



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE
LAVADO DE SACOS DE AZÚCAR
MEDIANTE SIMULACIÓN
GEOVANA RIVERA-SEGURA

Lima, marzo de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas

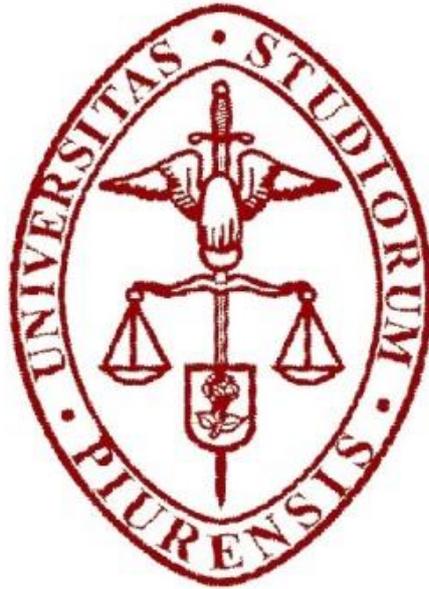
Rivera, G. (2017). *Optimización del proceso de lavado de sacos de azúcar mediante simulación* (Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Lima, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Optimización del proceso de lavado de sacos de azúcar mediante simulación”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

Geovana Vanesa Rivera Segura

Asesora: Susana Vegas Chiyón

Lima, marzo 2017

A mis padres, por su apoyo incondicional, paciencia y cariño.

Resumen

El estudio realizado corresponde a la evaluación del proceso de lavado de sacos de azúcar mediante la aplicación de la metodología de simulación de sistemas, que permita determinar estrategias que garanticen una atención óptima de la demanda, ante un incremento de esta.

Entre los objetivos específicos está el establecimiento de un patrón de la demanda, que se realizó de acuerdo al tipo de remitente, el desarrollo del modelo de simulación del proceso de lavado de sacos de azúcar, la determinación de los estándares de producción y la propuesta de mejoras necesarias que garanticen la atención de la demanda.

El proceso en estudio corresponde a un proceso de servicio manual dividido en 3 etapas i) Recepción y disposición, ii) Producción, iii) Empaque y despacho, las cuales son llevadas a cabo por un equipo de siete personas, quienes laboran seis días a la semana, una jornada de 8 horas y 25 días útiles al mes.

De la recolección y análisis de los tiempos de operación se ha establecido estándares de producción que permitan orientar y facilitar la toma de decisiones en el desarrollo del proceso, en los que se identificó dos actividades que demoran mayor tiempo, lavado y secado.

Debido a la iniciativa de los clientes de establecer alianzas estratégicas, se ha previsto que en caso de un incremento de la demanda en un 44.86 %, no se podrá alcanzar la tasa mínima de servicio (80%), frente a lo cual se ha propuesto la incorporación de un trabajador más, de manera que los miembros del equipo de lavado puedan laborar seis días a la semana, cada uno descansando en un día diferente, con el fin de obtener una producción continua los siete días a la semana e incrementar la capacidad utilizada de secado en 24% y alcanzar tasas de servicio superiores al 80%.

Prólogo

El presente trabajo tiene como finalidad proporcionar una alternativa de solución a la empresa objeto de estudio, ante la intención de sus clientes de establecer alianzas estratégicas que implica un incremento de la demanda, de manera que se pueda brindar el servicio de lavado de sacos de azúcar de acuerdo a la demanda requerida.

Un incremento en la demanda implicaría el contrato de mayor número de personal, sin embargo, al desconocerse la capacidad de atención y los recursos necesarios, podría llevar a realizar excesivos gastos. En este sentido, el presente estudio permitirá definir tales aspectos y prever mejoras ante un incremento de la demanda, que unidas a un contrato a largo plazo traerá beneficios económicos para la empresa prestadora del servicio.

Índice general

Resumen	i
Prólogo	iii
Índice general	v
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	vii
Introducción.....	1
Capítulo 1: Aspectos generales.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación	4
Capítulo 2: Marco teórico y metodológico.....	7
2.1 La simulación como técnica de Investigación de Operaciones	7
2.1.1 Investigación de Operaciones.....	7
2.1.2 Etapas del método científico en la Investigación de Operaciones.....	7
2.1.3 Técnicas de Investigación de Operaciones.....	10
2.2 Herramientas de la simulación.....	14
2.2.1 Diagrama de operaciones del proceso (DOP).....	14
2.2.2 ExtendSim	15

2.3 Marco metodológico	18
2.3.1 Tipo de investigación	19
Capítulo 3: Desarrollo del modelo de simulación	21
3.1 Aplicación de la técnica de simulación al proceso de lavado de sacos	21
3.2 Formulación de modelo	23
3.2.1 Recopilación de información.....	23
3.2.2 Elaboración de modelos conceptuales.....	24
3.2.3 Limitaciones en la construcción del modelo	34
3.2.4 Recolección de datos y obtención de estadísticas de duraciones..... y rendimientos	35
3.3 Codificación del modelo	44
3.4 Validación del modelo	53
3.5 Análisis del modelo inicial	53
3.5.1 Ejecución de corrida de simulación.....	53
3.5.2 Análisis de resultados	54
3.6 Diseño y análisis de escenarios diferentes	59
3.6.1 Escenario 1	59
3.6.2 Escenario 2	60
3.6.3 Escenario 3	60
3.7 Planteamiento de mejora.....	61
Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones	67
Bibliografía.....	69
Anexos.....	71
Anexo 1 Data recopilada de las actividades del proceso de lavado de sacos.....	71
Anexo 2 Modelo y resultados de las diez pruebas del modelo inicial	71
Anexo 3 Modelo y resultados de las diez pruebas del escenario 1.....	71
Anexo 4 Modelo y resultados de las diez pruebas del escenario 2.....	71
Anexo 5 Modelo y resultados de las diez pruebas del escenario 3.....	71
Anexo 6 Modelo y resultados de las diez pruebas del modelo con la mejora propuesta	71

Índice de tablas

Tabla 1. Simbología de diagrama de operaciones	14
Tabla 2. Librerías de ExtendSim	18
Tabla 3. Evaluación de aplicación de simulación en proceso de lavado de sacos de .. azúcar.....	22
Tabla 4. Duración y rendimiento de actividades	35
Tabla 5. Prueba de bondad de ajuste del apilado de sacos	36
Tabla 6. Prueba de bondad de ajuste del traslado a zona B.....	37
Tabla 7. Prueba de bondad de ajuste del almacenamiento de sacos.....	37
Tabla 8. Prueba de bondad de ajuste del habilitado de sacos	38
Tabla 9. Prueba de bondad de ajuste del traslado de sacos a zona D	38
Tabla 10. Prueba de bondad de ajuste del traslado de sacos a zona E.....	39
Tabla 11. Prueba de bondad de ajuste de la distribución de sacos	40
Tabla 12. Prueba de bondad de ajuste del traslado de sacos a zona F.....	41
Tabla 13. Prueba de bondad de ajuste del tamaño de lote del remitente 1	42
Tabla 14. Prueba de bondad de ajuste del tamaño de lote del remitente 2.....	42
Tabla 15. Prueba de bondad de ajuste del tamaño de lote del remitente 3.....	43
Tabla 16. Distribución para el tiempo entre llegadas de lotes y para el tamaño del lote	46
Tabla 17. Tiempo de secado	51
Tabla 18. Tasa de servicio de simulación del modelo inicial.....	53
Tabla 19. Data sobre llegada de items	54
Tabla 20. Resumen de tiempo insumido y perdido en la actividad apilado	55
Tabla 21. Resumen de tiempo insumido y perdido en la actividad habilitado.....	55
Tabla 22. Resumen de tiempo insumido y perdido en la actividad lavado	56
Tabla 23. Resumen de tiempo insumido y perdido en la operación secado.....	57
Tabla 24. Resumen de tiempo insumido y perdido en la operación embolsado	58
Tabla 25. Tasa de servicio de simulación de escenario 1	59
Tabla 26. Tasa de servicio de simulación de escenario 2.....	60
Tabla 27. Tasa de servicio de simulación de escenario 3.....	61
Tabla 28. Distribución de sacos para la operación secado en el tiempo	62
Tabla 29. Tasa de servicio de simulación de escenario 4.....	65

Índice de figuras

Figura 1. Etapas del método científico en la construcción de un modelo..... de optimización	7
Figura 2. Clasificación de modelos	9
Figura 3. Metodología de simulación.....	13
Figura 4. Metodología del modelo de simulación	19
Figura 5. Capturas del subproceso de recepción y disposición.....	23
Figura 6. Capturas del subproceso de producción.....	24
Figura 7. Capturas del subproceso de empaque y despacho.....	24
Figura 8. Proceso operativo de lavado de sacos de azúcar	25

Figura 9. Diagrama de operaciones del subproceso recepción y disposición	26
Figura 10. Diagrama de operaciones de subproceso producción	27
Figura 11. Diagrama de operaciones de subproceso empaque y despacho	28
Figura 12. Plano de primera planta.....	33
Figura 13. Plano de segunda planta	33
Figura 14. Plano de cuarta planta	34
Figura 15. Plano de quinta planta	34
Figura 16. Modelo ExtendSim.....	45
Figura 17. Captura de pantalla de la etapa de recepción del modelo	46
Figura 18. Captura de pantalla del apilado de sacos.....	47
Figura 19. Captura de pantalla del traslado de sacos.....	47
Figura 20. Captura de pantalla del almacenamiento de sacos	48
Figura 21. Captura de pantalla del traslado de sacos a zona C.....	48
Figura 22. Captura de pantalla del habilitado.....	49
Figura 23. Captura de pantalla del traslado a zona D.....	49
Figura 24. Captura de pantalla del lavado de sacos.....	50
Figura 25. Captura de pantalla del traslado a zona E	50
Figura 26. Captura de pantalla de la disposición de sacos	51
Figura 27. Captura de pantalla del secado de sacos	51
Figura 28. Captura de pantalla del traslado a zona F.....	52
Figura 29. Captura de pantalla del embolsado	52
Figura 30. Veces en que se satura la capacidad de la cola	57

Introducción

En la actualidad, la aplicación de modelos de optimización a través de la simulación es cada vez más frecuente en la toma de decisiones, dado que permite la evaluación de una propuesta, su proyección y, entre otros, la identificación de sus puntos de mejora o el cumplimiento de los requisitos.

La empresa evaluada brinda el servicio de lavado de sacos de azúcar a las empresas agroindustriales, así como a una embotelladora; sin embargo presenta algunas debilidades en la atención ante incrementos inesperados de demanda.

En ese marco, el presente estudio busca analizar la capacidad del proceso de lavado de sacos de azúcar mediante la aplicación de la metodología de simulación de sistemas, y determinar estrategias que garanticen una atención óptima de la demanda, ante un incremento de esta.

La distribución de los cinco capítulos está orientada a definir, en primer lugar, los aspectos generales del estudio realizado, como el problema, objeto de estudio y justificación. En segundo lugar, se presenta el marco teórico de la metodología aplicada, mientras que en el tercer capítulo se explica el desarrollo de dicha metodología.

El cuarto capítulo presenta el desarrollo del modelo, en el que se presenta la formulación, codificación, validación y análisis del modelo inicial, que refleja el comportamiento del proceso de lavado de sacos de azúcar en la actualidad. Posteriormente se desarrolla el diseño y análisis de escenarios con incrementos de demanda, además de plantearse las mejoras para su atención cumpliendo con la tasa de servicio objetivo.

Finalmente, el quinto capítulo muestra las conclusiones, producto del análisis realizado.

Se agrega un apartado de anexos en los que está el detalle con el modelo y la data recopilada de las operaciones que conforman el proceso de lavado de sacos de azúcar, tanto para el modelo inicial, su análisis, los tres escenarios planteados y el modelo con la propuesta de mejora.

Capítulo 1: Aspectos generales

1.1 Planteamiento del problema

En la elaboración de bebidas carbonatadas, el azúcar es una de las principales materias primas cuyos costos afectan directamente al costo de manufactura. Esta, además de tener un precio competitivo, debe cumplir con estándares de calidad e inocuidad muy exigentes para que el producto final cumpla también con las especificaciones microbiológicas establecidas para las bebidas. Las empresas que elaboran bebidas adquieren el azúcar en sacos bolsas (empaques primarios), los cuales tradicionalmente eran de un solo uso para este fin, viéndose afectado el precio de azúcar por la participación del empaque.

En ese sentido las empresas del rubro de alimentos y bebidas que utilizan azúcar en sus procesos se han visto en la necesidad de reutilizar los sacos que contiene dicha azúcar, generando un ahorro en los costos de la materia prima. Partiendo de esa necesidad, la empresa evaluada trabajó en un proyecto para reusar los sacos, brindando el servicio de lavado de sacos de azúcar a dos de esas empresas Corporación J.R. Lindley S.A. con dos plantas, Bocanegra y Santa Rosa, en adelante Corporación L. planta Bocanegra y Corporación L. planta Santa Rosa; y Empresa Agroindustrial Laredo S.A., en adelante Laredo, generando toda una infraestructura y modelo de negocio orientado a cumplir con el requerimiento de calidad e inocuidad.

Dicha prestación se ha llevado a cabo desde el año 2011 hasta la fecha; sin embargo, no cuenta con un patrón de demanda del servicio, lo que ocasiona que cuando se recibe menos de la cantidad promedio de sacos, el personal deba ser asignado a otros puestos; en cambio cuando se tiene más del promedio, para cumplir con el tiempo de entrega, el personal no puede cubrir por completo la demanda de prestación durante su jornada de trabajo, lo que genera la necesidad de incurrir en horas extras, implicando un costo extra para la empresa, ya que en caso de contratar a más personal no se cuenta con el espacio suficiente para el adecuado desempeño de las labores de prestación del servicio. Por otro lado, tampoco cuenta con tasas de producción y procedimientos de

cada actividad, lo que conlleva a una operatividad dependiente de la experiencia y método de trabajo de cada colaborador.

Asimismo, ambas empresas han manifestado su interés en establecer alianzas estratégicas, lo cual conllevaría a un aumento de la demanda del servicio, para lo cual la empresa debe prever una adecuada atención.

1.2 Formulación del problema

La empresa evaluada no cuenta con un análisis sobre la demanda de prestación del servicio, en los que se tenga en cuenta factores como volumen de sacos que reciben durante el año, y los plazos de entrega; tampoco cuenta con un análisis sobre la capacidad de atención del servicio, que incluya variables como desarrollo, tiempo por actividad, número de horas hombre requeridas para cada actividad y número de sacos resultantes de cada actividad.

En ese sentido, ante una posibilidad de establecer alianzas estratégicas con las empresas a las que brinda el servicio de lavado de sacos de azúcar, la empresa prevé un aumento de la demanda (volumen de sacos), lo que la lleva a cuantificar los factores que intervienen dentro de la cadena de producción y buscar optimizar el proceso de lavado de sacos de azúcar para una adecuada prestación del servicio.

Por lo tanto, el estudio busca establecer las actividades, las tasas de producción y determinar si la empresa, con sus instalaciones, y tal cual se viene brindando el servicio, va a poder afrontar posibles incrementos en la demanda de lavado de sacos, es decir, si el proceso como tal es sostenible en el tiempo. Asimismo, busca analizar y proponer qué acciones son convenientes para garantizar suficiente capacidad que permita atender la demanda.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la capacidad del proceso de lavado de sacos de azúcar mediante la aplicación de la metodología de simulación de sistemas y determinar estrategias que garanticen una atención óptima de la demanda, ante un incremento de esta.

1.3.2 Objetivos específicos

- Establecer las actividades que comprende el proceso de lavado de sacos de azúcar.
- Determinar los estándares de producción del proceso.
- Establecer el patrón de la demanda.
- Desarrollar el modelo de simulación del proceso de lavado de sacos de azúcar.
- Identificar cuellos de botella del proceso de lavado de sacos de azúcar.
- Proponer mejoras necesarias que garanticen la atención de la demanda.

1.4 Justificación

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad proporcionar una alternativa de solución a la empresa evaluada, optimizando sus procesos, de manera que se

pueda brindar el servicio de lavado de sacos de azúcar de acuerdo a la demanda requerida.

Los dos clientes de la empresa han manifestado su intención de establecer alianzas estratégicas; por ello, la empresa, previniendo una demanda (volumen de sacos) creciente, así como un contrato a largo plazo como consecuencia de las alianzas estratégicas, busca optimizar su proceso.

Un incremento en la demanda implicaría el contrato de mayor número de personal; sin embargo, al desconocerse la capacidad de atención, es decir, el número de sacos despachados por mes, así como el número de horas hombre dedicado a cada operación del proceso, podría llevar a incurrir en excesivos gastos de personal. A ello se añade la posibilidad de incrementar la capacidad de lavado de sacos, respecto al área que ocupa.

En este sentido, se pretende determinar la capacidad de respuesta, o los ajustes necesarios por realizar en el proceso, como un aumento de la cantidad de personal, incremento del número de turnos de trabajo, o un incremento de la capacidad de área para aumentar su capacidad operativa y poder cumplir con la demanda de atención de lavado de sacos.

Para ello se propondrá un modelo actual del citado proceso, así como un modelo optimizado, ambos alcanzados mediante el uso del software ExtendSim versión 7 LT, lo que permitirá una adecuada capacidad de atención de la demanda de lavado de sacos, que unida a un contrato a largo plazo traerá beneficios económicos para la empresa prestadora del servicio.

Capítulo 2: Marco teórico y metodológico

2.1 La simulación como técnica de Investigación de Operaciones

2.1.1 Investigación de Operaciones

La investigación de Operaciones es una disciplina basada en la aplicación de métodos analíticos con el fin de encaminar un proceso de toma de decisiones hacia el modo óptimo de realizar una determinada tarea o proceso.

Según la Sociedad Americana de Sistemas de Producción y Control de Inventarios (s/f), es el *análisis cualitativo de operaciones industriales y administrativas con el intento de derivar un entendimiento integrado de los factores que controlan los sistemas operacionales en vista de proporcionar a la Administración un objetivo básico para tomar decisiones que frecuentemente involucran representar por medio de un modelo matemático la realidad.*

En ese sentido, la Investigación de Operaciones tiene como objetivo encontrar la solución óptima para el problema analizado, tomando en cuenta todos los factores y recursos que intervienen; es así que esta solución óptima está en función de la necesidad del cliente, es decir, de la priorización de los factores y recursos que intervienen en el problema por evaluar, como pueden ser dinero, materia prima, mano de obra en el caso de recursos, y en el caso de factores, tiempo de entrega, calidad de atención al cliente, entre otros.

