

UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil Logística



**PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS PARA MEJORAR EL FLUJO DEL PROCESO DE
DESPACHO EN FPC S.A MEDIANTE LA SIMULACIÓN DISCRETA.**

VANESSA MAKARENA QUIROGA PEÑA

INFORME DE PROYECTO DE TITULO PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO CIVIL LOGÍSTICO

Profesor Guía: Yerko Sánchez.

Profesor Informante: Patricio Cea.

CONCEPCIÓN, OCTUBRE 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiar mi camino, quien me entrego toda la fortaleza y confianza necesaria para superar los momentos de debilidad.

A mis padres, quienes me apoyaron en todo este camino, por sus consejos y enseñanzas, quiero que sepan que siempre estaré enormemente agradecida por su apoyo incondicional y paciencia, los amo.

A mis hermanas, que a pesar de la distancia, siempre estuvieron conmigo dando una palabra de aliento cuando lo necesite.

A Rigoberto, por estar siempre presente con su amor y paciencia en los buenos y malos momentos, siendo además de mi pareja, mi amigo y compañero. Gracias por tu confianza y amor infinito.

A mi profesor guía Yerko Sánchez, por todo el conocimiento y ayuda transmitida en el desarrollo de este proyecto hasta la etapa final.

A mi profesor Patricio Cea, quien fue mi guía durante toda la etapa universitaria.

Finalmente agradezco a mis amigas quienes estuvieron en los momentos necesarios para hacer más linda esta experiencia y por todo el apoyo entregado durante todo este proceso.

RESUMEN

En el presente proyecto se analizó el flujo de las bobinas de papel en el área de Bodega de Productos Terminados (BPT) de Forestal y Papelera Concepción S.A (FPC), para realizar propuestas que apunten al mejoramiento en todas aquellas actividades que ahí se realizan.

Con medición de tiempos e identificación de los recursos utilizados, se describió el proceso logístico que se realiza en el área de BPT y se estableció un modelo conceptual de operación, determinando cada detalle encontrado en el sistema, utilizando como metodología los 7 pasos propuestos por *Law & Kelton*, para luego lograr desarrollarlo con el programa de simulación *Simio* versión 8. Se evaluaron tres alternativas de solución al problema de despacho de bobinas, correspondiendo la alternativa 1 en aumentar la cantidad de horas para realizar los despachos, la alternativa 2 aumentar la cantidad de personal que realiza el control de calidad del producto y la alternativa 3 propone habilitar un segundo anden de carga de camión.

Los resultados obtenidos en el simulador y el análisis de comparación de alternativas, identificaron a la alternativa 3 como la que logra un mejoramiento en el flujo de despacho de bobinas, dando que, la habilitación de un segundo andén para dicho proceso aumentaría en un 4% la eficiencia en dicho proceso.

SUMMARY

The present project has analyzed the flow of paper rolls in the finished products storage area (BPT) Forest and Paper Concepción S.A (FPC) to make proposals intended to improving in all those activities that take place there.

With time measurement and identification of used resources, was described the logistic process that will be realised in the BPT area and is established a conceptual operation model, determining every detail found in the system, using the 7 steps proposed by Law & Kelton like methodology, then was development with the simulation program *Simio version 8*. Three alternative solutions were evaluated for the shipping off of the paper rolls. The first was increase the amount of time for dispatch, the second alternative was increase the number of employees performing quality control of the product and the third and last one, proposes enable a second loading platform for trucks.

The results obtained in the simulator and comparison analysis of alternatives identified alternative 3 as that accomplish an improvement in the flow clearance of paper rolls, because enabling a second platform for this process would increase by 4% efficiency in the process.

GLOSARIO

1. *Layout*: Esquema de distribución de elementos dentro de un diseño físico o virtual.
2. *Picking*: Extraer artículos del almacenamiento conforme a una lista para generar un pedido.
3. *Encarpe*: Acción de disponer una carpa por sobre la carga de un camión para asegurar la mercancía.
4. *Almacenamiento*: Lugar donde se reúnen, guarda y registran especies, generalmente mercancías.
5. *Slotting*: Forma en cómo se ubican estratégicamente los productos con el fin de optimizar la eficiencia del manejo de materiales.
6. *Bobina*: Rollo de papel continuo.
7. *BPT*: Bodega de productos terminados.
8. *FPC*: Forestal y Papelera Concepción.

