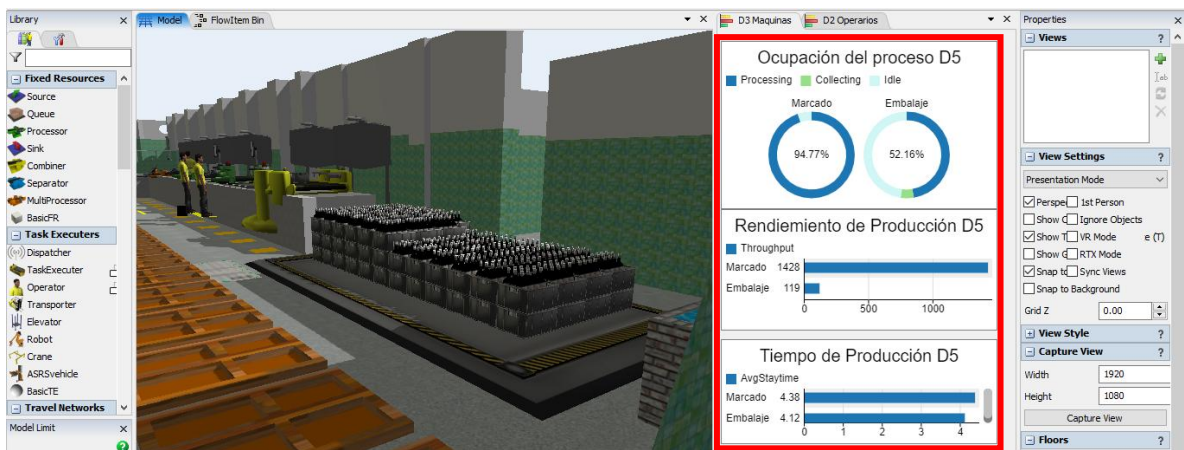


Figura 41. Dashboard de Tiempo, Rendimiento y Ocupación en el Proceso de Marcado y Empacado. Fuente: Propia.

Al cierre de la jornada, el proceso de embalaje mostró una ocupación del 52,16%, por debajo del nivel óptimo, lo que indica oportunidades de mejora mediante ajustes operativos o el uso de herramientas que agilicen la tarea (Ver Figura 41).

Capítulo 7.

6. Resultados Cuarta Fase

6.1 Primer Escenario: Mejora en el Aprovisionamiento de Materia Prima

El rediseño del sistema de aprovisionamiento de insumos líquidos constituye una mejora fundamental para agilizar la producción de Escarchados. Actualmente, los tanques de almacenamiento de alcohol y agua se ubican en el primer piso, lo que obliga a los operarios a realizar traslados manuales constantes, generando pérdidas de tiempo y esfuerzo innecesarios. La propuesta consiste en reubicar estos depósitos en el segundo piso, justo encima de la marmita, permitiendo que los líquidos fluyan por gravedad a través de un sistema de tuberías rediseñado. Esta modificación no solo elimina la manipulación artesanal, sino que también reduce los tiempos de transferencia, asegurando un suministro más rápido y constante a la marmita.

Adicionalmente, se reemplazarán los tanques actuales por unidades de aluminio equipadas con medidores de precisión en litros. Este cambio garantiza un control exacto de las cantidades suministradas, minimizando desperdicios y mejorando la consistencia en las formulaciones. Las tuberías existentes serán modificadas para adaptarse a la nueva configuración, optimizando el flujo hacia la marmita sin necesidad de intervención humana. Con estas modificaciones, se espera reducir significativamente los tiempos muertos en la producción y, en consecuencia, disminuir los costos asociados a la ineficiencia operativa.

En cuanto al aprovisionamiento de azúcar, se implementará un dispensador industrial diseñado específicamente para este proceso. Actualmente, los operarios deben cargar de forma física costales de 50 kg y verterlos directamente en la marmita, una tarea que no solo es físicamente demandante, sino que también expone al personal a riesgos laborales como lesiones musculares o quemaduras. El nuevo sistema permitirá dosificar el azúcar por kilos, eliminando la necesidad de manipulación pesada y reduciendo el margen de error en las cantidades suministradas. Esta mejora no solo protege la integridad de los trabajadores, sino que también contribuye a disminuir los tiempos de espera de la marmita en la etapa de recolección de materias primas, incrementando así su porcentaje de ocupación efectiva durante el procesamiento.



Figura 42. Primer Escenario de Mejora. Fuente: Propia.

Estas intervenciones, en conjunto, buscan transformar un proceso actualmente dependiente de esfuerzo manual en un sistema más fluido, seguro y eficiente. Al eliminar cuellos de botella en el suministro de insumos, se logra una producción más ágil, con menores costos operativos y mayor consistencia en la calidad del producto final. La figura 42, muestra de manera visual como fue realizado este escenario, destacando la importancia de invertir en mejoras de infraestructura para alcanzar un proceso productivo verdaderamente optimizado.



Figura 43. Porcentaje de Ocupación por Cada Proceso Mejora vs Actual. Fuente: Propia.

A continuación, se presenta un análisis comparativo entre los dos escenarios de simulación representados en las imágenes compartidas, teniendo en cuenta que los procesos de alcohol, agua, esencia y azúcar corresponden al aprovisionamiento de materia prima, y que el proceso de la marmita representa el proceso principal de la línea de producción, el cual debe tener el mayor porcentaje de ocupación posible en procesamiento activo.

Como se puede analizar en la (Ver Figura 43), la imagen del lado izquierdo correspondiente al escenario de mejora, los procesos de aprovisionamiento de materia prima alcohol, azúcar, agua y esencia presentan una reducción significativa en su porcentaje de ocupación en comparación con el escenario actual mostrado en la segunda imagen del lado derecho. Esta reducción es un resultado favorable, ya que, al tratarse de procesos de suministro, no es necesario que estén activos constantemente; por el contrario, cuanto menor sea su porcentaje de ocupación, mayor será el grado de optimización y eficiencia en el sistema, ya que implica que cumplen su función sin generar cuellos de botella ni bloqueos.