2.1.2 Etapas del método científico en la Investigación de Operaciones

El método científico está formado por cinco etapas, como se puede apreciar a continuación:



Figura 1. Etapas del método científico en la construcción de un modelo de optimización
Fuente: Elaboración propia

2.1.2.1 Definición del problema

La definición del problema, tal como su nombre lo indica, define la situación para la cual se busca proponer un curso de acción con el fin de cumplir con ciertos parámetros de eficacia y eficiencia, previamente identificados.

Un desarrollo adecuado de esta etapa asegura la calidad del modelo de optimización.

En esta etapa se identifica la situación que se va a evaluar, el nivel de cumplimiento respecto de los estándares, y los factores que influyen, las restricciones sobre lo que puede hacer, entre otros, que en suma conforman el sistema; de manera que se tenga claro desde el inicio el campo que se va a examinar, lo que permitirá que el desarrollo y resultados del modelo estén en concordancia con lo establecido previamente.

Por todo ello es importante considerar tres aspectos:

- Descripción del objeto del estudio.
- Identificación de las alternativas de decisión.
- Reconocimiento de las limitaciones, restricciones y requisitos del sistema.

2.1.2.2 Construcción del modelo

Se denomina modelo a la representación abstracta de un sistema y la forma en que este opera. Es usado para analizar el comportamiento del sistema o predecir su comportamiento futuro.

A partir de la definición del problema, se debe construir el modelo más adecuado al sistema observado, partiendo de la premisa de que el modelo debe ser menos complejo que el problema real, considerando que es una aproximación abstracta del problema real (Chávez, 2009). En ese sentido, en esta etapa se lidia con un balance entre la construcción de un modelo representativo del sistema real, mientras por otro lado, se busca que el modelo no sea tan complejo como el sistema mismo con simplificaciones y consideraciones que hacen más manejable el problema y favorecen su resolución, mediante la evaluación de alternativas de solución; es por ello que puede existir más de un modelo que represente a un sistema, con distinto nivel de detalle y abstracción, y en consecuencia, más de un modelo de optimización.

Cabe resaltar que, en esta etapa, las limitaciones, restricciones y requisitos identificados en la etapa previa se definen, además de las suposiciones, lo cual permite representar las porciones más relevantes y objeto de estudio.

Dicho modelo puede ser de dos tipos, físico o matemático, y a su vez, estático o dinámico, tal como se muestra en la Figura 2.

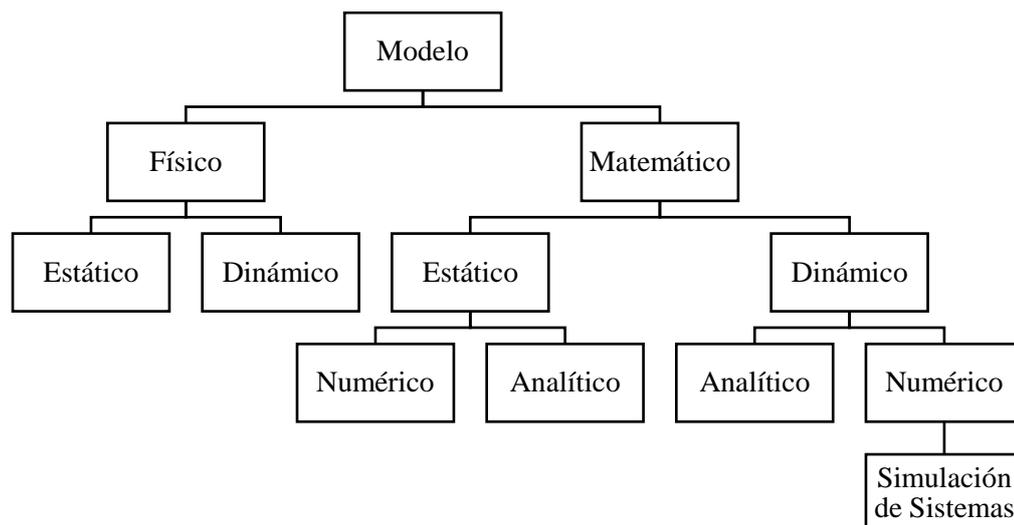


Figura 2. Clasificación de modelos

Fuente: Introducción a la Investigación de Operaciones. Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay (s/f, p. 147).

La primera clasificación se refiere a que un modelo no es siempre una descripción matemática de un sistema, dado que puede ser representado físicamente, por ejemplo: tanques de agua para estudiar el diseño de naves acuáticas, modelos a escala utilizados en los túneles de viento, entre otros. También puede ser una representación matemática, en el que las entidades del sistema y sus atributos se representan mediante variables y las actividades mediante funciones que interrelacionan las variables, a las que denominamos restricciones.

La segunda clasificación está relacionada con la variable tiempo, por lo que se identificaron aquellos modelos estáticos en los que se muestran los atributos del sistema cuando éste se encuentra en equilibrio, es decir, cuando no presenta actividades. Por otro lado, tenemos los modelos dinámicos, en los que se muestra los cambios de los atributos a lo largo de un periodo de tiempo.

La tercera clasificación corresponde al tipo de solución del modelo, en donde puede ser analítica o mediante un cálculo numérico, por ejemplo, en el caso de los modelos matemáticos dinámicos se resuelvan mediante métodos numéricos, siendo la simulación uno de ellos. En ese caso se considera los cambios producidos en los valores que adoptan las variables a lo largo de un periodo de tiempo.

2.1.2.3 Solución del modelo

La solución de un modelo implica la identificación de los valores de las variables dependientes, asociadas a los componentes controlables del sistema con el objetivo de mejorar la efectividad del sistema en el marco de la definición del problema (Chávez, 2009)

En ese sentido, los métodos de solución se adaptan a las características del modelo, siendo los procedimientos de tres tipos:

- Analíticos: utilizan procesos de deducción matemática con suposiciones que simplifican el modelo.

- Numéricos. En el caso de los modelos matemáticos se utilizan técnicas de optimización y/o programas computacionales que utilicen algoritmos de resolución específicos, siendo el resultado la solución óptima.
- Simulación o heurístico, donde el resultado se emplea para obtener evaluaciones aproximadas de las medidas del sistema a medida que evoluciona en el tiempo.

2.1.2.4 Validación del modelo

Validar el modelo tiene el objetivo de verificar la confiabilidad del modelo en referencia al sistema real, mediante el cumplimiento de las condiciones definidas inicialmente, es decir, si soluciona el problema planteado (Chávez, 2009).

En ese sentido, una forma de validación es variar los valores de los parámetros de entrada y/o de las variables de decisión, de manera que se compruebe que los resultados del modelo se comporten de una manera factible.

2.1.2.5 Implementación de los resultados finales

Una vez validado el modelo, se procede a aplicar la solución óptima al sistema real, lo cual implica la traducción de la solución en instrucciones de operación detallada, de manera comprensible para el personal de operación y supervisores. (Maturana, 2016)

2.1.3 Técnicas de Investigación de Operaciones

Entre las técnicas de modelado que ha desarrollado la Investigación de Operaciones tenemos:

- Programación Lineal:

La programación lineal es una técnica de modelado matemático que tiene por objeto optimizar el uso de recursos escasos. Los métodos de programación lineal parten de una función objetivo lineal y de restricciones lineales, lo cual permite resolver problemas si están bien planteados, con poco tiempo de cálculo y con un bajo consumo de recursos computacionales (Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, s/f)

Dicha programación tiene muchos campos de aplicación, entre los que destacan: el ejército, la agricultura, la industria, los transportes, la economía, los sistemas de salud e incluso los sistemas conductuales y sociales.

Dado el avance de la tecnología y el alto grado de eficiencia computacional, la utilidad de la programación lineal se ha incrementado, siendo base para el desarrollo de algoritmos de modelos de Investigación de Operaciones más complejos, incluyendo la programación entera, no lineal y estocástica.

- Programación No Lineal:

La Programación No Lineal surge ante dos críticas de la Programación Lineal: la restrictividad de la hipótesis de linealidad y la dificultad de definir una única función objetivo, dado que son lineales (Merino, s/f).

En ese sentido, la programación no lineal permite abordar problemas donde existen economías o deseconomías de escala o en general donde los supuestos asociados a la proporcionalidad no se cumplen. (Perea, 2012). Dentro del ámbito de aplicación se encuentra el diseño de entidades como transformadores eléctricos, procesos químicos, condensadores de vapor y filtros digitales (Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, s/f).

- Teoría de Colas:

Un sistema de colas se puede describir como un sistema al que llegan unos clientes para ser atendidos, y en el que se forman colas dado que la atención no siempre es inmediata. En algunos casos abandonan el sistema antes de ser atendidos (García, J, 2015; Angulo, 2011).

La formación de colas se debe a que la demanda del servicio es mayor a la capacidad del sistema (Angulo, 2011), es decir, al producto del número de operadores que ofrecen el servicio a la vez y al tiempo de servicio promedio.

Si bien es cierto, formar una cola disminuye la satisfacción del servicio prestado, no puede anularse dado que los costos aumentarían. Por ello, la empresa busca un equilibrio entre estos factores, optimizando su utilización mediante la aplicación del análisis de la teoría de colas.

Para la caracterización del sistema se utiliza la distribución de probabilidad de los tiempos de llegada de los clientes, la distribución del tiempo de servicio y el número de servidores existentes; mientras busca identificar los valores de variables como: número esperado de clientes en el sistema, número esperado de clientes en la cola, número medio de servidores ocupados, tiempo medio de espera en la cola, tiempo medio de permanencia en el sistema (Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, s/f).

- Programación Entera:

La programación entera es un tipo de programación enfocada en problemas que presentan variables binarias, es decir, que toman valores 0 o 1, o variables que toman valores enteros no negativos. Para atender a ello, la programación entera propone herramientas y algoritmos variantes de dos métodos: el método de ramificación y acotamiento también conocido como Branch and Bound y el método de los planos de corte también llamado *Cutting plane*. (Mateo, P. & Lahoz, D, 2009; Angulo, 2011).

Entre los campos de aplicación están: ubicación de insumos, secuencia de trabajos en líneas de producción, balance de líneas de montaje, problemas de asignación biunívoca, control de inventarios, y reemplazo de máquinas (Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, s/f).

- Programación Dinámica:

La programación dinámica se utiliza para resolver problemas de optimización que en su mayoría se expresan mediante funciones no lineales. (Angulo, 2011)

En ese sentido, se trata de un procedimiento matemático diseñado para la solución de sistemas seriales multi-etapa, es decir, en los que se descomponen el problema en etapas sucesivas y se empieza a resolver desde el final hasta el principio. Por ello, un requisito es que el sistema se base en un proceso desarrollado en etapas, como los procesos de manufactura. De esta manera, se busca optimizar el desempeño dejando de ver el problema como una unidad, sino más bien, optimizar una etapa por vez, produciendo un conjunto de decisiones óptimas para todo el proceso. Por ello, los cálculos en las diferentes etapas se enlazan a través de cálculos recursivos de manera que se genere una solución óptima factible a todo el problema, lo cual permite decidir considerando las consecuencias que trae esta decisión (Taha, 1995; Angulo, 2011; Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, s/f).

Las áreas de aplicación son inversiones de capital, confiabilidad de máquinas, análisis de redes, entre otros, los cuales coinciden en ser sistemas seriales multi-etapa.

- Simulación:

La simulación es una herramienta computacional que permite conducir sistemas dentro de un contexto, con la finalidad de analizar su comportamiento en el tiempo y evaluar diferentes condiciones de operación que podrían significar una mejora en la efectividad del proceso bajo estudio. Esta herramienta no permite encontrar la configuración óptima de los recursos involucrados en el proceso que maximicen o minimicen una variable de respuesta de este sistema; sin embargo, permite comparar diferentes alternativas evaluadas a través de la simulación y seleccionar la que presente mejores resultados. (Moraga Rebolledo, Milton, & Baesler Abufarde, Felipe; 2001).

A pesar de que para estudiar realmente un sistema se debería experimentar con él en tiempo real, muchas veces no se puede, por lo que se recurre a la simulación. Algunas de las razones por las que no se puede experimentar con el modelo real serían:

- a) El sistema aún no exista, por ejemplo, al planificar el abastecimiento de materia prima para un nuevo producto.
- b) La experimentación con el sistema real sea muy cara, por ejemplo, identificar si asignar cierta suma de dinero en un equipo es rentable.
- c) La experimentación con el sistema sea inapropiada, por ejemplo, las acciones que se han de adoptar ante catástrofes por parte de hospitales, policías y el servicio de ambulancia.

En ese sentido, el avance tecnológico ha sido un aliado que ha permitido utilizar la simulación en ámbitos como construcción de prototipos de automóviles, aviones, armas de guerra, medicina, procesos de producción, modelos econométricos, problemas logísticos, lo que ha permitido ahorrar tiempo y dinero, evitando riesgos, además de alcanzar la independencia de la duración real del evento, por ejemplo

simular procesos muy largos o muy cortos, y por último, estudiar el comportamiento del sistema al introducir variantes para alcanzar la solución esperada.

Además de la simulación, una alternativa para la experimentación es la construcción de un prototipo; sin embargo, dicha construcción también puede ser muy costosa, poco práctica y algunas veces, incluso, imposible. En ese sentido, la simulación sigue siendo la mejor alternativa (Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, s/f).

La metodología seguida para la simulación y optimización de un sistema presenta siete (7) etapas, como se muestra en la Figura 3 y se describen a continuación:



Figura 3. Metodología de simulación

Fuente: Uso de inteligencia artificial para la optimización de un modelo de simulación aplicado a un proceso de remanufactura de pino radiata. Moraga Rebolledo, Milton, & Baesler Abufarde, Felipe (2001).

Elaboración propia

- a) **Formulación del problema:** se debe enunciar el problema y los objetivos de su estudio, de manera que se tenga claro la información por recopilar del sistema en estudio.
- b) **Plan de estudio o plan de trabajo:** se enuncia un plan que permite controlar el desarrollo del estudio, permitiendo que se abarque el problema de acuerdo a los objetivos definidos.
- c) **Formulación del modelo:** integrada por tres sub-etapas
 - c.1) **Recopilación de información relacionada al proceso de análisis:** se realiza un seguimiento detallado a las operaciones del proceso que se va a evaluar, por medio de observación directa, fotografía, video; y se recopila aquella información que la empresa pueda proporcionar, como el proceso documentado, mapa del proceso, entre otros.
 - c.2) **Elaboración de modelos conceptuales:** las operaciones del proceso observado son modeladas con base en diagramas de flujo que permiten representarlos competentemente, dando una visión del modo de operación del conjunto.
 - c.3) **Recolección de datos y obtención de estadísticas de duraciones y rendimientos:** se toman mediciones de manera sistemática de tiempos y rendimientos del personal asignado por operación y equipos realizando las actividades que se quieren modelar.

- d) Codificación de los modelos en la plataforma seleccionada: los modelos conceptuales son plasmados en la plataforma de simulación digital seleccionada, de acuerdo a la información recopilada en la etapa previa.
- e) Para la codificación se puede utilizar lenguajes específicos de simulación que facilitan no solamente el lenguaje en sí, sino un conjunto de conceptos de modelado que se utilizan para caracterizar el sistema con herramientas de especificación, e incluso en algunos casos brindan facilidades de generación de código a través de esqueletos estándar, lo cual facilita no entrar en detalle dentro de la programación.
- f) Validación del modelo frente al proceso real en obra: esta validación del modelo virtual contra los datos reales obtenidos en campo es fundamental, ya que permite ajustar el modelo a la realidad según los supuestos definidos. En ese sentido, solo después de una validación adecuada, el modelo puede ser considerado como utilizable.
- g) Diseño de experimentos: corresponde al diseño de alternativas que permitan mejorar la eficiencia del sistema según lo señalado en la etapa Formulación del problema, en concordancia con los objetivos de estudio. Cabe señalar que se debe tener en cuenta el significado estadístico de los resultados ante la presencia de eventos aleatorios en la simulación.
- h) Ejecución de las corridas de simulación y análisis de resultados: una vez diseñados los experimentos, se procede a ejecutar las corridas y estudiar o interpretar los resultados en función al objetivo planteado (Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, s/f, p. 150-151).

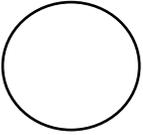
2.2. Herramientas de la Simulación

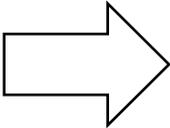
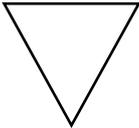
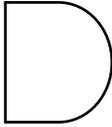
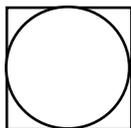
2.2.1 Diagrama de operaciones del proceso (DOP)

Representación gráfica de la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones que se realizan y cómo va uno incorporando materiales, insumos al proceso, desde la llegada de la materia prima hasta el empaque o arreglo final del producto terminado. En ese sentido, se dice que dicho diagrama representa en lo posible el proceso.

Para la construcción del gráfico de todo proceso utiliza simbología que representa las actividades dentro del proceso según la Tabla 1.

Tabla 1. Simbología de diagrama de operaciones

Simbología	Actividad	Descripción
	Operación	Modificaciones en los atributos o propiedades de cualquier material, producto en proceso, materia prima o productos terminados.

Simbología	Actividad	Descripción
	Inspección	Verificación de ciertas propiedades de los materiales, insumos, etc. Las propiedades que se identifican pueden ser presión, temperatura, color, sabor, entre otros. Mientras que la medida de verificación está de acuerdo a la calidad, cantidad o ambas.
	Transporte	Traslado de una posición a otra. El objeto de transporte pueden ser personas, materiales, equipos de trabajos, máquinas, herramientas. No incluye los movimientos que forman parte de una operación o inspección
	Almacenamiento	Depósito o ubicación de producto en proceso o producto terminado en un espacio (almacén), por un tiempo determinado.
	Espera	Demora o transcurso del tiempo esperando que ocurran algunos hechos para empalmar con el inicio de la siguiente operación, también puede referirse como un trabajo en suspenso entre operaciones sucesivas.
	Operación/ inspección	Indica la ejecución de dos actividades en simultáneo, ocurre cuando se requiere hacer una operación y al mismo tiempo verificar que cumpla con especificaciones predefinidas.