ÍNDICE.

<i>Agradecimientos</i>	<i>i</i>
RESUMEN	<i>ii</i>
<i>Summary</i>	<i>iii</i>
<i>Glosario</i>	<i>iv</i>
CAPITULO N°1: ANTECEDENTES GENERALES	1
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	2
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	2
OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
METODOLOGÍA	3
Etapa N°1: Planteamiento del Problema	5
Etapa N°2: Modelo Conceptual	5
Etapa N°3: Validación del Modelo Conceptual	5
Etapa N°4: Construcción del Modelo	5
Etapa N°5: Verificación y Validación del Modelo Computacional	6
Etapa N°6: Diseño de Alternativas	6
Etapa N°7: Análisis, Resultados y Discusión de Alternativas	6
CAPITULO N°2: MARCO TEÓRICO	7
Descripción del Marco Teórico	7
Sistema	7
Clasificación de los sistemas	7
Modelos	8
Tipos de Modelos	8
Simulación	8
Tipos de Simulación	9
Elementos de un modelo de simulación	10
Ventajas y Desventajas de la Simulación.	11

Errores típicos de la Simulación _____	12
Áreas de aplicación de la simulación _____	12
Cuándo utilizar la simulación _____	13
Análisis Estadístico _____	14
Prueba de Bondad de Ajuste _____	15
Tipos de Pruebas de Bondad _____	15
Comparación de Alternativas. _____	17
Forestal y Papelera Concepción S.A. _____	20
<i>CAPITULO N°3: DESARROLLO DE LA METODOLOGIA _____</i>	23
2.1 Etapa N°1: Planteamiento del Problema _____	23
2.1.1 Descripción del Sistema a Simular _____	23
2.2 Etapa N°2: Modelo Conceptual _____	24
2.2.1 Descripción de los procesos y Diagramas de Actividad _____	24
2.2.2 Definición de Entidad y Medidas de desempeño _____	27
2.2.3 Eventos Gatilladores _____	30
2.2.5 Análisis de datos de entrada _____	33
2.3 Etapa N°3: Validación del Modelo Conceptual _____	34
2.3.1 Definir si el modelo conceptual responde a los objetivos del estudio. _____	34
2.4 Etapa N°4: Construcción del Modelo _____	35
2.4.1 Layout del Sistema _____	35
2.4.2 Construcción del Modelo Computacional _____	35
Etapa N°5: Verificación y Validación del modelo computacional _____	36
2.5.1 Validación estadística del modelo computacional. _____	36
2.6 Etapa N°6: Propuesta de mejora al sistema _____	39
2.6.2 Alternativa 1 _____	39
2.6.3 Alternativa 2 _____	39
2.6.4 Alternativa 3 _____	40
2.7 Etapa N°7: Análisis, Resultados y discusión de alternativas _____	40
2.7.1 Comparación de alternativas _____	40
2.7.2 Elección del mejor escenario. _____	44
<i>Conclusión _____</i>	45
<i>Comentario y sugerencias. _____</i>	46
<i>Bibliografía _____</i>	48
<i>Anexo N°1 _____</i>	49
<i>Anexo N°2 _____</i>	56

Anexo N°3 _____ **60**

Anexo n°4 _____ **64**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y Desventajas. _____	11
Tabla 2: Porcentaje de diámetros de bobinas fabricados durante el año 2014 y 2015. _____	28
Tabla 3: Porcentaje de bobinas reparadas. _____	29
Tabla 4: Resumen de distribución de probabilidad por movimientos para realizar el despacho de bobinas. _____	32
Tabla 5: Promedio de bobinas que entran a bodega durante un día. _____	33
Tabla 6: Resultados obtenidos del Simulador. _____	36
Tabla 7: Resultados para las doce replicas realizadas para cada una de los escenarios propuestos. _____	40
Tabla 8: Resultados para las doce replicas realizadas para cada uno de los escenarios. _____	42
Tabla 9: Diferencia de medias entre pares de todos los escenarios. _____	43
Tabla 10: Conclusión del análisis de los intervalos de confianza. _____	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fachada Bodega de Productos Terminados FPC S.A. _____	20
Figura 2: Interior de Bodega de Productos Terminados de FPC S.A. _____	21
Figura 3: Grúa Clamp _____	22
Figura 4: Camiones _____	22
Figura 5: Entidad, Bobina de papel _____	27
Figura 6: <i>Layout</i> de Bodega. _____	35
Figura 7: Flujo de proceso de despacho en FPC en <i>software</i> de Simulación Simio. _____	36