En cuanto al proceso principal, la marmita, el análisis muestra una mejora importante. En el escenario actual (Ver Figura 43), la marmita presenta un 76,47% del tiempo recolectando materia prima, lo que indica que gran parte de su tiempo se pierde en espera y traslado, mientras que solo un 23,53% se dedica realmente al procesamiento activo. Sin embargo, en el escenario de mejora, este comportamiento cambia notablemente: la marmita alcanza un 99,85% de ocupación, con un 50,67% del tiempo destinado al procesamiento y un 49,18% a la recolección. Esto indica que, aunque sigue dedicando un tiempo importante a la recolección, ha logrado incrementar sustancialmente el tiempo de procesamiento activo, lo cual es esencial para mejorar el rendimiento global de la línea.

En términos de eficiencia del sistema, el escenario de mejora demuestra una configuración más equilibrada, donde los procesos de aprovisionamiento cumplen su función sin generar excesiva carga de trabajo ni tiempos innecesarios, y el proceso principal, la marmita, opera de forma más continua y efectiva. Esto no solo mejora la capacidad de producción sino también permite un flujo más fluido y controlado de las operaciones. En consecuencia, la simulación evidencia que las acciones implementadas para optimizar el sistema han sido efectivas, logrando un mejor aprovechamiento del recurso crítico la marmita y una reducción de la sobreutilización innecesaria de los recursos de apoyo.

Scenario	Stop Times (seconds)	Start Time	End Time
Actual	25200.00	6:00:00 a. m.	1:00:00 p. m.
Mejora	17700.00	6:55:00 a. m.	11:50:00 a. m.

Figura 44. Tiempo de Stop Times Mejora vs Actual. Fuente: Propia.

Ahora se procede a analizar el tiempo disponible en ambos escenarios, el actual y el correspondiente a la mejora número uno (Ver Figura 44). En esta comparación, se observa una reducción significativa del tiempo disponible, pasando de 25.200 segundos por día en el escenario actual a 17.700 segundos por día en el escenario mejorado. Esta disminución del tiempo disponible se explica por la optimización del turno necesario para producir las 1.428 unidades previstas para el primer día. Mientras que en el escenario actual dicho turno finaliza a la 1:00 p.m., en el escenario de mejora concluye a las 11:50 a.m., representando una reducción de una hora y diez minutos. Esta mejora en la eficiencia se debe principalmente a la optimización de los procesos de aprovisionamiento de materia prima, los cuales fueron ajustados para reducir sus tiempos de ocupación innecesarios.

6.2 Segundo Escenario: Mejora en el Proceso de Etiquetado

El proceso de etiquetado representa una de las etapas que mayor esfuerzo manual requiere dentro de la línea de producción y, al mismo tiempo, genera un mayor nivel de estrés laboral para los operarios. Esto se debe a que actualmente dicho proceso se realiza de forma artesanal, es decir, los operarios deben pegar a mano las etiquetas en cada botella, asegurándose visualmente de que estén centradas, tomando como referencia una botella ya terminada. Esta actividad demanda altos niveles de precisión visual y repetitividad, lo que impacta negativamente en la ergonomía y en la productividad. En la actualidad, para finalizar un lote completo correspondiente a la demanda de producción, los operarios deben emplear hasta dos turnos de trabajo exclusivamente en esta etapa.

Con el objetivo de optimizar este proceso, se ha investigado y propuesto la incorporación de una maquinaria automática especializada en el etiquetado de botellas. Esta máquina presenta múltiples ventajas, entre las que destacan su capacidad de ajuste automático a diferentes medidas de etiquetas y tipos de

botellas, así como su compatibilidad con envases redondos, tanto de vidrio como de plástico, utilizados para contener distintos tipos de líquidos. Uno de los aspectos más relevantes es su capacidad operativa, ya que puede etiquetar hasta 30 unidades por minuto. Además, está equipada con un sensor inteligente de etiquetas, diseñado para detectar la posición de estas y controlar la emisión con precisión, asegurando un etiquetado uniforme y eficiente.



Figura 45. Escenario de Mejora, Implementación de Etiquetadora. Fuente: propia.



Figura 46. Máquina de Etiquetadora Semiautomática. Fuente: [38]

La implementación de esta tecnología permitirá una mejora significativa en la eficiencia del proceso, una reducción considerable del tiempo requerido para completar esta etapa y un aumento en la productividad global. Adicionalmente, contribuirá a reducir la carga física y el estrés de los operarios, mejorando así las condiciones laborales dentro del área de producción.



Figura 47. Ocupación del Proceso de Etiquetado, Actual vs Mejora. Fuente: Propia.

En la Figura 47, la primera gráfica del lazo izquierdo, correspondiente al escenario actual, se observa que el proceso de etiquetado mantiene una ocupación del 99,56%, lo cual indica que prácticamente todo el tiempo disponible es utilizado en actividades de procesamiento. Si bien esto podría parecer positivo desde el punto de vista del aprovechamiento del recurso, en el contexto actual donde el etiquetado es un proceso sin ayuda de máquinas, el cual exige un esfuerzo considerable y dos turnos completos de trabajo para finalizar un lote este elevado porcentaje refleja una sobrecarga operativa para los trabajadores, altos niveles de estrés laboral y una baja eficiencia ergonómica.

En contraste, la segunda gráfica del lado derecho, que representa el escenario mejorado, muestra una ocupación del 88,91%, lo que implica una reducción en el tiempo de procesamiento. Esta disminución es resultado de la implementación de la maquinaria automática especializada para el etiquetado de botellas, que permite ejecutar el proceso con mayor velocidad, precisión y menor intervención manual. Aunque la ocupación es levemente menor, este cambio es positivo, ya que refleja una mejora en la eficiencia del sistema: se reduce el tiempo que el recurso permanece activo porque el proceso ahora se ejecuta más rápido, permitiendo liberar tiempo disponible y aumentar la capacidad productiva o facilitar la ejecución de otras tareas complementarias (Ver Figura 47).