Fuente: SENATI (2013, 24 de abril). Diagrama de operaciones [Archivo de Video]. Video publicado en <https://www.youtube.com/watch?v=sTKdJgcAb3w>
Elaboración propia

2.2.2 ExtendSim

Software de simulación que permite modelar procesos de eventos discretos, continuos y basados en agentes (*agent-based* en inglés). Dicho programa tiene cuatro módulos: (1) Procesos continuos (ExtendSim CP, por sus siglas en inglés *continuous processes*), (2) Investigación operativa (ExtendSim OR, por sus siglas en inglés *operations research*) que adiciona la función de eventos discretos; (3) Tecnología avanzada (ExtendSim AT, por sus siglas en inglés *advanced technology*) que además de los eventos discretos, adiciona gran cantidad de características de simulación y Stat::Fit, software que permite ajustar las distribuciones estadísticas; y finalmente (4) Ambiente profesional 3D (ExtendSim Suite), que adiciona la animación 3D (Imagine That, s/f)

Cada uno de ellos se detallará a continuación:

a) ExtendSim CP: Procesos continuos

Es el producto base de ExtendSim. Presenta un conjunto de características centrales que son incluidas en todos los productos de ExtendSim. Especializada en la modelización de procesos continuos.

Permite modelar la conducta de cualquier proceso y los valores son recalculados a cada paso periódico. El paquete incluye la biblioteca *Value* para realizar tareas

continuas de modelización. Para aplicaciones personalizadas, el entorno de desarrollo interno le permite crear componentes para cubrir cualquier necesidad.

Entre sus principales características, presenta:

- Paquete Gráfico de simulación para modelos continuos.
- Interfaz *drag and drop*
- Capacidad para crear nuevos bloques, modificar los bloques existentes y almacenar en bibliotecas para volver a utilizarlas (código abierto)
- Base de datos gráfica interna para almacenar, manipular y reportar datos para modelos complejos
- Base de datos dinámicos que vinculan parámetros y tablas de datos a fuentes internas y externas
- Bloques jerárquicos para niveles ilimitados de submodelos; un navegador que permite moverse a través de la estructura del modelo
- Diálogos interactivos, controles, alarmas, y sugerencias al usuario, aún durante la corrida de simulación
- Animación 2D personalizada
- Creación de entornos para crear interfaces personalizadas por el usuario
- Modelización Monte Carlo, *Agent Based* y *State/Action*
- Un optimizador incorporado para determinar los valores óptimos para controles de parámetros
- Desarrollo de entornos optimizados para simulación, con más de 1.000 funciones incorporadas

b) ExtendSim OR: Investigación de operaciones

La herramienta imprescindible para investigar el desempeño operacional, ExtendSim OR contiene una arquitectura de eventos discretos *message-based* y capacidades propias.

Permite rastrear y analizar la conducta de ítems físicos o lógicos cuando los eventos causan que cambien el estado o se muevan a través de un sistema.

Lean, Six Sigma, Risk and Throughput Analysis and Capacity Planning projects, son partes integrales de ExtendSim OR, diseñado para simular, analizar y optimizar los sistemas de eventos discretos, sumándose a todas las características y capacidades de ExtendSim CP.

Entre sus principales componentes, cuenta con:

- Paquete de simulación gráfica e interactiva para eventos discretos y modelización continua
- Robusta arquitectura *message-based* para una modelización intuitiva de eventos discretos
- Atributos personalizables y asignación de rutas basadas en reglas
- *Batch* y *unbatch* de ítems para procesamientos
- Análisis estadístico con intervalos de confianza
- Turnos para controlar recursos y actividades
- Pool de recursos para optimizar los embotellamientos

- Algoritmos de colas personalizables
- Plantillas de ítems para creación rápida de modelos

c) ExtendSim AT: Tecnología avanzada

Un producto de tecnología avanzada, muestra funcionalidades *rate-based* para modelar los procesos en lote. Utilícelo para especificar tasas de flujo para grandes volúmenes o sistemas de alta velocidad, con demoras y ruteos del flujo utilizando limitaciones y reglas. Este paquete incluye tanques, válvulas, transportadores, entre otros, para modelar grandes sistemas, más todas las capacidades de ExtendSim OR para rastrear ítems individuales. ExtendSim AT es lo suficientemente flexible para acomodar cualquier industria que opera en un área de alta velocidad o alto volumen.

Entre sus principales funciones, permite:

- Simulación de flujos *rate-based* (transacciones por segundo, galones o cartones por minuto, etc.), procesos en *batch*, y líneas de empaque
- Válvulas de control y monitoreo de flujo; plantea objetivos de cantidad de flujo y duración
- Determina condiciones de bloqueo y desabastecimiento, así como tasas efectivas
- Muestra animaciones del bloque *Tank* de nivel y dirección
- Los transportadores pueden ser acumulativos o no acumulativos con puntos de acumulación
- Combina ítems de eventos discretos y flujo
- Incluye la aplicación Stat:Fit para ajustes de distribución
- Además de todas las características y capacidades de ExtendSim OR.

d) ExtendSim Suite: Ambiente profesional 3D

Incluye capacidad de animación 3D de la próxima generación que proporciona una representación tridimensional del mundo del modelo. El ambiente 3D puede ser agregado después de que el modelo haya sido validado. Los objetos modelados en el mundo 3D mantienen información sobre sus ubicaciones espaciales en tres dimensiones, así como sus otras propiedades físicas y de comportamiento.

Este paquete incluye todas las características y las capacidades de ExtendSim AT, más un entorno 3D completamente integrado, flexible y poderoso. Conviene utilizar ExtendSim Suite siempre que modele proyectos que necesitan animación profesional, entre los que proporciona:

- Entorno virtual 3D, profundamente integrado con un motor de simulación.
- Las animaciones corren conjuntamente con el modelo o *buffered* para post-proceso.
- Control exacto de la posición del objeto, escala y colisionabilidad.
- Los objetos pueden tener su propio movimiento animado.
- Sombras, huellas de pisadas, rastros de vehículo y sonido 3D.
- Control completo sobre el entorno del terreno.
- Entorno API amigable para flexibilidad y personalización.

- Además de todas las características y las capacidades de ExtendSim AT.

Respecto a la construcción de los modelos, se utilizan bloques (*blocks*, según su denominación en inglés) de las librerías según la Tabla 2, los cuales se arrastran hasta la hoja de trabajo. Estos bloques deben ser conectados entre sí para crear la lógica de flujo del modelo. En cuanto a la caracterización del modelo, la información se consigna en los parámetros de los bloques, así como en la propia base de datos. Nuevos bloques se pueden adicionar en el modelo mediante la combinación de bloques existentes en un solo bloque jerarquizado, así como mediante la programación de un bloque usando el lenguaje C.

Tabla 2. Librerías de ExtendSim

Nombre de la librería	Propósito	Ejemplo de bloques
<i>Value</i>	Cálculos matemáticos, acceso remoto a información y colección de estadísticas.	<i>Math, Read, Write, Mean & Variance</i>
<i>Item</i>	Modelado de procesos con eventos discretos.	<i>Queue, Activity, Resource Pool, Item</i>
<i>Rate</i>	Modelado de procesos con ratios discretos.	<i>Tank, Valve, Interchange</i>
<i>Plotter</i>	Muestra de tablas y gráficos.	<i>Plotter I/O, Histogram</i>
<i>Animation 2D 3D</i>	Animación del modelo.	<i>Animate Value, Animate 3D</i>
<i>Utilities</i>	Interfaz del modelo, depuración e información.	<i>Buttons, Record Message, Memory Usage</i>

Fuente: Imagine That (s/f). Recuperado 10 diciembre, 2016, Imagine That, Extend Sim: http://www.extendsim.com/support_techsupport.html

Las áreas de aplicación de este software de simulación son sistemas de manufacturas, cuidado de la salud, logística, comunicaciones, defensa, medio ambiente, agricultura, biología, energía, entre otros.

2.3 Marco metodológico

El desarrollo de este trabajo de investigación será realizado en tres grandes fases: la inicial sobre la recolección de datos en la empresa donde se lleva a cabo el proceso de lavado de sacos de azúcar contiene las tres primeras etapas de a) Formulación del problema, b) Plan de estudio o plan de trabajo, c) Formulación del modelo; la segunda fase corresponde al análisis de la capacidad y los estándares de producción del proceso estudiado, mediante la elaboración de un modelo del proceso, incluye la d) Codificación del modelo y e) Validación del modelo; y por último, la fase final corresponde a la optimización del proceso mediante una propuesta con un nuevo modelo del proceso planteado, el cual incluye las etapas f) Diseño de experimentos y g) Ejecución de las corridas de simulación y análisis de resultados, como se aprecia en la Figura 4.

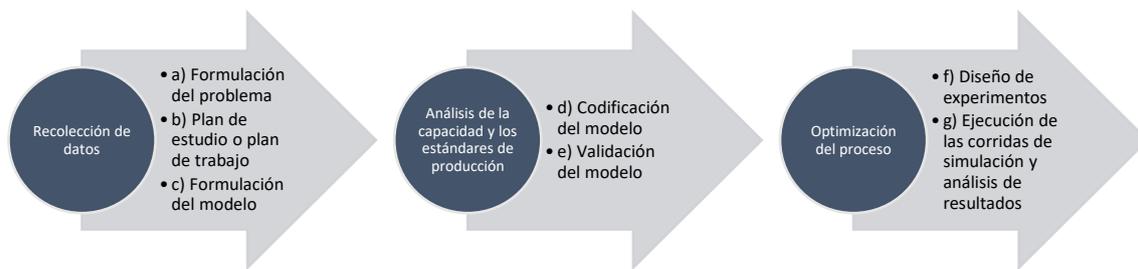


Figura 4. Metodología del modelo de simulación

Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Tipo de investigación

Para la fase de recolección de datos en la empresa, partimos de la formulación del problema (Capítulo 1, Aspectos Generales) para identificar el objeto de la investigación. En ese sentido, para formular el modelo se procede a recopilar información relacionada al proceso de lavado de sacos de azúcar, para lo cual, por un lado, se solicita a la empresa toda la información documentada relacionada al proceso, mientras que, por otro lado, se emplea la observación directa del proceso y se realizan entrevistas a los involucrados en el citado proceso, lo cual permite realizar un adecuado seguimiento a las operaciones que integran el proceso de análisis.

Con los datos recopilados se elaboran modelos conceptuales que permitan mapear el proceso, mostrar el modo de operar y uniformizar su desarrollo. Seguidamente, en función a la información recopilada, se toman mediciones de tiempos mediante el uso de un cronómetro, con el fin de identificar el rendimiento del personal operativo.

Con respecto a la fase de análisis de la capacidad y los estándares de producción del proceso estudiado, mediante la elaboración de un modelo del proceso, se procede a plantear el proceso con los requisitos recopilados en la fase previa, en el software de simulación ExtendSim, y a validarlo en función al proceso real.

En el caso de la fase de optimización del proceso, se empieza por la etapa de diseño de experimentos, en la que se realizan proyecciones de demanda empleando técnicas estadísticas y los ajustes matemáticos de acuerdo a sus características; así también, se analiza la capacidad del proceso y se determinan los estándares productivos del mismo.

Adicionalmente, mediante un diagrama de proceso, se analizan los tiempos utilizados en las distintas partes para observar posibles puntos que se pueden mejorar mediante una propuesta con un nuevo modelo del proceso planteado. Una vez definidos estos puntos previos, se propondrá una alternativa a través de un modelo, que permita satisfacer el incremento de demanda, así como una reducción de los costos mediante un incremento de la capacidad operativa del proceso, el cual es ejecutado en el software de simulación, y cuyos resultados deben ser analizados.

Capítulo 3: Desarrollo del modelo de simulación

Se procederá a desarrollar el modelo de simulación del proceso de lavado de sacos de azúcar siguiendo la metodología planteada.

3.1 Aplicación de la técnica de simulación al proceso de lavado de sacos

La simulación, como ya se ha mencionado, es una técnica de Investigación de Operaciones que puede ser utilizada para el análisis y optimización de una serie de procesos.

En este caso se procederá a evaluar si corresponde aplicar dicha técnica al proceso de lavado de sacos de azúcar en estudio.

Según el autor Perea (2012), las características que debe presentar la materia por examinar para que corresponda emplear la técnica de simulación son:

- a. Inexistencia de una completa formulación matemática del problema.
- b. Los procedimientos matemáticos de resolución son muy complejos y difíciles.
- c. El costo de desarrollar la simulación es menor al costo de resolución analítica de los problemas.
- d. Interés por mostrar el trayecto histórico simulado del proceso sobre un período y estimar parámetros.
- e. Dificultad para realizar experimentos y observar fenómenos en su entorno real.
- f. Los sistemas o procesos requieren largo tiempo para realizarse.

En función a los mencionados criterios se procederá a evaluar su aplicabilidad al proceso objeto de estudio, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Evaluación de aplicación de simulación en proceso de lavado de sacos de azúcar

Criterios por evaluar	¿Corresponde la aplicación de la simulación?
a. No existe una completa formulación matemática del problema.	Sí, debido a que el proceso de lavado de sacos de azúcar presenta una demanda imprevisible, además de distintas variables que difícilmente se pueden integrar en un modelo matemático completo, como es el tiempo por cada actividad, y sobre todo las diferentes decisiones por tomar en función a la cantidad de sacos pendientes de lavar, embolsados y listos para ser entregados, y la capacidad de cada operación.
b. Los métodos analíticos están disponibles; pero los procedimientos matemáticos son tan complejos y difíciles, que la simulación proporciona un método más simple de solución.	Sí, dado que si bien existen estudios sobre los sistemas de colas; el sistema que se va a estudiar está formado por varias operaciones que presentan colas, lo cual es posible integrar en el modelo de simulación.
c. El costo de desarrollar la simulación es menor al costo de resolución analítica de los problemas	Sí, porque la solución analítica existe, pero al ser de tanta complejidad y necesitar de personal técnicamente apto para integrar los diferentes procedimientos matemáticos, se debería contratar personal externo, por lo que se recurre a la simulación por ser de dominio del personal que labora e integra diferentes requisitos del sistema.
d. Se busca observar el trayecto histórico simulado del proceso sobre un período, además de estimar ciertos parámetros.	Sí, dado que es importante, en el proceso de lavado de sacos de azúcar, observar el comportamiento del sistema en función a la demanda obtenida en un periodo de tiempo, para lograr ajustar los valores de parámetros como personal por cada actividad y capacidad de las áreas, y observar sus efectos en el tiempo de atención de la demanda del servicio.
e. La simulación puede ser la única posibilidad, debido a la dificultad para realizar experimentos y observar fenómenos en su entorno real.	Sí, porque es costoso para la empresa dedicar horas hombre, y tener capacidad para realizar pruebas cuando cuentan con una demanda grande de sacos de azúcar por lavar, poca capacidad de almacenamiento en cada área y escasas horas hombre. Asimismo, practicar dichas pruebas reduciría la productividad, dado que se estaría dedicando factores de producción a pruebas que, como su definición lo indica, no asegura un resultado óptimo, sino que más bien la realización de varias pruebas conducen al resultado.
f. Los sistemas o procesos requieren de largo tiempo para realizarse.	Sí, debido a que no solo se requiere que el modelo simule un día de producción, sino un periodo mucho mayor, como por ejemplo unos meses, para que en función a ello identificar las variables que pueden ser optimizadas para lograr cubrir la demanda generada. En este sentido, la simulación proporciona un control sobre el tiempo, debido a que un fenómeno se puede acelerar o retardar según se desee.

Fuente: Elaboración propia

Por lo expuesto, según los seis criterios evaluados en la tabla, se llega a la conclusión de que el proceso de lavado de azúcar debe ser analizado desde la técnica de simulación proporcionada por la Investigación de Operaciones.

3.2 Formulación de modelo

3.2.1 Recopilación de información

Se recopiló información sobre el modo de operación del proceso de lavado de sacos de azúcar a través de diversas fuentes, entre las cuales están:

- Revisión documental: mediante la revisión de literatura especializada se pudo investigar sobre la Investigación de Operaciones, identificándose la técnica de simulación como la más adecuada para plantear el proceso de lavado de sacos de azúcar y atender la problemática presentada por la empresa a cargo.

Asimismo, se ha revisado literatura referida al software de simulación ExtendSim para poder modelar el sistema y contribuir al desarrollo de la investigación. (Ver Capítulo 2)

- Entrevistas: por medio de entrevistas al personal a cargo del proceso de lavado de sacos, se identificaron las etapas del proceso, así como la distribución y capacidad de las áreas destinadas al manejo de los sacos de azúcar en cada una de sus etapas, lo cual permitió documentar el proceso. (Ver 3.2.2.1 Descripción del proceso)
- Visita a planta: a través de la observación directa se pudo realizar un seguimiento detallado de las operaciones dentro del proceso de lavado de sacos de azúcar, así como de la cantidad de insumos necesarios para un adecuado proceso y el grado de participación del personal a cargo de cada actividad.

Respecto a la información recopilada se identificaron las siguientes etapas, documentadas mediante fotografías, como se aprecia en las figuras 5, 6 y 7:

1. Recepción y disposición



Figura 5. Capturas del subproceso de recepción y disposición

Fuente: Elaboración propia

2. Producción



Figura 6. Capturas del subproceso de producción
Fuente: Elaboración propia

3. Empaque y despacho



Figura 7. Capturas del subproceso de empaque y despacho
Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Elaboración de modelos conceptuales

Con base en la información recopilada, se identificó que el sistema analizado corresponde, según su naturaleza, a un proceso de servicio, y según el grado de intervención, a un proceso manual dividido en 3 etapas i) Recepción y disposición, ii) Producción, iii) Empaque y despacho, como se muestra en la Figura 8. Asimismo, se procedió a uniformizar el desarrollo de las etapas, quedando de la siguiente manera:

Dentro de la primera etapa, se reciben y almacenan los sacos de azúcar sucios. Así mismo, se disponen adecuadamente, cortando el precinto de seguridad, abriendo la boca superior e inferior del saco y retirando los restos de azúcar que hayan quedado, siendo su entrada (también llamado *input* en inglés) el saco de azúcar sucio y su salida (también llamada *output* en inglés) el saco adecuadamente dispuesto. Acto seguido, en la segunda etapa se recibe el saco adecuadamente dispuesto para ser lavado, la principal operación dentro del proceso, y finalmente es secado, siendo el saco de azúcar seco la “salida” de esta fase. Por último, en la tercera etapa de empaque y

despacho se recibe el saco de azúcar limpio y seco, el cual es embolsado y enviado al cliente, con lo cual se termina el proceso de lavado de sacos de azúcar.



Figura 8. Proceso operativo de lavado de sacos de azúcar

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, cada etapa está conformada por operaciones e inspecciones, tal como se aprecia en los diagramas de operaciones de las figuras 9, 10 y 11. El proceso está integrado por tres flujos secuenciales que se inicia con el arribo de los sacos de azúcar, presenta un total de siete (7) operaciones y una (1) inspección, y termina con la entrega de los sacos de azúcar limpios al remitente respectivo.

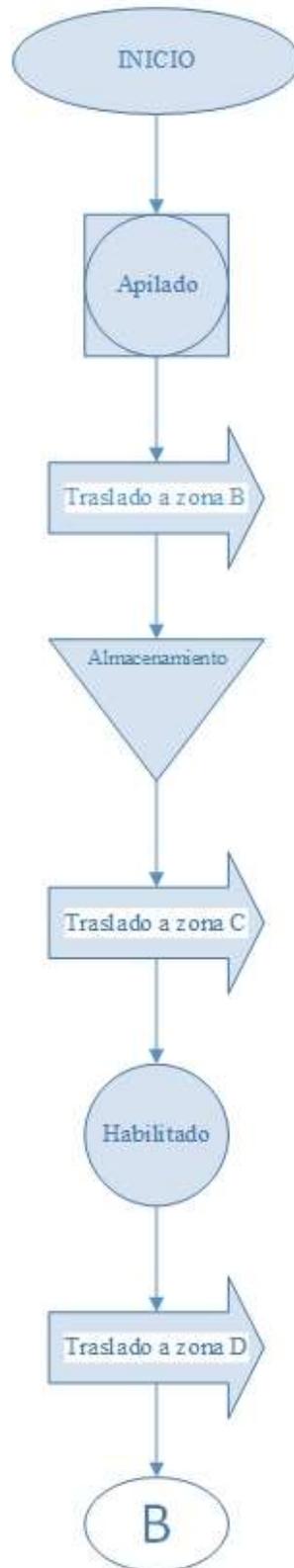


Figura 9. Diagrama de operaciones del subproceso Recepción y disposición
Fuente: Elaboración propia

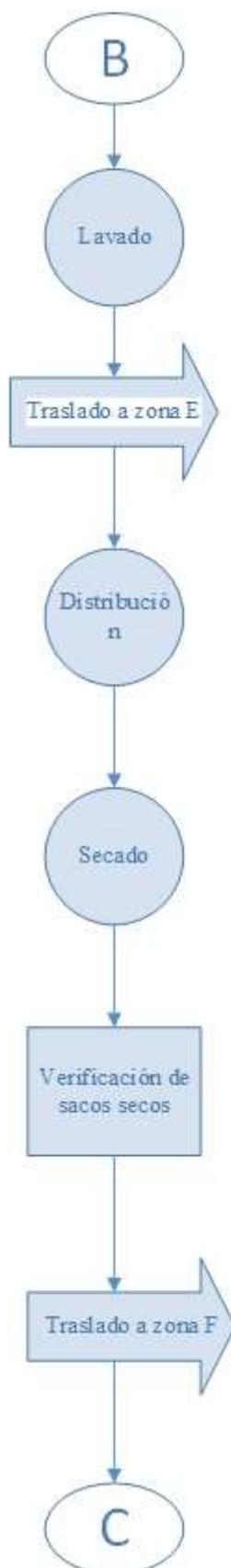


Figura 10. Diagrama de operaciones de subproceso Producción
Fuente: Elaboración propia



Figura 11. Diagrama de operaciones de subproceso Empaque y despacho
Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1 Descripción del proceso

El proceso de lavado de sacos de azúcar está conformado por un conjunto de actividades entre operaciones, traslados, almacenamiento e inspección, las cuales se detallan de la siguiente manera:

I. ETAPA: RECEPCIÓN Y DISPOSICIÓN

Se inicia esta etapa con el arribo de sacos de azúcar para ser lavados en la zona A, y concluye con el traslado de los sacos habilitados hacia la zona de lavado.

1. Apilado de sacos: corresponde a la primera operación/inspección de todo el proceso. Consiste en apilar entre siete (7) y diez (10) sacos en la zona de descarga (zona A) de los lotes remitidos en camiones, así como la verificación del estado y cantidad de sacos recibidos.
2. Traslado de sacos a zona B: transporte que consiste en llevar cada pila de sacos de azúcar sucios desde la zona de descarga de los sacos hasta la zona B para ser almacenados, a la espera de su tratamiento.
3. Almacenamiento de sacos: en la zona B, los sacos son apilados, ordenados y reservados para su tratamiento posterior. El modo de almacenar permite identificar los sacos con mayor tiempo en ese estado para ser los primeros en tratarse.
4. Traslado de sacos a zona C: transporte que consiste en retirar los sacos con mayor tiempo almacenados y conducirlos hacia la zona C en la que son habilitados para su posterior lavado.
5. Habilitado de sacos: operación que implica retirar el precinto de seguridad ubicado en la boca de cada saco, retirar la etiqueta adhesiva del cuerpo del saco y la etiqueta de una de las asas, además de retirar la mayor cantidad de azúcar residual contenida en los sacos, sacudiéndolo sobre el recipiente destinado para ello.
6. Traslado de sacos a zona D: transporte de los sacos habilitados, listos para ser lavados desde la zona C hacia la zona D, zona de lavado. Dicho traslado se realiza con 4 a 5 sacos por viaje, en promedio.

II. ETAPA: PRODUCCIÓN

Se inicia esta etapa con los sacos habilitados recibidos en la zona D, donde serán lavados. Culmina con el traslado de los sacos secos hacia la zona F para ser empacados y devueltos al remitente.

7. Lavado de sacos: operación que corresponde a la actividad principal de todo el proceso. Consiste en retirar toda la suciedad de los sacos y eliminar cualquier elemento contaminante mediante el enjuague con agua y la posterior

aplicación, tratamiento y enjuague de una solución de detergente neutro disuelto en agua (11.5g/50l), a través de las máquinas de lavar industriales.

En caso las asas, fuelle, esquinas aún mantengan manchas o suciedad, se procede a lavar manualmente usando escobillas de cerdas, tantas veces como sea necesario hasta quitar la suciedad.

Finalmente se procede a una desinfección mediante la aplicación de una solución 0.25 l. Cloro al 6% por cada 80 l. de agua y su posterior enjuague.

Dicha operación tiene una capacidad de cuatro sacos para ser tratados en simultáneo dentro de una poza de lavado, previamente lavada y desinfectada.

8. Traslado de sacos a zona E: después de que los sacos son lavados, se procede a llevarlos, en grupos de cuatro (4) sacos hacia la zona de secado (zona E), donde son dispuestos para ser secados.
9. Distribución de sacos: operación que consiste en disponer los sacos limpios sobre cordeles y ganchos ubicados en la zona E, de manera que se pueda dar inicio al secado.
10. Secado de sacos: operación que consiste en deshumerar y secar por completo los sacos. El tiempo varía en función al remitente, dado que, en algunos casos las asas o incluso el cuerpo del saco son reforzados y por tanto más gruesos e incurrir en mayor tiempo de secado, el cual varía entre 1.5 y 2 días, en función al remitente.

En ese sentido, cuando el remitente corresponde a Laredo, el tiempo de secado es de dos días; cuando corresponde a Corporación L. planta Bocanegra, el tiempo es de un día y medio; mientras que cuando corresponde al remitente Corporación L. planta Santa Rosa, el tiempo de secado es de un día y $\frac{3}{4}$ del siguiente.

11. Verificación sobre estado de sacos: una vez culminado el tiempo de secado se procede con la inspección, que permite identificar el estado de sequedad de los sacos, dado que el empaque de sacos húmedos origina problemas de generación de hongos y contaminación de los sacos.
12. Traslado de sacos a zona F: una vez que los sacos estén limpios y secos, éstos son retirados de los cordeles y ganchos de la zona E, y conducidos a la zona F para ser embolsados, en grupos de dos o tres sacos.

III. ETAPA: EMPAQUE Y DESPACHO

Se inicia con los sacos debidamente limpios y secos para ser empaquetados y entregados a su remitente respectivo, con lo cual se da por concluido el proceso.

13. Embolsado de sacos: operación que consiste en guardar los sacos dentro de una bolsa blanca de plástico (confeccionada con material virgen) de 26" × 40" para su aislamiento, con el fin de evitar la contaminación y facilitar la entrega de los sacos al remitente.

De esta manera se obtiene el producto terminado, el cual debe ser entregado al remitente respectivo.

14. Traslado de sacos a zona F: transporte de pilas de cuatro o cinco sacos desde la zona F hasta la zona A, donde son despachados en el camión.
15. Despacho de sacos: operación que consiste en cargar los sacos empaquetados en el camión dispuesto para ser entregados a su respectivo remitente. Cabe precisar que la capacidad máxima del camión es de 250 sacos.
16. Entrega de sacos: traslado de lote de sacos limpios al remitente respectivo. Previamente se acondiciona la unidad móvil para su traslado, es decir, que esté limpia y cuente con un plástico en el piso sobre el que se dispondrá el producto terminado.

Esta etapa concluye con el traslado del camión desde la sede de la empresa hasta la ubicación del remitente, lo cual da lugar a un ciclo y a un proceso constante en el tiempo. El tiempo que demora en entregar y regresar a la sede es de seis horas.

3.2.2.2 Recursos del proceso

a) Máquinas y equipos

- Tres (3) máquinas de lavar industriales con escobilla de cerdas especiales.
- Dos (2) tijeras.
- Tres (3) lapiceros.
- Una (1) jarra milimetrada.
- Un (1) balde plástico de capacidad 15 litros.
- Tres (3) pulverizadores.
- Una (1) manguera de jebe con pulverizador.
- Un (1) trapo blanco.
- Dos (2) botadores para agua.
- Una (1) batea con capacidad de 40 litros y diámetro 55.7 cm.
- Escobillas de mano.
- Un (1) camión de 250 sacos de capacidad máxima.

b) Insumos

- Detergente neutro.
- Agua potable.

- Cloro al 6%.
- Bolsas blancas 26" × 40".
- Energía eléctrica.
- Combustible.

c) Indumentaria del personal operativo

- Uniforme de trabajo: dos (2) juegos de pantalón y chaqueta por persona.
- Una (1) mascarilla por persona.
- Un (1) par de botas de jebe por persona.
- Un (1) toca para cabello por persona.
- Un (1) par de guantes anticorte para la persona encargada del "Habilitado".
- Un (1) par de guantes de jebe por persona.
- Un (1) mandil de plástico para el personal de "Lavado".
- Un (1) poncho/capa plástica para la persona encargada del "Traslado de sacos limpios a la zona E (secado).

d) Recursos humanos

En este proceso trabajan siete (7) personas, quienes presentan una jornada laboral o turno de 8 horas por 6 días laborables, de lunes a sábado. Cada equipo está conformado según como se detalla a continuación:

- 1 Supervisor de Producción.
- 3 Operarios destinados al área de lavado de la etapa de "Producción".
- 3 Operarios distribuidos en el área de secado de la etapa de "Producción", la etapa "Recepción y Disposición", así como "Empaque y despacho".

e) Descripción de local

Sobre la distribución, se identificaron seis (6) áreas que reciben los sacos en diferentes estados: sacos sucios al llegar, sacos sucios ordenados para ser tratados, sacos sucios habilitados, sacos lavados, sacos secos, sacos embolsados, según se detalla a continuación:

- La zona A corresponde al área de descarga de los sacos provenientes de los distintos remitentes a través de camiones, así como al área de despacho de los sacos debidamente empaquetados.
- La zona B corresponde al área donde se apilan los sacos y son almacenados para recibir su tratamiento.
- La zona C corresponde al área donde los sacos son habilitados para ser tratados.
- La zona D corresponde al área de lavado.
- La zona E corresponde al área de secado.
- La zona F corresponde al área de empaquetado de los sacos secos.

Cabe precisar que las áreas se encuentran distribuidas en cuatro plantas de las cinco con las que cuenta el edificio, siendo la tercera dedicada a las actividades administrativas de la empresa. La distribución de las zonas en las cuatro (4) plantas se muestra en las figuras 12, 13, 14 y 15, respectivamente:

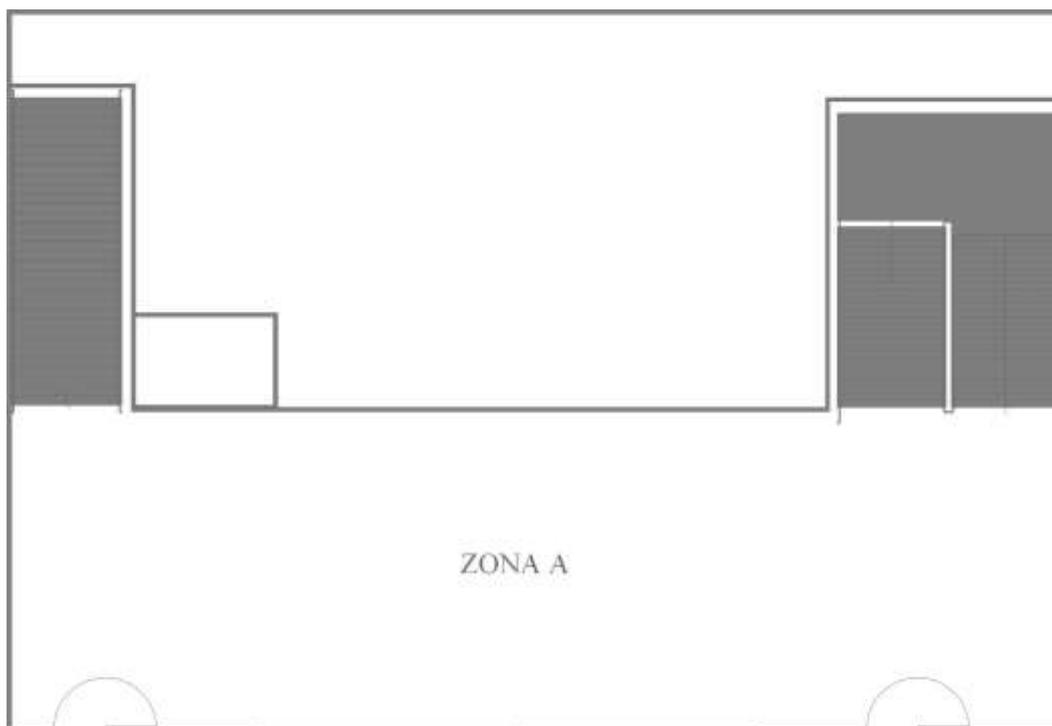


Figura 12. Plano de primera planta

Fuente: Elaboración propia

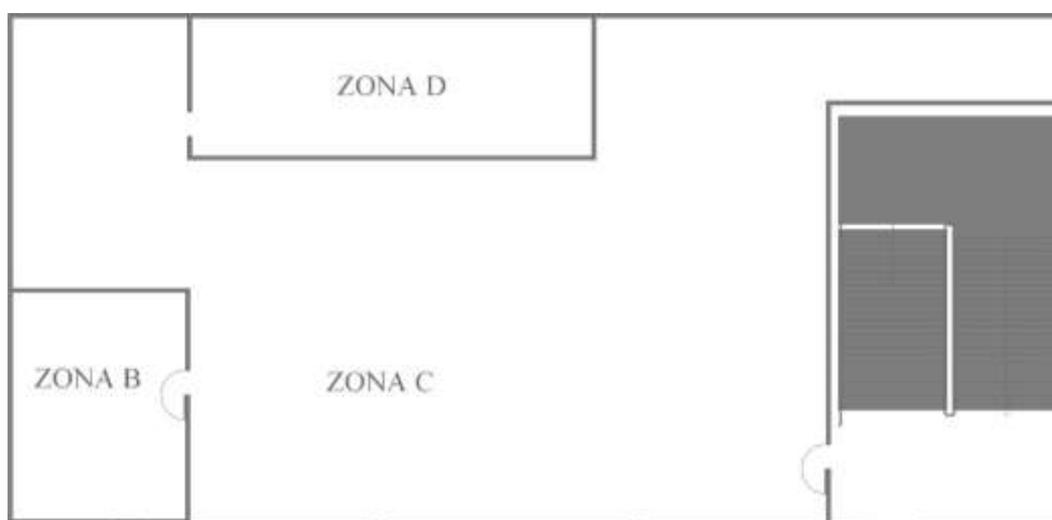


Figura 13. Plano de segunda planta

Fuente: Elaboración propia

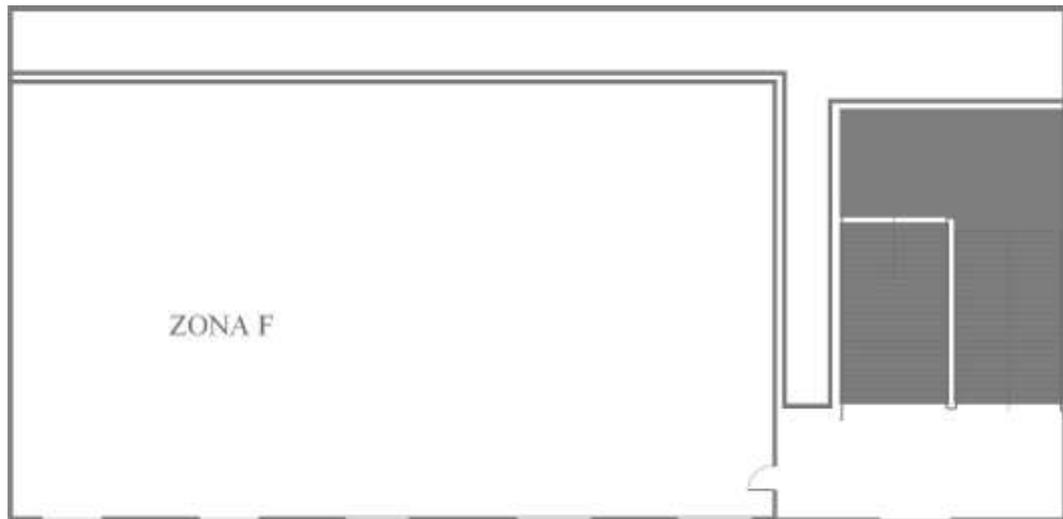


Figura 14. Plano de cuarta planta
Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Plano de quinta planta
Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las capacidades de cada una de las zonas son:

- Zona A: 1,500 sacos aproximadamente
- Zona B: 1,500 sacos aproximadamente
- Zona C: 500 sacos aproximadamente
- Zona D: 150 sacos aproximadamente
- Zona E: 250 sacos aproximadamente
- Zona F: 300 sacos aproximadamente

3.2.3 Limitaciones en la construcción del modelo

Sobre la construcción del modelo, se ha considerado el proceso de lavado de sacos de azúcar hasta la operación de embolsado, dejando de lado el despacho al destinatario, dado que es una operación que depende del número de camiones disponibles y del tipo

de requerimiento del cliente, quien en algunos casos cuenta con disponibilidad para acercarse a recogerlos.