Figura 48. Stop Times del Proceso de Etiquetado, Actual vs Escenario Mejora. Fuente: Propia.

A continuación, se procede a analizar el tiempo disponible y la distribución de los turnos de trabajo en el proceso de etiquetado. En el escenario actual, dicho proceso requiere de dos turnos laborales que van desde las 6:00 a.m. hasta la 1:00 p.m., recordando que cada turno tiene una duración total de 8 horas, de las cuales una hora está destinada al descanso y al almuerzo, tiempo que ya se encuentra restado en el modelo de simulación. En este contexto, se observa que el proceso cuenta con un tiempo disponible de 25.200 segundos por día, lo que equivale a 50.400 segundos por los dos días para completar el proceso de etiquetado bajo las condiciones actuales. En cambio, en el escenario de mejora, gracias a la implementación de la máquina etiquetadora automática, este tiempo se reduce considerablemente a 6.420 segundos diarios. Esta reducción de tiempo implica que la actividad de etiquetado puede completarse en un solo turno, iniciando a las 6:00 a.m. y finalizando a las 7:47 a.m., lo que significa que pasó de requerir 14 horas de trabajo manuable a tan solo 1 hora y 47 minutos (Ver Figura 48). Esta optimización representa un avance significativo en términos de eficiencia operativa, reducción del esfuerzo físico de los operarios y aprovechamiento del tiempo de producción.

Por último, el tiempo de ciclo correspondiente a la etapa de etiquetado evidenció una disminución significativa en el escenario de mejora (Ver Figura 49), pasando de 35 segundos por unidad en el proceso actual a tan solo 4 segundos por unidad con la implementación de la máquina etiquetadora automática. Esta reducción representa una mejora sustancial en la eficiencia del proceso, ya que permite incrementar notablemente la capacidad de producción sin necesidad de ampliar el número de operarios ni extender los turnos de trabajo.

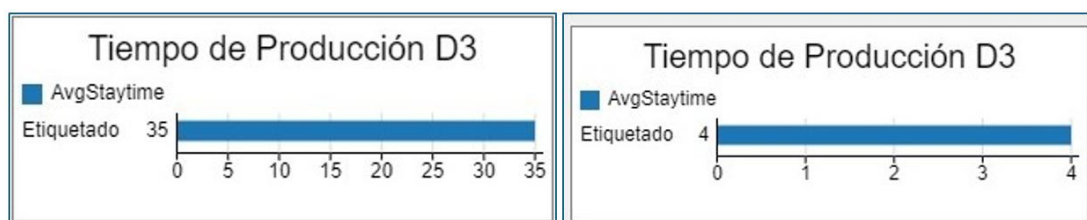


Figura 49. Tiempo de Cada Unidad en Reducción. Fuente: Propia.

6.3 Análisis Costo - Beneficio

Durante la fase de simulación y evaluación de escenarios de optimización, se diseñaron dos propuestas de mejora enfocadas en optimizar el proceso actual de producción de Licor Escarchado. Ambas propuestas fueron implementadas en un entorno de simulación para observar sus efectos sobre el rendimiento operativo, obteniendo resultados considerablemente favorables, especialmente en lo referente a las ocupaciones de los procesos clave que fueron intervenidos. Para sustentar estos hallazgos, se llevó a cabo un análisis comparativo entre el escenario actual y los dos escenarios de mejora, lo cual permitió identificar avances significativos en términos de eficiencia operativa, reducción de tiempos de procesamiento y mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

Adicionalmente, se contempló la realización de un análisis de costo-beneficio con el propósito de determinar la viabilidad económica de implementar dichas mejoras en el entorno real de la Industria Licorera del Cauca. Este análisis busca no solo justificar técnicamente las propuestas, sino también asegurar que las inversiones necesarias generen un retorno favorable y sostenible en el tiempo, alineándose con los objetivos estratégicos de la empresa en cuanto a productividad, competitividad y mejora continua.

Primer escenario: Mejora en el aprovisionamiento de materia prima.

Costo Totales de Inversión: Inicialmente, se estimaron los costos asociados tanto a la adquisición de los productos que se proyecta implementar como a los gastos derivados de su instalación (Ver Tabla 29).

Tabla 29. Costos de la Primera Mejora. Fuente: Propia.

Primer Escenario de Mejora		
Ítem	Costo \$ COL	Descripción
Tuberías	\$443.038 por dos unds	Costo de los tubos de acero inoxidable de de 2 pulgadas de diámetro y de 6 metros de largo. X2 Tubos, uno para el alcohol y el otro para el agua.
Transporte de tuberías	\$110.000	Contratación y cotización de transporte de tuberías a la planta (Industria licorera del Cauca).
Instalación de tuberías	\$ 240.000	Costo por la instalación de las tuberías de alcohol y agua.
Reubicación de tanques	\$ 250.000	Costo por reubicar e instalar los tanques del área actual al área nueva.
Dispensador de azúcar	\$500.000	Costo del dispensador de azúcar con costos asociado de transporte.
Instalación del dispensador de azúcar	\$ 50.000	Costo por instalar el dispensador en el área.

Seguidamente, se identificaron y analizaron los beneficios obtenidos a partir de la implementación de las mejoras en el proceso de producción actual. Entre las ventajas más relevantes se encuentra la reducción de los tiempos muertos, destacándose que la marmita, como proceso principal, incrementó su tiempo de procesamiento del 76,5 % al 99,85 %, lo cual indica un aprovechamiento mucho más eficiente de este recurso. Asimismo, se logró una disminución de la jornada diaria, reduciéndose el tiempo de operación del turno de producción, que antes finalizaba a la 1:00 p.m., y que ahora culmina a las 11:50 a.m., generando un ahorro importante en tiempo operativo.

A esto se suma una disminución del riesgo laboral, especialmente en actividades que anteriormente eran ejecutadas de forma casera y repetitiva, así como una mejora general en la eficiencia del sistema, permitiendo una mayor capacidad de producción en el mismo intervalo de tiempo. Finalmente, la reducción en los tiempos de espera entre procesos contribuye directamente a una cadena productiva más fluida, continua y rentable.