3.2.4 Recolección de datos y obtención de estadísticas de duraciones y rendimientos

Una vez identificadas las operaciones, traslados, almacenamiento e inspección, así como su secuencia, se tomaron mediciones de los tiempos y rendimientos del personal asignado por cada actividad, durante dos semanas. De esa manera, se recopiló data (Anexo 1) que permitió identificar el tiempo promedio, el número de sacos promedio sobre los que se trabajó y estimar la producción promedio por turno, lo que contribuye al desarrollo del proceso en adelante.

Respecto a la estimación de la producción promedio por turno, se ha considerado la desviación estándar, dado que al ser actividades cuyo agente es una persona, el rendimiento no es constante, igual al de una máquina.

Asimismo, partiendo de la recopilación de data, se logró ajustar la duración de cada actividad a una distribución estadística, que permitió la construcción de un modelo más acorde a la realidad.

En ese sentido, la duración y rendimientos de las actividades se muestran en la Tabla 4. Cabe precisar que la actividad “Secado” tiene una duración notoriamente mayor que las demás, por lo que no se precisará junto a las demás, sino de manera posterior.

Tabla 4. Duración y rendimiento de actividades

ACTIVIDADES	DURACIÓN				SACOS PROMEDIO (unidad)	RENDIMIENTO ^a	
	TIEMPO PROMEDIO (minutos)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (minutos)	TIEMPO PROMEDIO (segundos)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (segundos)		PRODUCCIÓN / HORA	PRODUCCIÓN / TURNO (8 horas)
Apilado	0.234	0.126	14.04	7.563	1	256	2048
Traslado a zona B	0.945	0.249	56.725	14.915	9	571	4568
Almacenamiento	0.157	0.096	9.421	5.757	1	382	3056
Traslado a zona C + Habilitado	1.686	0.650	101.16	39.019	1	35	284
Traslado a zona D	0.885	0.326	53.1	19.553	4.6	312	2496
Lavado	16.161	2.257	969.66	135.424	4	15	120
Traslado a zona E	3.201	0.450	192.06	27.019	3.78	70	560
Distribución	0.335	0.162	20.1	9.709	1.065	190	1520
Traslado a zona F	1.501	1.033	90.06	61.971	2.566	102	816
Embolsado	1.011	0.238	60.66	14.257	1	59	472

^a Los valores de la columna rendimiento han sido calculados considerando ocho horas de trabajo constante.

Fuente: Datos recopilados del trabajo de campo en la empresa evaluada
Elaboración propia

Respecto a la operación “Secado”, la duración varía en función al remitente, debido al grosor del saco, siendo de dos días cuando corresponde a Laredo, un día y $\frac{3}{4}$ del siguiente día en caso el remitente sea Corporación L. planta Santa Rosa; y un día y medio cuando corresponde a Corporación L. planta Bocanegra.

Como ya ha sido mencionado, para un adecuado modelamiento del funcionamiento del sistema, se ha recurrido a ajustar la duración de las actividades, consignadas en la Tabla 4, a distintas distribuciones de variables continuas aplicables dado que corresponde al tiempo.

Cabe precisar que el tiempo del transporte: “Traslado de sacos a zona C” no será ajustado a una distribución dado que la duración es muy pequeña, de 0.1 minuto.

En ese sentido, las distribuciones que más se ajustan al resto de las actividades han sido identificadas mediante el software EasyFit y Stat::Fit, con la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov, planteándose la hipótesis nula (H_0) como que el conjunto de datos tienen la distribución evaluada, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) que no la tienen, lo cual se evalúa en función al nivel de significancia establecido (α) 0.05 y al valor de p obtenido. Así tenemos que:

I. ETAPA: RECEPCIÓN Y DISPOSICIÓN

1. Apilado de sacos:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Log-Logistic (3P)*, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 335
- Valor de estadística es: 0.04883
- Valor P es: 0.38899, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 5 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 5. Prueba de bondad de ajuste del apilado de sacos

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.05862	0.06682	0.0742	0.08294	0.089
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de las tomas de duración del apilado de sacos, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Log-Logistic (3P)* con parámetros:

- Parámetro de forma (α) = 3.3999
- Parámetro de escala (β) = 0.22396
- Parámetro de locación (γ) = -0.01698

2. Traslado de sacos a zona B:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Log-Logistic (3P)*, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 142
- Valor de estadística es: 0.04481
- Valor P es: 0.92567, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 6 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 6. Prueba de bondad de ajuste del traslado a zona B

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.09004	0.10263	0.11396	0.12739	0.1367
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de las tomas de duración del traslado a zona B, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Log-Logistic (3P)* con parámetros:

- Parámetro de forma (α) = 7.3029
- Parámetro de escala (β) = 0.90922
- Parámetro de locación (γ) = 0.00469

3. Almacenamiento de sacos:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Gamma (3P)*, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 140
- Valor de estadística es: 0.07944
- Valor P es: 0.32278, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 7 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 7. Prueba de bondad de ajuste del almacenamiento de sacos

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.09069	0.10336	0.11477	0.12829	0.13768
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de las tomas de duración del almacenamiento de sacos, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Gamma (3P)* con parámetros:

- Parámetro de forma (α) = 2.2195
- Parámetro de escala (β) = 0.05776
- Parámetro de locación (γ) = 0.02881

4. Habilitado de sacos:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Log-Logistic (3P)*, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 179
- Valor de estadística es: 0.05713
- Valor P es: 0.468, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 8 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 8. Prueba de bondad de ajuste del habilitado de sacos

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.0802	0.09141	0.1015	0.11346	0.12176
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de las tomas de duración del habilitado de sacos, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Log-Logistic (3P)* con parámetros:

- Parámetro de forma (α) = 8.119
- Parámetro de escala (β) = 1.55292
- Parámetro de locación (γ) = 0.

5. Traslado de sacos a zona D:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Inv. Gaussian*, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 105
- Valor de estadística es: 0.04526
- Valor P es: 0.97594, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 9 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 9. Prueba de bondad de ajuste del traslado de sacos a zona D

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.10471	0.11935	0.13253	0.14814	0.15897
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de las tomas de duración del traslado de sacos a zona D, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Inv. Gaussian* con parámetros:

- Parámetro de forma (λ) = 6.5379
- Parámetro de escala (μ) = 0.8854
- Parámetro de locación (γ) = 0

II. ETAPA: PRODUCCIÓN

Esta etapa contiene 6 actividades:

6. Lavado de sacos:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Laplace*, haciendo uso del software Stat::Fit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 138
- Valor de estadística k_s es: 0.0873
- Nivel de significancia (valor de alpha): 0.05
- Valor de estadística k_s (138, 0.05) es: 0.114
- Valor P es: 0.233, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Laplace* con parámetros:

- Parámetro de Phi = 1.87004
- Parámetro de locación = 16.3415

7. Traslado de sacos a zona E:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Johnson SB*, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 104
- Valor de estadística es: 0.04569
- Valor P es: 0.97484, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 10 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 10. Prueba de bondad de ajuste del traslado de sacos a zona E

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.10522	0.11993	0.13316	0.14885	0.15974
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de las tomas de duración del traslado de sacos a zona E, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Johnson SB* con parámetros:

- Parámetro de gamma (γ) = -0.22585
- Parámetro de minimum (δ) = 1.0416
- Parámetro de lambda (λ) = 2.2415
- Parámetro de locación (ξ) = 1.9787

8. Distribución de sacos:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Gamma*, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 164
- Valor de estadística es: 0.0595
- Valor P es: 0.58605, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 11 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 11. Prueba de bondad de ajuste de la distribución de sacos

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.08379	0.0955	0.10604	0.11854	0.1272
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de las tomas de duración de la distribución de sacos, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería “Gamma” con parámetros:

- Parámetro de forma (α) = 4.2885
- Parámetro de escala (β) = 0.07814
- Parámetro de locación (γ) = 0

9. Traslado de sacos a zona F:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Log-Logistic (3P)*, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 124
- Valor de estadística es: 0.04772
- Valor P es: 0.93263, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 12 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 12. Prueba de bondad de ajuste del traslado de sacos a zona F

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.09636	0.10983	0.12195	0.13632	0.14629
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de las tomas de duración del traslado de sacos a zona F, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Log-Logistic* ($3P$) con parámetros:

- Parámetro de forma (α) = 2.5525
- Parámetro de escala (β) = 0.98053
- Parámetro de locación (γ) = 0.23596

III. ETAPA: EMPAQUE Y DESPACHO

Esta etapa contiene 4 actividades:

10. Embolsado de sacos:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Johnson SB*, haciendo uso del software Stat::Fit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es 249
- Valor de estadística k_s es: 0.0563
- Nivel de significancia (valor de α) es: 0.05
- Valor de estadística k_s (249, 0.05) es: 0.0854
- Valor P es: 0.387, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

En ese sentido, la distribución para la actividad de apilado sería *Johnson SB* con parámetros:

- Parámetro de γ (γ) = 6.40085
- Parámetro de δ (δ) = 3.62702
- Parámetro de λ (λ) = 6.75994
- Parámetro de locación (ξ) = 0.

Por otro lado, se cuenta con las fechas de llegada de cada lote de sacos, además de la cantidad de sacos por lote, de los que se obtuvo el tiempo entre llegadas y el tamaño del lote por cada remitente.

De ello también se identificó la distribución que más se ajustaba a cada una de las variables según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov, obteniendo que:

Tamaño de lote:

- Remitente 1:

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es Binomial Negativa, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es: 185
- Valor de estadística es: 0.07515
- Rango es: 1
- Valor P es: 0.23497, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 13 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 13. Prueba de bondad de ajuste del tamaño de lote del remitente 1

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.07889	0.08992	0.09984	0.11161	0.11977
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de los tamaños de lote del remitente 1, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución sería Binomial Negativa con parámetros:

- S (número de éxitos): 4
- P (probabilidad de éxito): 0.0271689

- Remitente 2

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es Geométrica, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es: 94
- Valor de estadística es: 0.11727
- Rango es: 1
- Valor P es: 0.13909, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 14 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 14. Prueba de bondad de ajuste del tamaño de lote del remitente 2

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.10889	0.1244	0.13818	0.15451	0.16579
Rechaza la H_0	Sí	No	No	No	No

Fuente: Análisis de los tamaños de lote del remitente 2, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución sería Geométrica con parámetros:

- P (probabilidad de éxito): 0.00153

- Remitente 3

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es Binomial Negativa, haciendo uso del software EasyFit y considerando que:

- Tamaño de la muestra es: 30

- Valor de estadística es: 0.16423
- Rango es: 2
- Valor P es: 0.35422, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

Asimismo, la Tabla 15 muestra el valor crítico para cada nivel de significancia y si se rechaza la hipótesis nula planteada.

Tabla 15. Prueba de bondad de ajuste del tamaño de lote del remitente 3

Nivel de significancia α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valor crítico	0.19032	0.21756	0.2417	0.27023	0.28987
Rechaza la H_0	No	No	No	No	No

Fuente: Análisis de los tamaños de lote del remitente 3, en el software EasyFit

En ese sentido, la distribución sería Binomial Negativa con parámetros:

- S (número de éxitos): 5
- P (probabilidad de éxito): 0.0282912

Tiempo entre llegadas (días):

- Remitente 1

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es Exponencial, haciendo uso del software Stat::Fit, considerando que:

- Tamaño de la muestra es: 184
- Valor de estadística k_s es: 0.0916
- Nivel de significancia (valor de alpha) es: 0.05
- Valor de estadística k_s (184, 0.05) es: 0.0992
- Valor P es: 0.0861, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

En ese sentido, la distribución sería Exponencial con parámetros:

- *Mean*: 5.26087
- *Location*: 0

- Remitente 2

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es Triangular, haciendo uso del software Stat::Fit, considerando que:

- Tamaño de la muestra es: 93
- Valor de estadística k_s es: 0.123
- Nivel de significancia (valor de alpha): 0.05
- Valor de estadística k_s (93, 0.05) es: 0.139
- Valor P es: 0.108, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

En ese sentido, la distribución sería Triangular con parámetros:

- *minimum*: -1
- *maximum*: 39.1148
- *most likely*: -0.568658

- Remitente 3

La distribución que más se ajusta a la data recopilada según la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov es *Pearson type V*, haciendo uso del software Stat::Fit, considerando que:

- Tamaño de la muestra es: 29
- Valor de estadística ks es: 0.149
- Nivel de significancia (valor de alpha): 0.05
- Valor de estadística ks (29, 0.05) es: 0.246
- Valor P es: 0.496, que al ser mayor que 0.05 (α) no rechaza la hipótesis nula planteada y concluye que corresponde a la distribución evaluada.

En ese sentido, la distribución sería *Pearson type V* con parámetros:

- *location (minimum)*: -1.75279
- *shape (alpha)*: 1.27505
- *scale (beta)*: 5.95391

3.3 Codificación del modelo

El sistema investigado: proceso de lavado de sacos de azúcar, fue plasmado en la plataforma de simulación ExtendSim según la información recopilada en la etapa previa.

El modelo se planteó considerando que la jornada laboral es de 8 horas, y el periodo laboral es 6 días/semana y 25 días útiles/mes. Asimismo, se buscó que el periodo evaluado sea de 6.6 meses que equivale a 80 000 minutos, lo cual permitirá estabilizar el modelo, y exponer una realidad representativa.

Se utilizaron los bloques básicos de las librerías *Item*, *Plotter* y *Value*, los cuales se configuraron para modelar el comportamiento de cada una de las actividades del proceso evaluado según los parámetros de las distribuciones ajustadas, quedando el modelo que se muestra en la Figura 16.

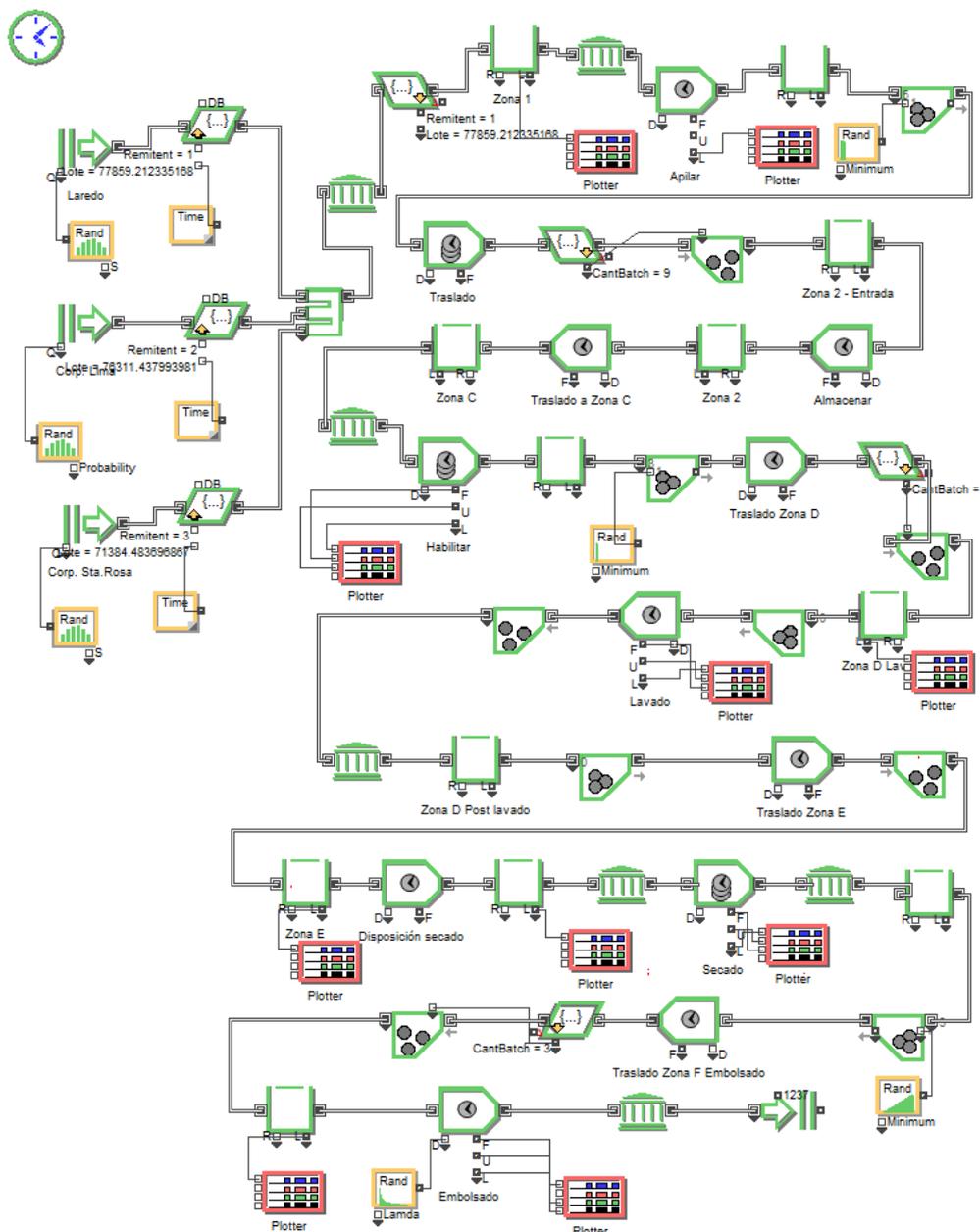


Figura 16. Modelo ExtendSim
Fuente: Elaboración propia

Se procedió a desarrollar cada una de las etapas de la manera siguiente:

I. ETAPA: RECEPCIÓN Y DISPOSICIÓN

Los lotes de sacos de azúcar, en adelante ítems, provienen de tres remitentes, los cuales son: Laredo, Corporación L. planta Bocanegra y Corporación L. planta Santa Rosa, a los cuales se denomina 1, 2 y 3 respectivamente. Para ello se utilizan tres *block Create*, uno por cada remitente.