Beneficios cuantificables en tiempo por producción:

Cuantificar los beneficios y los costos en términos monetarios resulta fundamental para determinar el impacto económico que genera la implementación de la mejora propuesta a través de la simulación. Esta evaluación permite traducir los efectos operativos en cifras concretas que facilitan la toma de decisiones en cuanto a la

viabilidad y rentabilidad del proyecto. A continuación, se procede a cuantificar específicamente la reducción de la jornada laboral que antes finalizaba a la 1:00 p.m., y que ahora culmina a las 11:50 a.m., con el fin de evidenciar el ahorro anual en horas de trabajo. Para ello determinamos las siguientes formulas:

Costo total de los operarios por hora: $\frac{\text{Costo de turno laboral}}{\text{Horas laborales}} * \text{Numero operarios}$

Costo total de los operarios por hora (CTO): $\frac{49,512.0}{8} * 7 = 43,323.0 \text{ COP/hora}$

Ahorro diario por reducción de jornada (ADRJ): $\text{CTO} * \text{Reducción Laboral}$

Ahorro diario por reducción de jornada: $43,323.0 * 1.17 = 50,687.91 \text{ COP/día}$

Ahorro anual = ADRJ dias laborales por año (3 producciones en el año equivalente a 60 Días)

Ahorro anual = $50,687.91 * 60 = 3,041,274.6 \text{ COP/año}$ (Ahorro anual por 3 producciones en cuatrimestrales)

El ahorro por cada uno de los tres sabores de producción realizados anualmente corresponde a \$1.013.740. De este modo, el ahorro total anual en costos de mano de obra, asociado a la reducción de tiempos en el proceso productivo, asciende a \$3.041.274.

Para determinar el margen mensual, se divide el ahorro en costos de mano de obra correspondiente a una producción. Teniendo en cuenta que se realizan tres producciones al año, cada una con una frecuencia cuatrimestral (cada cuatro meses), este cálculo permite estimar el beneficio distribuido mensualmente a partir del ahorro generado en cada ciclo productivo.

Margen mensual:

- Margen mensual = $\frac{\text{Ahorro por produccion}}{4 \text{ meses de produccion}}$
- Margen mensual $\frac{1,013.740}{4} = \$ 253.435$
- Se tiene que mensualmente el ahorro es de \$ 253.435 pesos colombianos

Tiempo de recuperación de la inversión (meses):

- Tiempo de recuperación = $\frac{\text{Costo de inversión}}{\text{Margen mensual proyectado}}$

- Tiempo de recuperación $\frac{1,543.088}{253.435} = 6.1 \text{ meses}$

El tiempo de recuperación es de 6.1 meses teniendo en cuenta el ahorro que se obtiene con la propuesta de mejora.

Segundo escenario: Mejora en el proceso de etiquetado.

Costo Totales de Inversión: En primer lugar, al igual que en el escenario anterior, se estimaron los costos relacionados con la adquisición de la maquinaria para el proceso de etiquetado, así como con la capacitación del personal encargado de su operación (Ver Tabla 30).

Tabla 30. Costos de la Segunda Mejora. Fuente: Propia.

Primer Escenario de Mejora		
Item	Costo \$ COL	Descripción
Maquina Etiquetadora	\$ 3.651.600	Costo de los tubos de acero inoxidable de 2 pulgadas de diámetro y de 6 metros de largo. X2 Tubos, uno para el alcohol y el otro para el agua.
Capacitación del Personal	\$ 600.000	Costo de instalación de las tuberías de alcohol y agua.

A partir de la implementación de las mejoras propuestas en el escenario dos, se identificaron y analizaron una serie de beneficios significativos que impactan positivamente el proceso productivo. Uno de los resultados más destacados fue la notable reducción del tiempo diario requerido para completar las labores de etiquetado, pasando de 14 horas de trabajo manuable a tan solo 1 hora y 47 minutos, lo que representa una optimización sustancial en términos de eficiencia operativa. Esta disminución en la carga horaria no solo contribuyó a una menor fatiga por parte del personal involucrado, sino que también redujo significativamente la probabilidad de errores humanos durante la ejecución del proceso. Asimismo, la automatización parcial permitió disminuir la necesidad de contar con un número elevado de operarios o de implementar turnos adicionales, lo cual se traduce en un ahorro de recursos humanos. De manera paralela, se evidenció un aumento considerable en la productividad del sistema, mejorando el tiempo de procesamiento por unidad de 35 segundos por botella a tan solo 4 segundos.

Beneficios cuantificables en tiempo por producción:

A continuación, se realiza la cuantificación específica de la disminución en la jornada laboral, con el propósito de demostrar el ahorro anual en términos de horas de trabajo. Para este análisis, se utilizaron las siguientes fórmulas:

Costo total de los operarios por hora: $\frac{\text{Costo de turno laboral}}{\text{Horas laborales}} * \text{Numero operarios}$

Costo total de los operarios por hora (CTO): $\frac{49,512.0}{8} * 5 = 30,945.0 \text{ COP/hora}$

Ahorro diario por reducción de jornada (ADRJ): $\text{CTO} * \text{Reducción Laboral}$

Ahorro diario por reducción de jornada: $30,945.0 * 12.22 = 378,147.9 \text{ COP/dia}$

Ahorro anual = $\text{ADRJ} * \text{dias laborales por año (en las 3 producciones en el año)}$.

Ahorro anual = $378,147.9 * 60 = 22,688,874.0 \text{ COP/año}$

El ahorro por cada uno de los tres ciclos de producción realizados anualmente corresponde a \$7,562.958. De este modo, el ahorro total anual en costos de mano de obra, asociado a la reducción de tiempos en el proceso productivo, asciende a \$22,688.874.

Para determinar el margen mensual, se divide el ahorro en costos de mano de obra correspondiente a una producción. Teniendo en cuenta que se realizan tres producciones al año, cada una con una frecuencia cuatrimestral (cada cuatro meses), este cálculo permite estimar el beneficio distribuido mensualmente a partir del ahorro generado en cada ciclo productivo.

Margen mensual:

- $\text{Margen mensual} = \frac{\text{Ahorro por produccion}}{4 \text{ meses de produccion}}$
- $\text{Margen mesual} \frac{7,562.958}{4} = \$ 1,890.739$
- Se tiene que mensualmente el ahorro es de \$ 1,890.739 pesos colombianos

Tiempo de recuperación de la inversión (meses):

- Tiempo de recuperación = $\frac{\text{Costo de inversión}}{\text{Margen mensual proyectado}}$
- Tiempo de recuperación $\frac{4,251.600}{1,890.739} = 2.3$ meses

El período estimado de recuperación de la inversión es de tres (2.3) meses, sustentado en los ahorros obtenidos tras la implementación de la propuesta de mejora. La transformación del proceso, que pasa de ser completamente artesanal a semiautomático, permite optimizar los recursos, reducir tiempos operativos y disminuir los costos asociados a la mano de obra.

Conclusiones

A partir del análisis integral del proceso de producción de Licor Escarchado en la Industria Licorera del Cauca, se concluye que la estructura operativa actual presenta oportunidades significativas de optimización, particularmente en aspectos relacionados con la eficiencia, la sincronización entre etapas y el uso adecuado de los recursos disponibles. La evaluación realizada mediante la herramienta Value Stream Mapping (VSM) evidenció un flujo productivo marcadamente desbalanceado, en el cual la mayoría de las estaciones operan con tiempos de ciclo considerablemente inferiores al takt time establecido (353 segundos por unidad), lo que propicia sobreproducción, acumulación innecesaria de inventarios y pérdida de continuidad en el proceso. Asimismo, se identificó que únicamente el 57% del tiempo total corresponde a actividades que agregan valor, mientras que el 43% restante se destina a tareas improductivas, tiempos de espera y cuellos de botella encubiertos, lo que refleja una baja eficiencia del sistema y una clara necesidad de intervención estructural.

La simulación de eventos discretos demostró que solo el 57% del tiempo total corresponde a actividades de valor añadido (TVA), mientras que el 43% restante se atribuye a tiempos improductivos (TNVA). Esta brecha se mitigó mediante dos escenarios de mejora: el primero optimizó el aprovisionamiento de materia prima, reubicando tanques e implementando un dispensador semiautomático de azúcar, lo que incrementó la ocupación efectiva de la marmita del 23.53% al 50.67% y redujo la jornada diaria de 25.200 a 17.700 segundos. Esta intervención generó un ahorro anual de \$3,041,274 COP, un retorno de inversión en 6.1 meses.

El segundo escenario automatizó el etiquetado, reduciendo el tiempo de ciclo de 35 a 4 segundos por unidad y acortando la jornada de 14 horas a 1 hora y 47 minutos. Esta mejora, con una ocupación del 88.91%, permitió un ahorro anual de \$22,688,874 COP, recuperando la inversión en apenas 2.3 meses. Adicionalmente, se minimizaron los defectos del producto, reforzando la calidad y consistencia del Licor Escarchado.

En conclusión, las intervenciones propuestas no solo optimizaron la productividad y redujeron costos, sino que también mejoraron las condiciones laborales y la confiabilidad del proceso. A su vez, los resultados validan la viabilidad técnica y financiera de ambas mejoras, destacando la importancia de continuar con la estandarización y la adopción de tecnologías para mantener la competitividad de la empresa.

Futuras Investigaciones

A partir de los hallazgos de esta investigación, se identifican varias líneas de trabajo futuro para profundizar en la mejora del proceso productivo. Una dirección clave sería el diseño e implementación de sistemas de automatización integral que permitan una gestión sincronizada de toda la línea de producción. Sería pertinente explorar el uso de tecnologías como sensores inteligentes, inteligencia artificial y análisis predictivo para anticipar fallos, ajustar dinámicamente los ritmos de producción y optimizar el flujo de materiales. Además, investigaciones futuras podrían evaluar el impacto de la robótica colaborativa en tareas repetitivas o físicamente exigentes, así como el desarrollo de modelos avanzados de simulación que integren escenarios de demanda variable y cambios en la configuración de planta.

Recomendaciones

Con base en los hallazgos obtenidos, se recomienda priorizar la implementación progresiva de soluciones tecnológicas que permitan automatizar y sincronizar las etapas clave del proceso de producción de Licor Escarchado. Particularmente, se sugiere adoptar de forma inmediata el sistema de dispensado automático de azúcar y la reubicación de tanques con conexión directa por gravedad a la marmita, ya que esta intervención ha demostrado un alto impacto en la eficiencia operativa, reduciendo significativamente los tiempos de recolección y aumentando el aprovechamiento del recurso crítico.

Asimismo, se recomienda la adquisición e integración de una máquina etiquetadora automática, dado su efecto directo sobre la productividad, la reducción de la carga laboral y la mejora en la calidad del producto. Esta acción, además de tener una recuperación rápida de la inversión, contribuirá a minimizar errores humanos y estandarizar el acabado final del Licor Escarchado. Adicionalmente, se sugiere establecer un plan de capacitación técnica para los operarios, asegurando una transición efectiva hacia los nuevos procesos automatizados y maximizando el aprovechamiento de las tecnologías implementadas.

Finalmente, se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo de indicadores clave de desempeño (KPIs) que permita evaluar en tiempo real la eficiencia, la productividad y la calidad del proceso. Esta estrategia facilitará la toma de decisiones basada en datos y permitirá identificar nuevas oportunidades de mejora en el mediano y largo plazo, asegurando la sostenibilidad de los avances logrados.