Para la configuración de dichos *block* se debe tener en cuenta que el tiempo entre llegada de los lotes es una variable continua y su tamaño, variable discreta, que siguen

una distribución distinta, en función al remitente del que provienen, tal como se menciona en la Tabla 16.

El tiempo entre llegadas se puede configurar dentro del campo “Especificar una distribución entre llegadas”; mientras que para modelar el tamaño del lote, se debe utilizar un *Random Number* que especifique la distribución que sigue el tamaño del lote por cada remitente.

Tabla 16. Distribución para el tiempo entre llegadas de lotes y para el tamaño del lote

VALOR DE REMITENTE	REMITENTE	TIEMPO ENTRE LLEGADA DE CADA LOTE (días)		TAMAÑO DE LOTE (unidad)	
		DISTRIBUCIÓN	PARÁMETROS	DISTRIBUCIÓN	PARÁMETROS
1.	Laredo	Exponencial	<i>mean</i> : 5.26087 <i>location</i> : 0	Binomial Negativa	n = 4 p = 0.0271689
2.	Corporación L. planta Bocanegra	Triangular	<i>minimum</i> : -1 <i>maximum</i> : 39.1148 <i>most likely</i> : -0.568658	Geométrica	p: 0.00153
3.	Corporación L. planta Santa Rosa	Pearson type V	<i>minimum</i> : -1.75279 <i>alpha</i> : 1.27505 <i>beta</i> : 5.95391	Binomial Negativa	s: 5 p: 0.0282912

Fuente: Elaboración propia

Mediante la función *Set*, se asigna una propiedad denominada *Remitent*, que adopta el valor de 1, 2 o 3 en función a la procedencia, la cual es identificada mediante la función *Get*, correspondiente a la misma librería.

Luego se procede a formar una cola de longitud infinita, cuya disposición es FIFO (*First in, first out*, por sus siglas en inglés), que quiere decir, el primer ítem que arriba es el primero en salir de la cola. Dicha cola se modela mediante el *block Queue* con el fin de agrupar todos los ítems, independientemente, de su procedencia. Ver Figura 17.

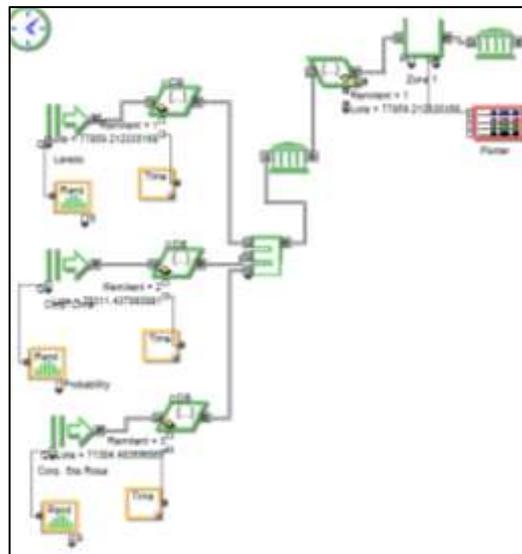


Figura 17. Captura de pantalla de la etapa de recepción del modelo
Fuente: Elaboración propia

1. Apilado de sacos

Después de formar la cola, es decir, de acumular todos los sacos que arriban, se procede a agruparlos entre siete y diez ítems. Para ello, se usa el *block Activity*, con una configuración de la duración mediante una distribución *Log-Logistic (3P)* de variables $\alpha= 3.3999$, $\beta=0.22396$, $\gamma=-0.01698$ (minutos).

Al ser variable la cantidad de sacos apilados, entre siete y diez sacos, se modela mediante un *Batch*, el cual va relacionado, mediante su terminal *BatchQuantityIn*, a un *Random Number*, al que se le ha asignado que adopte los valores entre siete y diez, siguiendo la distribución *Uniform integer*, como se muestra en la Figura 18.

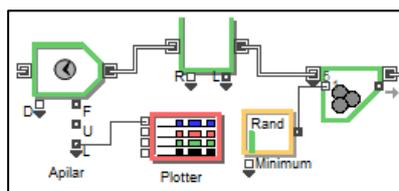


Figura 18. Captura de pantalla del apilado de sacos
Fuente: Elaboración propia

2. Traslado de sacos a zona B

Una vez agrupados los sacos, estos se llevan a la zona B, lo cual es modelado mediante un *block Activity*, cuya duración se configura mediante la distribución *Log-Logistic (3P)* de variables: $\alpha = 7.3029$, $\beta = 0.90922$, $\gamma = 0.00469$ minutos, como se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Captura de pantalla del traslado de sacos
Fuente: Elaboración propia

3. Almacenamiento de sacos

Todos los sacos que arriban a la zona B son almacenados, lo cual se modela mediante una cola. Para ello, primero se crea un *Batch* que simule las pilas de sacos que van a ser almacenados, el cual presenta una propiedad *CantBatch* que identifica la cantidad de ítems por cada *Batch*; posteriormente, se inserta un *block Get* que permite identificar la propiedad *CantBatch*.

Asimismo, se inserta el *block Unbatch* seguido del *block Queu*, con el fin de dividir la pila de sacos en unidades de sacos (ítems) y poder almacenarlos.

El *block Unbatch* cuenta con seis propiedades, de las cuales una es *CantBatch*; por tanto en el campo "Action" se elige "Batched value", que quiere decir, el valor de la propiedad asignado por el *Batch* antecesor.

El comportamiento del *block Queue* es: *sorted queue* o cola ordenada, mientras que la disposición es: primera entrada, primera salida (FIFO, *First in, first out*, por sus siglas en inglés).

Después de que los sacos sucios sean apilados en la entrada de la zona B, se procede a almacenarlos, es decir, tomar saco por saco e ir ubicándolo dentro del almacén, a manera de pila. Dicha actividad es simulada mediante un *block Activity*, la cual sigue una distribución Gamma de parámetros $\alpha = 2.2195$, $\beta = 0.05776$ y $\Upsilon = 0.02881$ minutos.

A dicha actividad le sigue una cola, modelada mediante el *block Queue*, la cual sigue un comportamiento ordenado y con una disposición: último en entrar, primero en salir (*Last in first out*, LIFO por sus siglas en inglés), como se puede apreciar en la Figura 20.

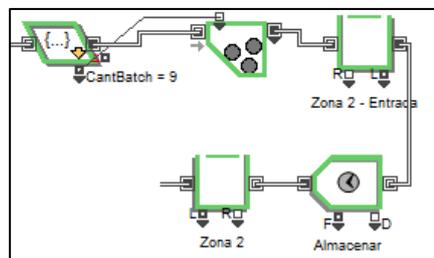


Figura 20. Captura de pantalla del almacenamiento de sacos
Fuente: Elaboración propia

4. Traslado de sacos a zona C

Seguidamente, sigue el traslado de los sacos para ser habilitados, lo cual se modela mediante un *block Activity* de la librería *Item*, cuyo tiempo es de 5.991 segundos o 0.1 minutos; así como de un *block Queue* de la misma librería, que sigue una disposición *Last in, first out*, LIFO por sus siglas en inglés, como se muestra en la Figura 21.

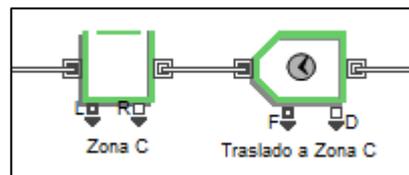


Figura 21. Captura de pantalla del traslado de sacos a zona C
Fuente: Elaboración propia

5. Habilitado de sacos

La siguiente operación consiste en habilitar los sacos, la cual se modela mediante un *block Activity* de la librería *ítem*, cuyo tiempo sigue una distribución *Log-Logistic (3P)* de variables $\alpha = 8.119$, $\beta = 1.55292$ y $\Upsilon = 0$ minutos; así como de un *block Queue* de la misma librería, que sigue una disposición *Last in, first out*, LIFO por sus siglas en inglés, como se muestra en la Figura 22.

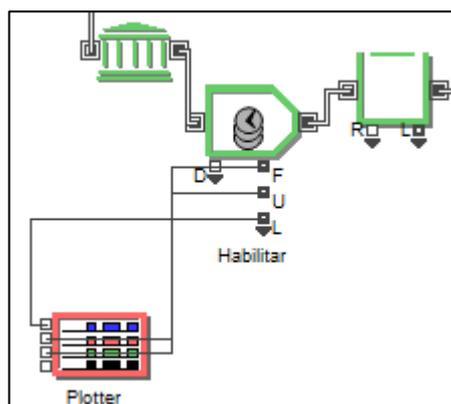


Figura 22. Captura de pantalla del habilitado
Fuente: Elaboración propia

6. Traslado a zona lavado (D)

Después de ser habilitados, los sacos se conforman en grupos de 4.5 sacos en promedio, lo cual se modela mediante un *block Batch* y un *block Random Number* de la librería “Value”, en el que se señaló la distribución *Uniform Integer* con valores de 4 (mínimo) y 5 (máximo).

Seguidamente, cada pila de sacos (también denominados *ítems*) son trasladados a la zona D “Zona de lavado”, para lo cual se utiliza un *block Activity* con distribución *Inv. Gaussian*, de parámetros: $\alpha = 6.5379$, $\beta = 0.8854$ minutos.

Asimismo, para mostrar el número de ítems trasladados al área de lavado, se procede a usar dos *blocks*, primero *Get*, en el que se señala que la propiedad que se va a obtener es *CantBatch*, es decir, el número de ítems que agrupó el *batch* anterior. Después, se usa el *block Unbatch* en el que se señala que use el conector de cantidad (*Use unbatch quantity connectors*), como se muestra en la Figura 23.

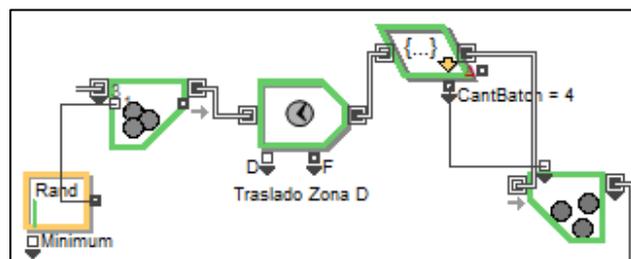


Figura 23. Captura de pantalla del traslado a zona D
Fuente: Elaboración propia

II. ETAPA: PRODUCCIÓN

7. Lavado de sacos

Los sacos trasladados son acumulados, formando una cola *Queue*, la cual sigue una disposición *First in, first out* (FIFO, según sus siglas en inglés).

Dicha cola va seguida de un *block Batch*, el cual permite agrupar los ítems de 4 en 4, para ser lavados.

La operación Lavado se modela mediante un *block Activity* de la librería *Item*, cuyo tiempo de demora está especificado mediante una distribución Laplace de parámetros: $\Phi = 1.87004$, $\Upsilon = 16.3415$ (minutos), como se aprecia en la Figura 24.

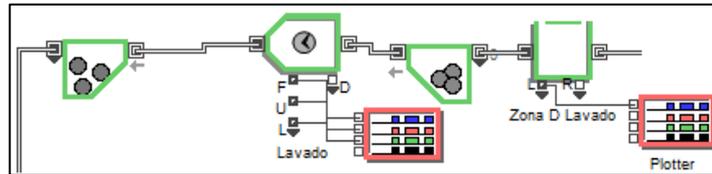


Figura 24. Captura de pantalla del lavado de sacos
Fuente: Elaboración propia

8. Traslado de sacos a zona secado

Después del lavado de sacos, cada uno es acumulado en una cola *Queue*, de configuración: *First in, first out* (FIFO) que, a su vez, son agrupados en pilas de 4 sacos para su traslado a la zona E de secado. Para ello se utiliza un *block Batch* en el que se señala como cantidad necesaria: 4.

El traslado a la zona E se modela mediante un *block Activity*, que sigue una distribución Johnson SB de parámetros: $\zeta = -0.22585$, $d = 1.0416$, $\lambda = 2.2415$, $\Upsilon = 1.9787$ minutos.

Al arribar a la zona de secado, se coloca saco por saco, por lo que se utiliza un *block Unbatch* que se encarga de desagrupar el *batch* y acumularlos para disponerlos uno a uno; para ello en la propiedad “cantidad” (*Quantity*) se indica 4.

Al desagruparlos, se ordenan en una cola, *block Queue*, siguiendo un ordenamiento *First in, first out* (FIFO por sus siglas en inglés), como se muestra en la Figura 25.

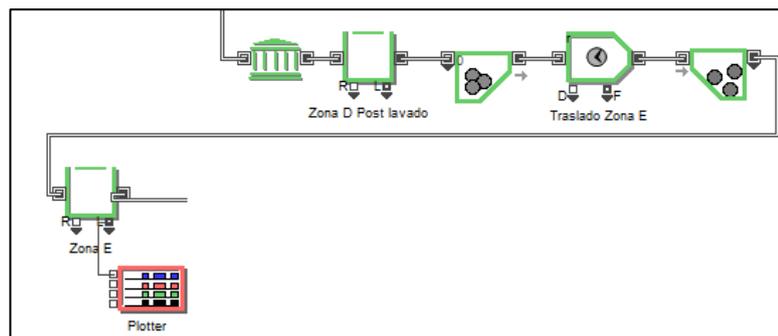


Figura 25. Captura de pantalla del traslado a zona E
Fuente: Elaboración propia

9. Disposición de sacos por secar

Posteriormente, se procede a ubicar los sacos en la zona de secado mediante un *block Activity* que sigue una distribución Gamma, de parámetros $\alpha = 4.2885$, $\beta = 0.07814$

minutos, además de un *block Queu*, que sigue una disposición *Last in, first out*, LIFO por sus siglas en inglés, como se muestra en la Figura 26.

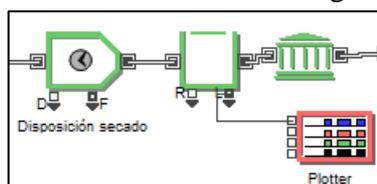


Figura 26. Captura de pantalla de la disposición de sacos
Fuente: Elaboración propia

10. Secado de sacos

A continuación, se asigna un *block Activity* de la librería ítem, cuyo tiempo de demora varía en función a la procedencia del saco de azúcar. En caso corresponda al remitente n.º 1 el tiempo de secado es de 2 días, en caso corresponda al remitente n.º 2, es de 1.5 días y en caso corresponda al remitente n.º 3 el tiempo de secado es de 1.75 días.

Se definieron las siguientes variables:

- Capacidad: 300
- Demora (*Delay*): from a lookup table
- *Distribution: Constant* (número de días)
- *Attribute: Remitent*

Según la siguiente Tabla 17:

Tabla 17. Tiempo de secado

<i>Attribute Value</i> (Remitente)	<i>Constant</i> (días)
1	2
2	1.5
3	1.75

Fuente: Empresa evaluada
Elaboración propia

A continuación, se asigna un *block Queu* de la librería *Item*, que sigue un ordenamiento *First in, first out* (FIFO) que implica que el primer saco que se pone a secar es el primero en terminar de secar, como se muestra en la Figura 27.

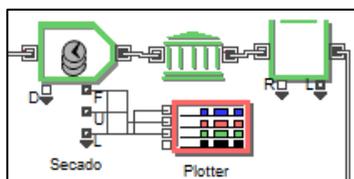


Figura 27. Captura de pantalla del secado de sacos
Fuente: Elaboración propia

11. Traslado de sacos a zona F

Después de transcurrido el tiempo de secado, dichos sacos son agrupados en grupos de 2.566 sacos, en promedio, y transportados a la zona F: Empaque. Para agrupar los

sacos se usó un *block Batch* de la librería *Item*, cuya entrada *BatchQuantityIn* va enlazada con un *block Random Number* de la librería *Value*. El *block RandomValue* sigue una distribución Triangular, cuyas variables *Minimum*, *Maximum*, y *Most likely* son 2, 3 y 3, respectivamente.

El transporte está modelado mediante un *block Activity*, el cual sigue una distribución *Log Logistic (3P)* de variables: $\alpha = 2.5525$, $\beta = 0.98053$ y $\Upsilon = 0.23596$.

Después, sigue un *block Get* de la librería *Item*, para identificar el número de ítems que se trasladaron, en donde se señaló *CantBatch* como la propiedad a identificar.

Seguido se añade un *block Unbatch*, el cual toma el valor del *block Get*, marcando el casillero “*Use unbatch quantity connectors*”.

Los sacos secos son acumulados en una cola, representado mediante un *block Queu* que sigue un modo de ordenamiento: *FIFO (First in, first out)* por sus siglas en inglés, como se aprecia en la Figura 28.

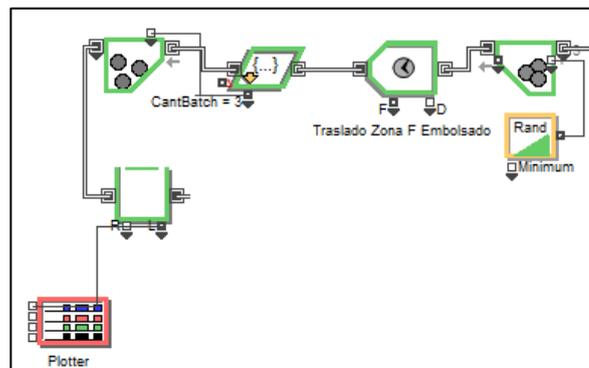


Figura 28. Captura de pantalla del traslado a zona F
Fuente: Elaboración propia

III. ETAPA: EMPAQUE Y DESPACHO

12. Embolsado

Finalmente, la actividad embolsar se encuentra modelada mediante un *block Activity* de la librería *Item*, la cual sigue una distribución *Johnson SB* de parámetros en minutos: γ (gamma)= 6.40085, d (delta)=3.62702, λ (lamda) =6.75994 y Υ (*location*)=0, como se aprecia en la Figura 29.