Anexos

Anexo No. 1

Plan de visita al Gemba Walk:

Objetivo de la visita: Identificar oportunidades de mejora en los procesos de producción de Licor Escarchado en la Industria Licorera del Cauca, con el fin de reducir los tiempos de ciclo, optimizar la eficiencia operativa y garantizar la calidad del producto. Esta actividad permitirá observar el proceso en tiempo real, detectar cuellos de botella y proponer soluciones concretas para mejorar el flujo de trabajo.

Fecha y hora de la visita: La visita está prevista para el próximo jueves a las 6:00 a.m. Este horario fue seleccionado para asegurar que el equipo observe el proceso en pleno funcionamiento, capturando todas las etapas críticas de producción desde el inicio de la jornada laboral.

Participantes: Se realizará la visita en acompañamiento de los representantes de producción y de calidad, de la empresa. Además, con el acompañamiento del director de tesis, con el fin de aportar otra perspectiva.

Ruta de la Visita: La visita se realizará durante un día típico de producción de Licor Escarchado, enfocándose en analizar cada etapa del proceso dentro de la misma área. El objetivo es identificar cuellos de botella, desperdicios, tiempos de ciclo, cumplimiento de estándares de seguridad y salud en el trabajo, oportunidades de optimización, funcionamiento de maquinaria, desempeño del personal, manejo de materias primas, controles de calidad y prácticas adecuadas de fabricación. Las etapas del proceso a analizar son:

1. Adecuación de las Máquinas.
2. Preparación de las Materias Primas.
3. Proceso de Mezclado.
4. Proceso de Dosificación.
5. Control de Calidad.
6. Proceso de Cristalización y Reposo.

Preguntas claves para formular durante la visita

- Control de Calidad y Estandarización

Para garantizar la excelencia del producto final, es fundamental conocer: ¿Cómo se verifican y mantienen los estándares de calidad en cada fase del proceso? ¿Qué sistemas de control aseguran la consistencia en las características del Licor terminado? Particularmente en etapas críticas como dosificación y etiquetado, ¿qué protocolos previenen errores y cómo se monitorea su precisión?

- Eficiencia Operativa y Cuellos de Botella

El análisis de productividad requiere entender: ¿Qué etapas presentan mayores tiempos de espera o movimientos improductivos? ¿Cuáles son los principales obstáculos que limitan el flujo de producción? Respecto al espacio físico, ¿su distribución actual facilita u obstaculiza las operaciones? Sería valioso identificar el proceso considerado más tedioso por los colaboradores.

- Capacitación y Gestión del Talento

El factor humano es determinante: ¿Con qué frecuencia se capacita al personal en procedimientos y tecnologías? ¿Cómo se asegura la adopción de mejores prácticas? En cuanto a rotación de personal, ¿qué impacto tiene en la consistencia productiva y qué medidas mitigan este efecto?

- Seguridad Laboral y Ergonomía

Las condiciones de trabajo influyen directamente: ¿Se han detectado problemas ergonómicos en los puestos de trabajo? ¿Qué mejoras en diseño de estaciones podrían incrementar tanto seguridad como productividad? Es importante conocer las percepciones de los trabajadores sobre riesgos físicos en sus labores diarias.

- Tecnología y Oportunidades de Mejora

La modernización de procesos plantea: ¿El estado actual de equipos y herramientas es adecuado o existen necesidades de actualización? ¿Qué prácticas operativas inadecuadas persisten y qué soluciones tecnológicas podrían implementarse? Las sugerencias del personal son valiosas - ¿qué optimizaciones propondrían?

- Planificación y Demanda

La gestión de capacidad requiere conocer: ¿Cómo se equilibran los volúmenes de producción con la demanda actual? ¿Qué estrategias previenen tanto sobrecargas

como subutilización de recursos? En procesos sensibles como la cristalización, ¿cómo afectan variables externas (clima) y cómo se compensan estos efectos?

Registro de hallazgos y acciones: Se asignará a una persona encargada de anotar los detalles durante la visita, incluyendo las observaciones y las ideas propuestas para resolver los puntos que necesitan mejorar.

Seguimiento: Se organizará una reunión posterior para revisar lo observado durante la visita y crear un plan concreto que permita poner en práctica las mejoras encontradas.

Propuesta de valor: En la Industria Licorera del Cauca, creamos los Licores Escarchados más finos y deliciosos de menta, anís y Curaçao, gracias a nuestra técnica avanzada de destilado y el cuidadoso proceso de cristalización del azúcar. Cada botella refleja nuestro compromiso con la calidad, desde la selección de materias primas hasta el riguroso control de producción. Nuestros Licores no solo destacan por su sabor y textura, sino también por su diseño atractivo, perfecto para momentos especiales. ¡Descubre la excelencia en cada botella!

Anexos No. 2

Listado de variables:

Tabla 31. Variables Críticas del Proceso. Fuente: Propia

Variable Crítica	Descripción	Impacto
Falta de maquinaria especializados y software	La empresa no se encuentra en una situación económica favorable para llevar a cabo una planificación de inversión en maquinaria especializada y software para toda la gestión del proceso de producción.	El uso de maquinaria no especializada ralentiza el proceso de escarchado, generando tiempos de producción más largos y aumenta la tasa de defectos junto con los costos operativos debido a su baja productividad.
Procesos no estandarizados	La empresa carece de documentación de procesos, como la ausencia de manuales, procedimientos o guías de operación detalladas puede llevar a que los operarios realicen las tareas de manera diferente, creando variabilidad en la producción. Además, los análisis de colorimetría se realizan de forma visual, comparando el producto con uno previamente elaborado.	La falta de estandarización puede provocar que los operarios sigan diferentes procedimientos, lo que ralentiza la producción y aumenta los tiempos de inactividad. Además, la capacitación y las instrucciones poco claras aumentan la posibilidad de errores humanos.

Variable Crítica	Descripción	Impacto
Prácticas inadecuadas en la fabricación	Dentro del proceso de producción de escarchados no se prioriza el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad, las malas prácticas tienden a consolidarse, ya que los operarios no sienten la necesidad o la presión para adherirse a normativas rigurosas.	Las malas prácticas pueden generar inconsistencias en la producción de los escarchados, lo que resulta en productos defectuosos, mal terminados o que no cumplen con los estándares esperados de calidad.
Ausencia de indicadores de gestión para medir el rendimiento	La dirección o los responsables del área de producción pueden no estar familiarizados con los beneficios de contar con indicadores de desempeño, lo que impide que se implementen herramientas de medición para evaluar y mejorar el proceso. La ILC no cuenta con herramienta como KPI, CEP, CP Y CPK.	Sin estas herramientas, la empresa no puede cuantificar su rendimiento en áreas críticas como la eficiencia operativa, la calidad del producto, el tiempo de ciclo o los costos de producción, lo que dificulta la toma de decisiones informadas.
Procesos Manuales	El proceso de transferencia de alcohol en la producción de escarchados se realiza manualmente. Los operarios drenan el alcohol del tanque de almacenamiento, llenan (13) baldes de (10 litros) cada uno, y luego los transportan al piso superior, donde vacían el contenido en la marmita.	Al depender de los operarios para realizar la transferencia de forma física, es más probable que ocurran errores en la dosificación, lo que afecta la calidad del producto final al no mantener la proporción correcta de alcohol y agua.
Obsolescencia de Tecnología	El área de escarchado utiliza equipos, como el Videojet, que no han sido actualizados en varios años. El sistema de marcación de tapas y etiquetas presenta una considerable complejidad, requiriendo del operario una ubicación precisa del sensor y del marcador. Sin embargo, la máquina más obsoleta es la llenadora, la cual requiere de succiones manuales en sus boquillas para que el líquido salga.	La maquinaria obsoleta requiere más mantenimiento, lo que aumenta el tiempo de inactividad y la interrupción en el flujo de trabajo. Esto puede afectar la programación de la producción.

Variable Crítica	Descripción	Impacto
Personal Poco Capacitado	Dentro de la organización es común la contratación de personal sin las competencias adecuadas o sin experiencia previa en el manejo de los procesos productivos específicos.	El personal no capacitado tiende a ser menos eficiente en su desempeño, lo que compromete la eficiencia operativa.
Deficiencia en el reparto de tareas	La mayoría de los operarios se enfocan en el proceso de envasado, mientras que en las demás etapas algunos realizan tareas y otros permanecen inactivos. Además, no hay una asignación clara de responsabilidades según las habilidades o conocimientos de los operarios, ya que todos realizan todas las actividades sin una especialización definida.	Contar con un exceso de operarios, cuando solo una fracción es realmente necesaria, genera un desperdicio de recursos humanos y tiempo, lo que aumenta los costos operativos sin mejorar proporcionalmente el rendimiento. Además, la falta de asignación de tareas según las habilidades individuales impide aprovechar al máximo las competencias específicas de cada operario.
Problemas de Ergonomía	En algunos procesos, los operarios no trabajan en condiciones adecuadas de postura o ergonomía. Esto es especialmente crítico durante el proceso de elaboración del jarabe, donde el operario debe cargar un bulto de (50 kilos) de azúcar, subir por unas pequeñas escaleras hasta alcanzar la marmita y vaciar el contenido en ella.	Esta tarea representa un riesgo significativo tanto por el peso como por la posición incómoda, lo que puede derivar en lesiones y reducir la eficiencia del trabajo. Además, el operario corre el riesgo de perder el equilibrio en cualquier momento, lo que podría resultar en una caída y implicaría desperdicio de materia prima.

Desperdicio de Material	En el proceso de llenado de las botellas pequeñas, se utiliza una jarra para verter el licor directamente en la boca de la botella y en ocasiones el chorro no cae con precisión dentro de la botella. En el proceso de llenado, la maquina dispara el chorro continuamente sin parar, lo que provoca desperdicio de material al momento de cambiar de botella.	La postura del operario genera incomodidad y fatiga, lo que afecta su rendimiento. Además, al tratarse de un proceso monótono, la eficiencia es considerablemente baja. La dificultad para controlar el chorro de licor al verterlo en la botella provoca derrames, lo que resulta en desperdicio de producto.
-------------------------	---	--

Variable Critica	Descripción	Impacto
Deficiencia en la restricción de acceso a personal no autorizado	En la producción de escarchados, en ocasiones ingresa personal autorizado, pero este entra con ropa e implementos inapropiados para el entorno de producción.	El uso de ropa o equipo inadecuado puede aumentar el riesgo de accidentes o lesiones, como caídas o quemaduras. Además, pueden ser una fuente de contaminación.
Ausencia de control continuo	En la empresa no se cumple con el estandar de supervisión continua, ni se promueve ni una cultura de supervisión continua	La falta de supervisión constante hace que los procesos sean mal ejecutados y puede disminuir la calidad del producto debido a desviaciones en los procesos, aumentar los desperdicios y eleva los riesgos de seguridad al no seguir los protocolos adecuados.
Distribucción de planta	La planta presenta una distribución poco eficiente para el proceso, ya que el flujo de trabajo requiere un recorrido excesivamente largo y carece de una secuencia lógica y estandarizada.	Esto genera movimientos innecesarios, incrementa los tiempos de producción y dificulta la coordinación entre etapas, afectando la productividad y la eficiencia general.