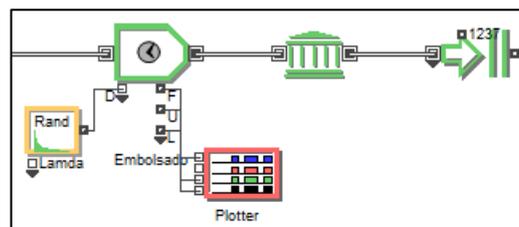


Figura 29. Captura de pantalla del embolsado
Fuente: Elaboración propia

3.4 Validación del modelo

Para la validación del modelo planteado se procedió a utilizar la tasa de servicio como parámetro de evaluación. En ese sentido, la empresa señaló que, según su experiencia, la tasa de servicio mínima es del 80%, por tanto, se procedió a verificar que la tasa de servicio promedio, además de sus intervalos de confianza, cumplan con dicho requisito.

La tasa de servicio promedio de cada operación y sus intervalos de confianza se obtuvieron mediante la revisión de los datos, producto de 10 simulaciones del modelo planteado, los cuales se presentan en la Tabla 18, cuyo detalle se encuentra en el Anexo 2.

Tabla 18. Tasa de servicio de simulación del modelo inicial

Tasa de servicio	Recibidos	Apilado	Habilitado	Lavado	Secado	Embolsado
Resultado A	10,804.00	100.00%	99.94%	99.93%	99.93%	99.91%
Resultado B	18,159.00	100.00%	78.58%	75.93%	74.98%	74.97%
Resultado C	20,022.00	100.00%	78.90%	76.50%	75.56%	75.55%
Resultado D	16,538.00	100.00%	98.89%	96.00%	94.91%	94.91%
Resultado E	12,631.00	100.00%	99.96%	99.60%	98.61%	98.61%
Resultado F	12,011.00	100.00%	99.98%	99.31%	98.11%	98.11%
Resultado G	13,435.00	100.00%	99.99%	97.21%	95.90%	95.88%
Resultado H	22,344.00	100.00%	87.74%	85.59%	84.68%	84.67%
Resultado I	22,102.00	100.00%	87.33%	85.17%	84.38%	84.37%
Resultado J	16,785.00	100.00%	99.97%	99.95%	99.14%	99.12%
PROMEDIO	16,483.10	100.00%	93.13%	91.52%	90.62%	90.61%
INTERVALO DE CONFIANZA	2,594.68	-	5.64%	6.07%	6.10%	6.10%
LÍMITE SUPERIOR	19,077.78	100.00%	98.76%	97.59%	96.72%	96.71%
LÍMITE INFERIOR	13,888.42	100.00%	87.49%	85.44%	84.52%	84.51%

Fuente: Data de diez simulaciones del modelo inicial del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 2)
Elaboración propia

De los datos obtenidos, se observa que el total de sacos recibidos en 6.6 meses es 16483.1, en promedio; de los cuales, el 90.61% en promedio, con un intervalo de confianza entre 84.51% y 96.71%, son atendidos y están disponibles para su entrega, en el periodo examinado.

En ese sentido, al tener una tasa de entrega mayor al 80%, se tendría por validado el modelo.

3.5 Análisis del modelo inicial

3.5.1 Ejecución de corrida de simulación

A continuación, se muestra un análisis de los datos obtenidos sobre las actividades principales que conforman el proceso operativo de lavado de sacos de azúcar en 6.66 meses (80000 minutos), el tiempo de permanencia de los sacos en cada una de las colas previas a cada actividad, así como el tamaño de estas, cuyo detalle se encuentra en el Anexo 2.

En ese sentido, se partió de la demanda de sacos por lavar, como se muestra en la Tabla 19, en donde se especifica el tamaño promedio de cada lote recibido en el periodo examinado, además de su procedencia y el tiempo entre llegadas.

Tabla 19. Data sobre llegada de items

Resultado	Total de sacos recibidos	Tamaño promedio de cada lote	Número de sacos por remitente			Tiempo entre llegadas (jornada)	
			1	2	3	Promedio	Total
A	10804	180.067	5305	3351	2148	2.681	160.837
B	18159	288.238	4996	11702	1461	2.573	162.093
C	20022	308.031	4309	11700	4013	2.260	146.891
D	16538	262.508	4077	8360	4101	2.616	164.805
E	12631	221.596	3251	6347	3033	2.904	165.531
F	12011	222.426	4023	6574	1414	3.078	166.215
G	13435	235.702	4886	6711	1838	2.907	165.698
H	22344	256.828	5333	11396	5615	1.907	165.939
I	22102	480.478	4620	17406	76	3.512	161.575
J	16785	258.231	4929	8936	2920	2.496	162.255
PROMEDIO	16483.1	271.410	4572.9	9248.3	2661.9	2.693	162.184
INTERVALO DE CONFIANZA	2594.68	50.73	407.22	2452.04	1000.47	0.28	3.56
LÍMITE SUPERIOR	19077.78	322.14	4980.12	11700.34	3662.37	2.97	165.74
LÍMITE INFERIOR	13888.42	220.68	4165.68	6796.26	1661.43	2.42	158.62

Fuente: Data de diez simulaciones del modelo inicial del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 2)
Elaboración propia

Como se puede identificar, el tiempo promedio entre llegadas de los lotes es de 2.7 jornadas de 8 horas, con un tamaño promedio de 271 sacos, correspondiendo en su mayoría al remitente 2, luego al 1 y finalmente al 3.

3.5.2 Análisis de resultados

De la revisión a los resultados obtenidos, identificamos que:

1. En el caso de la primera actividad, apilado, el tiempo de operación promedio para atender el total de lotes recibidos, en el periodo examinado, es de 8.33 jornadas, como se puede observar en la Tabla 20; sin embargo, de contar con una persona a tiempo completo y dedicación exclusiva a dicha actividad, representaría 155.83 jornadas de tiempo muerto, al ser una actividad de poca duración y que se ve impactada directamente por el tiempo entre llegadas de los lotes, dado que no es una llegada continua, sino más bien con un tiempo entre llegadas promedio mayor a dos jornadas. Por ello, se recomienda que la persona encargada de esta actividad, sea asignada a otras labores que le permitan disminuir el tiempo muerto, dentro de su jornada laboral.

Tabla 20. Resumen de tiempo invertido y perdido en la actividad apilado

Resultado	Tiempo de actividad (jornada)	Tiempo muerto (jornada)	
		Total	Promedio
A	5.530	155.368	2.877
B	9.127	157.540	2.764
C	10.060	137.273	2.049
D	8.353	158.313	2.683
E	6.348	160.319	2.915
F	6.047	160.620	3.089
G	6.828	159.839	3.016
H	11.275	155.391	1.967
I	11.206	155.461	3.701
J	8.485	158.181	2.551
PROMEDIO	8.326	155.831	2.761
INTERVALO DE CONFIANZA	1.304	4.227	0.312
LÍMITE SUPERIOR	9.630	160.058	3.073
LÍMITE INFERIOR	7.022	151.603	2.449

Fuente: Data de diez simulaciones del modelo inicial del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 2)

Elaboración propia

- En el caso de la actividad habilitar sacos, se ha configurado la cola según el modelo de ordenamiento, primera entrada primera salida, de modo que se habilitan los sacos que corresponden al primer remitente que ingresó a dicha actividad. Así, como se muestra en la Tabla 21, se tiene que para habilitar el total de sacos que llegan en el periodo de examen, se requiere un promedio de 91.54 jornadas, que en caso una persona esté destinada sólo a dicha labor, insumiría un tiempo muerto promedio de 70.56 jornadas distribuido en 25.04 veces, a lo largo de los 6.6 meses evaluados.

Tabla 21. Resumen de tiempo invertido y perdido en la actividad habilitado

Resultado	Tiempo de actividad (jornadas)	Tiempo muerto (jornadas)	
		Total	Promedio
A	45.8118	123.0252	2.6745
B	81.4241	85.2426	2.9394
C	27.1667	40.1724	3.3477
D	145.7148	72.5344	2.5012
E	63.9089	102.7578	2.7772
F	52.1290	114.5377	3.0141
G	81.7511	84.9156	3.2660
H	143.6456	23.0211	2.3021
I	151.0849	15.5818	2.2260
J	122.7779	43.8888	3.1349
PROMEDIO	91.5415	70.5677	2.8183
INTERVALO DE CONFIANZA	28.4185	23.6157	0.2422
LÍMITE SUPERIOR	119.9599	94.1835	3.0605
LÍMITE INFERIOR	63.1230	46.9520	2.5761

Fuente: Data de diez simulaciones del modelo inicial del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 2)

Elaboración propia

3. En el caso de la actividad principal de este proceso, lavado de sacos, se tiene una capacidad de cuatro sacos, a diferencia de las anteriores actividades; sin embargo, intervienen tres personas en su desarrollo.

En este caso, los lotes que llegan al sistema son atendidos por esta operación, en promedio, 125.92 jornadas, identificándose un tiempo muerto promedio de 39.149 jornadas entre la atención de estos, como se aprecia en la Tabla 22.

Podría surgir la posibilidad de justificar dicho tiempo muerto con el tiempo entre llegadas de los lotes, que como se muestra en la Tabla 19 suman 162.184 jornadas, en promedio.

Por otro lado, se consume, en promedio, un total de 377 jornadas de ocho horas, considerando las tres personas a cargo de desarrollar la operación.

Tabla 22. Resumen de tiempo invertido y perdido en la actividad lavado

Resultado	Tiempo de actividad (jornadas)	Tiempo muerto (jornadas)	
		Total	Promedio
A	91.9962	74.6705	2.1334
B	117.2661	49.4006	3.2934
C	129.8905	20.7466	2.9638
D	135.2925	31.3742	2.0916
E	106.8617	59.8050	3.5179
F	101.5768	65.0899	2.7121
G	110.7079	55.9588	3.2917
H	162.4968	4.1699	0.6950
I	160.5734	6.0933	1.2187
J	142.4891	24.1776	4.8355
PROMEDIO	125.915	39.149	2.675
INTERVALO DE CONFIANZA	15.083	15.582	0.742
LÍMITE SUPERIOR	140.998	54.731	3.417
LÍMITE INFERIOR	110.832	23.567	1.933

Fuente: Data de diez simulaciones del modelo inicial del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 2)

Elaboración propia

Sobre el tamaño de la cola, como se puede identificar en la Figura 30, esta llega a saturar su capacidad máxima (150 unidades) o se encuentra próxima a hacerlo (más de 140 unidades) en promedio, en 6.21% de las veces, lo que expresa que no hay necesidad de aumentar la capacidad de la zona previa al área de lavado.

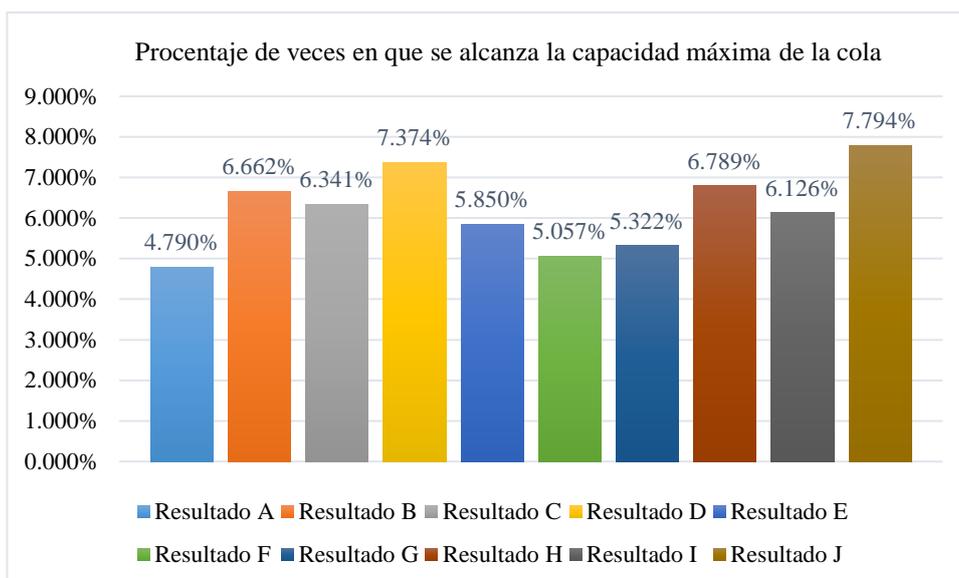


Figura 30. Veces en que se satura la capacidad de la cola

Fuente: Elaboración propia

4. Seguido a la actividad lavado, se encuentra el secado. En tal caso, se cuenta con diferentes tiempos de secado según el remitente de la unidad, lo que genera pequeñas colas de espera con sacos recién lavados. Así tenemos, que al minuto de corte del sistema, en ningún caso se contó con sacos en espera a ser dispuestos para el secado.

Así, tenemos que, hasta el minuto de corte del sistema, se dispusieron en promedio, 14806.4 sacos para ser secados, lo que requirió en promedio, de 43.729 días (24 horas) e implicó 7.484 días de capacidad ociosa, en los que no se contaba con unidades (sacos) para ser secados, como muestra la Tabla 23.

Tabla 23. Resumen de tiempo invertido y perdido en la operación secado

Resultado	Tiempo de actividad (días/hombre)	Tiempo muerto días		N° sacos dispuestos a secar
		Total	Promedio	
A	44.1277	11.4279	0.7619	10796
B	45.5438	10.0117	1.0012	13788
C	46.2828	3.9521	0.9880	15312
D	50.3704	5.1852	0.6482	15876
E	42.7487	12.8068	1.6009	12580
F	43.4605	12.0950	1.0079	11928
G	43.1378	12.3933	1.7705	13060
H	55.5294	0.0261	0.0261	19124
I	54.7422	0.8134	0.4067	18824
J	11.3468	6.1294	2.0431	16776
PROMEDIO	43.7290	7.4841	1.0254	14806.4
INTERVALO DE CONFIANZA	7.63	3.03	0.39	1770.90
LÍMITE SUPERIOR	51.36	10.52	1.41	16577.30
LÍMITE INFERIOR	36.10	4.45	0.64	13035.50

Fuente: Data de diez simulaciones del modelo inicial del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 2)

Elaboración propia

5. Finalmente se tiene la operación de embolsado, mediante la cual se prepara el producto para ser entregado al cliente. Considerando que es una de las últimas operaciones en curso, no empieza desde el minuto 0 en que inicia todo el sistema, sino a partir de la 2.015 jornada, en promedio, como se aprecia en la Tabla 24; con ninguna unidad pendiente de embolsar al corte del sistema.

Por otro lado, se embolsaron 14935.337 sacos, en promedio, lo que consumió 30.865 jornadas, e implicó un tiempo muerto de 133.998 jornadas, en promedio, como se muestra en la Tabla 24. En este caso, al ser la última operación previa al despacho del entregable, la persona asignada a la primera operación (apilado) podría destinarse a esta actividad y aminorar el tiempo muerto, considerando que ambas operaciones tienen poca duración, siendo esta actividad la prioridad para el adecuado despacho del producto terminado.

Tabla 24. Resumen de tiempo invertido y perdido en la operación embolsado

Resultado	Tiempo de actividad (jornada)	Tiempo muerto (jornada)		Tiempo antes de iniciar la operación (jornada)
		Total	Promedio	
A	22.640	141.945	0.053	2.081
B	28.655	138.012	0.041	2.098
C	31.980	118.733	0.031	1.982
D	33.082	133.585	0.035	2.096
E	26.094	140.572	0.046	1.986
F	24.924	141.742	0.048	1.944
G	27.050	139.617	0.044	1.913
H	39.912	126.755	0.027	2.081
I	39.249	127.417	0.027	1.894
J	35.068	131.599	0.032	2.078
PROMEDIO	30.865	133.998	0.039	2.015
INTERVALO DE CONFIANZA	3.702	4.840	0.006	0.050
LÍMITE SUPERIOR	34.568	138.837	0.044	2.065
LÍMITE INFERIOR	27.163	129.158	0.033	1.966

Fuente: Data de diez simulaciones del modelo inicial del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 2)

Elaboración propia

Otro aspecto que conviene considerar, es el tiempo entre los traslados. Como ha sido expuesto en el acápite 4.1.2.2 Recursos del proceso, la distribución de las actividades y operaciones se da entre cuatro plantas de un edificio, lo que implica que se ocupen horas hombre en dicho traslado, y, a diferencia de que se desarrollen en la misma planta, hace uso de mayor número de horas hombre, riesgo de accidentes al subir escaleras, lo que se agrava al trasladar sacos mojados.

Como se ha señalado, se cuenta con tiempo muerto, que se debe a que el sistema aún es capaz de recibir una mayor demanda. Por tanto, en el siguiente acápite se ha procedido a evaluar diferentes escenarios hasta identificar aquel que sature el modelo y no permita atender con una tasa de servicio por encima del 80%.

3.6 Diseño y análisis de escenarios diferentes

Con el objetivo de identificar la saturación del modelo, se ha planteado tres escenarios, los cuales se muestran a continuación:

3.6.1 Escenario 1

Se incrementó el tamaño de los lotes de cada remitente; por tanto, las distribuciones que seguían aumentaron los parámetros, quedando del siguiente modo:

- Tamaño de lote Laredo, tiene una distribución Binomial Negativa de parámetros S:5; P: 0.0271689.
- Tamaño de lote Corporación L. planta Bocanegra, tiene una distribución Geométrica de parámetro *Probability*: 0.00253
- Tamaño de lote Corporación L. planta Santa Rosa, tiene una distribución Binomial Negativa de parámetros: S:7; P: 0.0282912.

En ese sentido, se realizaron 10 pruebas, cuyos datos por actividad se encuentran en el anexo 3, a partir de los cuales se analizó y concluyó en las tasas de servicio de la Tabla 25:

Tabla 25. Tasa de servicio de simulación de escenario 1

Tasa de servicio	Recibidos	Apilado	Habilitado	Lavado	Secado	Embolsado
Resultado A	15,827.00	100.00%	96.39%	93.36%	92.06%	92.05%
Resultado B	19,322.00	100.00%	94.86%	92.37%	91.36%	91.34%
Resultado C	15,114.00	100.00%	100.00%	97.13%	95.96%	95.94%
Resultado D	18,713.00	100.00%	90.23%	87.68%	86.59%	86.59%
Resultado E	14,808.00	100.00%	86.32%	83.09%	81.93%	81.93%
Resultado F	19,684.00	100.00%	90.01%	87.56%	86.67%	86.66%
Resultado G	19,599.00	100.00%	99.81%	97.35%	96.15%	96.14%
Resultado H	16,814.00	100.00%	93.53%	90.69%	89.33%	89.31%
Resultado I	19,929.00	100.00%	98.52%	96.70%	95.52%	95.51%
Resultado J	12,945.00	100.00%	99.95%	99.93%	98.45%	98.40%
PROMEDIO	17,275.50	100.00%	94.96%	92.59%	91.40%	91.39%
INTERVALO DE CONFIANZA	1,550.45		3.01%	3.32%	3.27%	3.26%
LÍMITE SUPERIOR	18,825.95	1	97.97%	95.90%	94.67%	94.65%
LÍMITE INFERIOR	15,725.05	1	91.95%	89.27%	88.14%	88.13%

Fuente: Data de diez simulaciones del escenario 1 del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 3)
Elaboración propia

A partir de la Tabla 25 se puede identificar que, ante el aumento de la demanda en los 6.6 meses, la tasa de servicio oscila entre 88.13% y 94.65%; por tanto, se puede concluir que el modelo todavía puede recibir una demanda entre 15,725.05 y 18,825.95.

3.6.2 Escenario 2

Se siguió incrementando el tamaño de los lotes de cada remitente; por tanto, las distribuciones que seguían aumentaron los parámetros, quedando del siguiente modo:

- Tamaño de lote Laredo, tiene una distribución Binomial Negativa de parámetros S:8; P: 0.0271689.
- Tamaño de lote Corporación L. planta Bocanegra, tiene una distribución Geométrica de parámetro *Probability*: 0.00273
- Tamaño de lote Corporación L. planta Santa Rosa, tiene una distribución Binomial Negativa de parámetros: S:10; P: 0.0282912.

También se realizaron 10 pruebas, cuyos datos por actividad se encuentran en el anexo 4, a partir de los cuales se analizó y concluyó en las tasas de servicio de la Tabla 26:

Tabla 26. Tasa de servicio de simulación de escenario 2

Tasa de servicio	Recibidos	Apilado	Habilitado	Lavado	Secado	Embolsado
Resultado A	20,376	100.00%	86.37%	84.02%	83.18%	83.17%
Resultado B	16,854	100.00%	98.99%	96.14%	94.79%	94.78%
Resultado C	18,644	100.00%	87.60%	85.02%	83.69%	83.69%
Resultado D	23,872	100.00%	84.24%	82.24%	81.45%	81.44%
Resultado E	26,311	100.00%	76.46%	74.63%	73.96%	73.95%
Resultado F	17,942	100.00%	96.08%	93.39%	92.39%	92.37%
Resultado G	22,701	100.00%	83.92%	81.81%	80.79%	80.78%
Resultado H	13,664	100.00%	100.00%	97.92%	96.19%	96.19%
Resultado I	22,749	100.00%	80.10%	77.98%	77.07%	77.07%
Resultado J	15,801	100%	94.46%	91.44%	89.98%	89.96%
Resultado K	18,399	100%	92.27%	89.66%	88.72%	88.70%
PROMEDIO	19,891.4	100.00%	88.82%	86.46%	85.35%	85.34%
INTERVALO DE CONFIANZA	2,253.9		4.60%	4.45%	4.30%	4.30%
LÍMITE SUPERIOR	22,145.3	100.00%	93.42%	90.91%	89.65%	89.64%
LÍMITE INFERIOR	17,637.5	100.00%	84.23%	82.01%	81.05%	81.04%

Fuente: Data de diez simulaciones del escenario 2 del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 4)
Elaboración propia

A partir de la Tabla 26 se puede identificar que, ante el incremento de la demanda entre 17,637.5 y 22,145.3 en los 6.6 meses, la tasa de servicio oscila entre 81.04% y 89.64%; por tanto, se puede concluir que el modelo todavía tiene capacidad de atención de una demanda que incrementó en 20.68%.

3.6.3 Escenario 3

En el tercer escenario se incrementó el tamaño de los lotes de cada remitente un poco más, quedando las distribuciones del siguiente modo:

- Tamaño de lote Laredo, tiene una distribución Binomial Negativa de parámetros S:11; P: 0.0271689.

- Tamaño de lote Corporación L. planta Bocanegra, tiene una distribución Geométrica de parámetro *Probability*: 0.00293
- Tamaño de lote Corporación L. planta Santa Rosa, tiene una distribución Binomial Negativa de parámetros: S:13; P: 0.0282912.

En ese escenario, también se realizaron 10 pruebas, cuyos datos por actividad se encuentran en el anexo 5, a partir de los cuales se analizó y concluyó en las tasas de servicio de la Tabla 27:

Tabla 27. Tasa de servicio de simulación de escenario 3

Tasa de servicio	Recibidos	Apilado	Habilitado	Lavado	Secado	Embolsado
Resultado A	23,667.00	100.00%	79.06%	72.00%	71.10%	71.10%
Resultado B	24,031.00	99.80%	85.68%	78.71%	77.92%	77.91%
Resultado C	24,760.00	100.00%	84.19%	77.45%	76.61%	76.60%
Resultado D	24,721.00	100.00%	85.90%	79.14%	78.17%	78.15%
Resultado E	29,617.00	100.00%	70.75%	65.10%	64.30%	64.30%
Resultado F	19,951.00	100.00%	83.58%	75.20%	74.16%	74.15%
Resultado G	25,650.00	100.00%	82.91%	76.41%	75.46%	75.46%
Resultado H	22,208.00	100.00%	95.79%	88.27%	87.46%	87.45%
Resultado I	23,106.00	100.00%	91.76%	84.53%	83.53%	83.52%
Resultado J	24,993.00	100.00%	83.62%	76.93%	76.25%	76.25%
Resultado K	19,944.00	100.00%	96.52%	88.15%	87.12%	87.10%
PROMEDIO	23,877.09	99.98%	85.43%	78.35%	77.46%	77.45%
INTERVALO DE CONFIANZA	1,548.00	0.04%	4.16%	3.92%	3.91%	3.91%
LÍMITE SUPERIOR	25,425.09	100.02%	89.60%	82.28%	81.38%	81.37%
LÍMITE INFERIOR	22,329.09	99.94%	81.27%	74.43%	73.55%	73.54%

Fuente: Data de diez simulaciones del escenario 3 del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 5)
Elaboración propia

A partir de la Tabla 27 se puede identificar que, ante el incremento de la demanda entre 22,329.09 y 25,425.09 en los 6.6 meses, la tasa de servicio oscila entre 73.54% y 81.37%; por tanto, se puede concluir que el modelo ha alcanzado la demanda promedio a la cual no puede atender con una tasa de 80 %.

Tras identificar dicho límite, se evalúa qué es lo que no permite un desarrollo adecuado del proceso, además de qué mejoras plantear con el objetivo de atender sin mayor inconveniente, alcanzando la tasa de servicio del 80% como mínimo, ante un aumento de la demanda en un 44.86 % como es el caso del escenario 3.

3.7 Planteamiento de mejora

A partir del modelo inicial, cuyo resumen se encuentra en la Tabla 18, y cuyo detalle está en el Anexo 2, el número de sacos que son atendidos por la operación de secado es 14936 en el periodo examinado, en promedio. A partir de ello, se tiene que el número de sacos atendidos por la operación secado en un mes, es de 2240, en promedio.

Por otro lado, la capacidad del área de secado es de 300 sacos; sin embargo, dicha operación tiene la mayor duración entre todas las operaciones, variando en función al tipo de remitente, siendo la menor de 1.5 días y la mayor de 2 días.

En ese sentido, se identifica que el secado es el cuello botella debido a su limitada capacidad, y considerando el escenario extremo en el que todos los lotes recibidos proceden del remitente con mayor tiempo de secado, es decir, dos días, se procede a evaluar la capacidad máxima.

Para ello se elabora la Tabla 28, donde se puede apreciar el número de sacos disponibles para ser secados por cada día, además del tiempo real (2 días de 24 horas) que estos sacos tardan en la operación secado. El día marcado en “naranja” es el día que no labora el personal, mientras que las celdas de color verde son el tiempo que los sacos están durante la operación secado, y las celdas de color rosado son el tiempo en el que no se usa la capacidad instalada.

Tabla 28. Distribución de sacos para la operación secado en el tiempo

Días	Horas	1° día		2° día		3° día	
1	8						
	10						
	16	50	50				
	24						
8							
10							
2	16						
	24						
	8						
	10						
3	16						
	24						
	8						
	10						
4	16						
	24						
	8						
	10						
5	16						
	24						
	8						
	10						
6	16						
	24						
	8						
	10						
7	16						
	24						
	8						
	10						
8	16						
	24						
	8						
	10						
9	16						
	24						
	8						
	10						

Días	Horas	1° día		2° día		3° día	
10	8						
	10						
	16						
	24						
11	8						
	10						
	16					50	
	24						50
12	8						
	10						
	16	50					
	24		50				
13	8						
	10						
	16			50			
	24				50		
14	8						
	10						
	16					50	
	24						50
15	8						
	10						
	16						
	24						
16	8						
	10						
	16	50					
	24		50				
17	8						
	10						
	16			50			
	24				50		
18	8						
	10						
	16					50	
	24						50
19	8						
	10						
	16	50					
	24		50				
20	8						
	10						
	16			50			
	24				50		
21	8						
	10						
	16					50	
	24						50
22	8						
	10						
	16						
	24						
23	8						
	10	50					
	16		50				
	24			50	50		

Días	Horas	1° día	2° día	3° día
24	8			
	10			
	16			
	24			
25	8			
	10			
	16			50
	24			50
26	8			
	10			
	16	50	50	
	24			
27	8			
	10			
	16		50	
	24			50
28	8			
	10			
	16			50
	24			50
29	8			
	10			
	16			
	24			
30 NO LABORA BLE	8			
	10			
	16	50	50	
	24			

Fuente: Elaboración propia

A partir de la Tabla 28 podemos concluir que, bajo las condiciones iniciales, la capacidad máxima utilizada es de 2500 sacos al mes; sin embargo, también se puede observar que se cuenta con una capacidad que no es aprovechada, debido a que sólo seis de los siete días de la semana son laborables para los trabajadores.

Dicha capacidad no aprovechada corresponde a 1200 sacos, considerando que son 24 espacios de tiempo de dos días de 24 horas, cada uno de producción de 50 sacos.

Frente a ello, se propone la adición de un trabajador más, de manera que los miembros del equipo de lavado, operación previa al secado, puedan laborar seis días a la semana, cada uno descansando en un día diferente (no el mismo día), lo que permitirá tener una producción continua y aprovechar parte de esa capacidad ociosa.

Cabe precisar que la adición de una persona más y, por tanto, una producción de lavado continua de siete días a la semana, implicará una producción adicional de 600 sacos mensuales, lo cual dejará una capacidad instalada de 600 sacos restantes por aprovechar. Ello sería suficiente para atender la demanda del último escenario evaluado, con un incremento del 44.86 %, como se verá a continuación.

Para el modelamiento de la propuesta se ha ajustado la capacidad de secado, que en los modelos iniciales fue de 300 sacos equivalentes a los 2500 sacos de capacidad

utilizada según la Tabla 28. En ese sentido, con un incremento de 600 sacos sería 3100 sacos de capacidad utilizada que, en términos del modelo, equivaldría a 372 sacos.

Se realizaron 10 pruebas, cuyos datos por actividad se encuentran en el Anexo 6, a partir de los cuales se analizó y concluyó en las tasas de servicio mostradas en la Tabla 29:

Tabla 29. Tasa de servicio de simulación de escenario 4

Tasa de servicio	Recibidos	Apilado	Habilitado	Lavado	Secado	Embolsado
Resultado A	20,593	100.00%	100.00%	94.75%	93.57%	93.56%
Resultado B	22,185	100.00%	95.95%	88.42%	87.39%	87.38%
Resultado C	22,771	100.00%	93.11%	85.79%	84.76%	84.75%
Resultado D	23,916	100.00%	85.38%	78.39%	77.40%	77.38%
Resultado E	20,565	100.00%	96.56%	88.46%	87.28%	87.26%
Resultado F	24,466	100.00%	86.80%	79.96%	79.21%	79.21%
Resultado G	21,974	100.00%	96.30%	88.69%	87.65%	87.64%
Resultado H	21,377	100.00%	94.54%	86.73%	85.79%	85.77%
Resultado I	27,384	100.00%	77.55%	71.46%	70.61%	70.61%
Resultado J	22,073	100.00%	96.21%	88.65%	87.85%	87.83%
PROMEDIO	22,730.40	100.00%	92.24%	85.13%	84.15%	84.14%
INTERVALO DE CONFIANZA	1,281.351185	0	3.88%	3.78%	3.73%	4.08%
MÁS	24,011.75118	100%	96.12%	88.91%	87.88%	88.22%
MENOS	21,449.04882	100%	88.36%	81.35%	80.42%	80.05%

Fuente: Data de diez simulaciones del escenario 4 del proceso de lavado de sacos de azúcar (Anexo 6)

Elaboración propia

A partir de ella, se puede identificar que, ante el aumento de la demanda en 44.86% y los ajustes en la capacidad de secado realizados, la tasa de servicio oscila entre 80.05% y 88.22%, en el periodo evaluado; por tanto, se puede concluir que la mejora propuesta es válida y permite superar la tasa de servicio mínima requerida (80%).

Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones

Al terminar el presente estudio, se presentan las conclusiones a las que se ha llegado, de manera que describan de forma clara y resumida los resultados obtenidos.

- A partir del modelo planteado se tiene que la empresa estudiada ha contado una demanda de 16,483.10 sacos, en promedio, con un intervalo de confianza de 2,594.68 unidades, por un periodo de 6.6 meses.

De la recolección y análisis de los tiempos de operación se ha establecido algunos estándares de producción que permitan orientar y facilitar la toma de decisiones en el desarrollo del proceso. Es así que se identificó dos actividades que insumen el mayor tiempo: lavado y secado. La operación de lavado tarda un promedio de 16.161 minutos haciendo uso de un equipo de tres personas; mientras que el secado varía en función al remitente, debido al grosor del saco, siendo de dos días cuando corresponde a Laredo, un día y $\frac{3}{4}$ del siguiente día en caso el remitente sea Corporación L. planta Santa Rosa; y un día y medio cuando corresponde a Corporación L. planta Bocanegra.

- Debido a la iniciativa de sus clientes de establecer alianzas estratégicas, se ha previsto que en caso de un incremento de la demanda en un 44.86 % frente a la demanda inicial, no se podrá alcanzar la tasa mínima de servicio, del 80% según lo expresado por la empresa.
- En el análisis del proceso de lavado de sacos de azúcar se ha determinado una alternativa que permitirá incrementar los costos en menor medida, y aprovechar la capacidad instalada de secado. Dicha alternativa consiste en la adición de un trabajador más, de manera que los miembros del equipo de lavado, operación previa al secado, puedan laborar seis días a la semana, cada uno descansando en un día diferente (no el mismo día), con el fin de obtener una producción continua los siete días a la semana.

Con la implementación de dicha alternativa se espera incrementar la capacidad utilizada de secado en 24%, lo que permitirá alcanzar tasas de servicio entre 80.05% y 88.22%, en promedio.

Algunas recomendaciones para tomar en cuenta para su posterior evaluación:

- Diseñar una planta para el desarrollo del proceso, que distribuya las áreas en un mismo nivel, de manera que se reduzca el tiempo de traslado de una operación a otra, y con ello la manipulación de los sacos sea la menor posible, garantizando la inocuidad y evitando el riesgo de accidentes durante el traslado de los sacos, especialmente, cuando estos y el suelo están mojados.
- Que la planta para el desarrollo del proceso contemple la reutilización, en la operación de enjuague, del agua producto del lavado, y contribuya a la sostenibilidad del medio ambiente.

Bibliografía

1. Angulo, C. (2011). Estadística. Piura: Universidad de Piura.
2. Chávez, H (2009). Investigación de operaciones. Recuperado 16 diciembre, Calameo: <http://es.calameo.com/read/000029713ac966c96533b>
3. García, J. (2015) *Métodos cuantitativos de organización industrial*. Departamento de Organización de Empresas, E.F y C. Recuperado de <http://documents.mx/documents/teoria-de-colas-55939468802d0.html#>
4. Imagine That (s/f). Recuperado 10 diciembre, 2016, Imagine That, Extend Sim: http://www.extendsim.com/support_techsupport.html
5. Mateo, P. & Lahoz, D. (2009). *Programación lineal entera*. Recuperado de <http://ocw.unizar.es/ocw/enseñanzas-tecnicas/modelos-de-investigacion-operativa/ficheros/OCWProgEntera.pdf>
6. Maturana, J (2016, 8 de setiembre). Investigación de operaciones. Artículo publicado en <http://www.gestiondeoperaciones.net/>
7. Merino, M. (s/f). *Técnicas clásicas de optimización. Parte I: Programación lineal y no lineal*. Universidad del País Vasco: Facultad de Ciencia y tecnología Departamento de Matemática Aplicada y Estadística e Investigación Operativa. Recuperado de http://www.ehu.eus/mae/html/prof/Maria_archivos/plnlapuntes.pdf
8. Moraga, M. & Baesler, F. (2001). Uso de inteligencia artificial para la optimización de un modelo de simulación aplicado a un proceso de remanufactura de pino radiata. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 3(1-2), 52-62. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2001000100006&lng=es&tlng=es.10.4067/S0718-221X2001000100006.

9. Perea, T. (2012). Simulación del proceso de calcinación del cemento. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 2012). Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5096>
10. Taha, H (1995). *Investigación de operaciones*. México, D.F.: Alfaomega. Recuperado de <https://jrvargas.files.wordpress.com/2009/01/investigacion-de-operaciones-9na-edicion-hamdy-a-taha-fl.pdf>
11. Universidad de la República Oriental del Uruguay (s/f). *Introducción a la investigación de operaciones*. Recuperado 16 diciembre, 2016, Universidad de la República Oriental del Uruguay, Facultad de Ingeniería: <http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/io/archivos/teorico/todo.pdf>.

Anexos

Debido a la extensión de la data y al tipo de modelo utilizado, los anexos citados a continuación se encuentran en el CD adjunto.

- Anexo 1 Data recopilada de las actividades del proceso de lavado de sacos
- Anexo 2 Modelo y resultados de las diez pruebas del modelo inicial
- Anexo 3 Modelo y resultados de las diez pruebas del escenario 1
- Anexo 4 Modelo y resultados de las diez pruebas del escenario 2
- Anexo 5 Modelo y resultados de las diez pruebas del escenario 3
- Anexo 6 Modelo y resultados de las diez pruebas del modelo con la mejora propuesta