Bibliografía

- [1] «SFM y LANDER refuerzan su alianza con la renovación total del simulador ferroviario | LANDER simulation». Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.landersimulation.com/es/noticias/sfm-lander-refuerzan-alianza-renovacion-total-simulador-ferroviario>
- [2] C. V. Dominguez, «Simulación digital», Monografias.com. Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf/simulacion-digital/simulacion-digital>
- [3] «1.3 Estructura Y Características DE LA Simulación DE Eventos Discretos - SIMULACIÓN UNIDAD 1 - Studocu». Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-del-valle-de-etla/estadistica-inferencial-ii/13-estructura-y-caracteristicas-de-la-simulacion-de-eventos-discretos/76246487>
- [4] «Simulación de eventos discretos: - Simulación de procesos industriales»: Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://1library.co/article/simulaci%C3%B3n-eventos-discretos-simulaci%C3%B3n-procesos-industriales.yj7oop6y>
- [5] O. E. A. Sánchez, Y. P. B. Montañez, y C. A. V. Villamarín, «mediante la redistribución en planta de una línea de producción».
- [6] «Ariza Oscar 2023 | PDF | Simulación | Business», Scribd. Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/712235296/ArizaOscar2023>

- [7] O. E. A. Sánchez, Y. P. B. Montañez, y C. A. V. Villamarín, «mediante la redistribución en planta de una línea de producción».
- [8] «La segunda transformación de Colombia: Cómo liberar el potencial del País | McKinsey». Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/co/reimaginando-a-colombia/la-segunda-transformacion-de-colombia-como-liberar-el-potencial-del-pais>
- [9] admin_sect, «Evolución de la Producción Industrial en Colombia: De un 26.2% a un 11.7% en Casi 40 Años (Infografía)», Sectorial. Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sectorial.co/articulos-especiales/evolucion-produccion-industrial-de-colombia-en-casi-40-anos-pasó-de-representar-el-262-al-117-infografía/>
- [10] «Productos de la Licorera del Cauca entre los mejores del mundo». Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cauca.gov.co/Prensa/SaladePrensa/Paginas/Productos-de-la-Licorera-del-Cauca-entre-los-mejores-del-mundo.aspx>
- [11] «Bebidas alcohólicas: países líderes del mercado mundial en 2023», Statista. Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/635621/ranking-mundial-de-los-paises-lideres-dentro-del-mercado-de-bebidas-alcoholicas/>
- [12] «Mercado de Licores en Colombia, Tamaño, Informe 2024-2032». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-licores-en-colombia>
- [13] Procolombia, «Las exportaciones de más de US\$10 millones en los cinco». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://procolombia.co/sala-de-prensa/noticias/las-exportaciones-de-mas-de-us10-millones-en-los-cinco-primeros-meses-del-ano-representan-un-crecimiento-de-34-frente-al-mismo-periodo-de-2021-segun-cifras-del-dane-con>
- [14] «wcms_836196.pdf». Accedido: 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40americas/%40ro-lima/documents/publication/wcms_836196.pdf
- [15] «Overview | FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations». Accedido: 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/about/about-fao/en/>
- [16] «Simulacion_de_un_proceso_industrial_mediante_FlexSim.pdf». Accedido: 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en:

https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20587/1/Simulacion_de_un_proceso_industrial_mediante_FlexSim.pdf

[17] «Inicio», FoodLossWaste. Accedido: 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/es>

[18] I. D. Márquez, M. L. R. Blanco, D. P. Martínez, J. M. R. Abondano, W. R. Orejuela, y D. A. M. Aponte, «CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL CONPES».

[19] «IN213_Simulacion_de_Sistemas_Discretos_202100.pdf». Accedido: 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/664513/IN213_Simulacion_de_Sistemas_Discretos_202100.pdf;jsessionid=0C74AC8A758D8DA55C7BA7877A4739A6?sequence=1

[20] «content.pdf». Accedido: 15 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/0155d803-0806-41bc-976a-1e8034618db7/content>

[21] «Sitio web bloqueado: Alcohol y tabaco». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ilcauca.com/>

[22] SYDLE, «Optimización de procesos: ¿Qué es y por qué es tan importante para tu negocio?», Blog SYDLE. Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sydle.com/es/blog/que-es-optimizacion-de-procesos-6126ac39b060f57604039a57>

[23] Marketing, «▷ Cuello de botella en la producción: Qué es y cómo solucionarlo», EDS Robotics. Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.edsrobotics.com/blog/cuello-botella-produccion/>

[24] «¿Cuáles son algunas formas efectivas de medir el desempeño operativo?» Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/advice/0/what-some-effective-ways-measure-operational-ocg8c?lang=es>

[25] «Modelado - EcuRed». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Modelado>

[26] «Importancia del análisis de escenarios en la gestión de fondos de inversión». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bekafinance.com/noticia/importancia-analisis-escenarios-gestion-fondos-inversion>

- [27] zonacaptiva1, «Flexsim: ¿Qué es y para que nos sirve?», Zona Captiva. Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://zonacaptiva.com/tecnologia/flexsim-que-es-y-para-que-nos-sirve/>
- [28] «Eficiencia y eficacia: diferencia y ejemplos de aplicación». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.hubspot.es/sales/eficiencia-y-eficacia>
- [29] Asana, «¿Qué es VSM y cómo se hace un Value Stream Mapping? [2024] • Asana», Asana. Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://asana.com/es/resources/value-stream-mapping>
- [30] «Optimización del proceso de toma de decisiones en el manejo de sustancias químicas en planta de distribución mediante modelación en programa Flexsim | Avila-Salazar | Polo del Conocimiento». Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3326>
- [31] E. Orozco-Crespo, N. Sablón-Cossio, R. Saraguro-Piar, D. Hermoso, y Y. Rodríguez-Sánchez, «Optimización de Recursos mediante la Simulación de Eventos Discretos», *TM*, may 2019, doi: 10.18845/tm.v32i2.4356.
- [32] I. F. G. Jacobo, «MAESTRO EN MANUFACTURA AVANZADA».
- [33] «Boletín Científico - Ingenio y Conciencia No. 2». Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/sahagun/n2/p1.html>
- [34] «Sitio web bloqueado: Alcohol y tabaco». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ilcauca.com/files/21/NORMOGRAMA.pdf>
- [35] «norma_pdf.pdf». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=3337
- [36] «Resolución 2674 de 2013 Ministerio de Salud». Accedido: 15 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=54030>
- [37] «Aprendiendo Bioestadística con R». Accedido: 26 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://osoramirez.github.io/R_Para_Biologos/test-de-hipotesis-y-pruebas-no-parametricas.html
- [38] «Máquina De Etiquetado De Botella 15-100m Redonda Eléctrica - \$ 3.485.424». Accedido: 27 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1547265627-maquina-de-etiquetado-de-botella-15-100m-redonda-electrica-_JM