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1: Metodología _____	4
Diagrama 2: Modelo de decisión. _____	13
Diagrama 3: Proceso de despacho de Bodega de FPC S.A _____	25
Diagrama 4: Flujo de camión dentro de FPC S.A _____	26

CAPITULO N°1: ANTECEDENTES GENERALES

INTRODUCCIÓN

Las Bodegas durante muchos años se vieron como el área menos importante dentro de la cadena de suministro, sin embargo hoy se puede decir que conforman un factor de triunfo para una positiva cadena de abastecimiento y distribución de aquellas organizaciones que crecen en ventas.

Las bodegas son aquel lugar donde se disponen los diferentes tipos de materiales o productos, en donde tienen como función controlar y mantener físicamente todos los materiales en inventario, diseñadas según la utilidad que se le dará, en las cuales es primordial mantener los materiales o insumos en las cantidades necesarias, un ambiente seguro y apropiado, todo esto al mínimo costo.

La Bodega de Forestal y Papelera Concepción contribuye a la confiabilidad y eficiencia operativa para sus clientes, representando una de las áreas más importantes dentro de su cadena de suministro, no solamente por las inversiones que representa tener inventario disponible, sino que también permite disminuir los tiempos de respuesta según la solicitud del cliente, sin dejar de lado la seguridad dentro de sus instalaciones.

En la actualidad las proyecciones de venta en los actuales y futuros clientes, así también como las exigencias solicitadas por estos mismos requieren estándares de calidad, y para lograr un crecimiento dentro de la organización, es necesario realizar una búsqueda de alternativas que apunten a solucionar aquellos puntos críticos que le restan competitividad a la industria papelera de la región.

FPC S.A enfocada a realizar un mejoramiento de sus procesos, se plantea el presente estudio como una Propuesta de alternativas para mejorar los procesos de Bodega de Productos Terminados, para lo cual se utilizó la simulación discreta como herramienta de análisis, la cual permite mediante un modelo computacional imitar la situación real en la que hoy opera la bodega de productos terminados de la empresa, y con ello identificar aquellos factores que inciden en el flujo de despacho de las bobinas.

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto nace a solicitud de Gerencia de Forestal y Papelera Concepción S.A, ya que se han podido detectar algunas falencias en bodega de productos terminados, específicamente en el flujo de proceso de despacho del papel fabricado. Lo cual provoca costos adicionales en los procesos que se realizan en dicha área. Para entender lo que está pasando, es necesario realizar un análisis de las tareas que se hacen actualmente, y con éste poder realizar sugerencias que impliquen una mejora en dicho proceso.

Todas aquellas sugerencias que se realicen en esta investigación funcionaran como una herramienta que la empresa podrá utilizar para lograr mejorar y alcanzar las metas esperadas.

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Se pretende analizar la situación actual que muestra el flujo de bobinas de papel al interior de Bodega de productos terminados de FPC S.A. Lo que indicará el funcionamiento del área y con ello visualizar el comportamiento general, para luego comparar con resultados que se obtendrán de las variables de desempeño de la simulación del sistema a experimentar. Estableciendo medidas que permitan corregir el flujo de bobinas al interior de BPT.

Se utilizó un modelo de simulación de eventos discretos debido a la aleatoriedad del sistema a estudiar, puesto que BPT recibe los pedidos diariamente, según lo que el cliente necesite, esto implica que la demanda no sea fija ni constante.

Para el desarrollo del presente estudio se utilizará el *Software Simio* versión 8, ya que se cuenta con una licencia *full* para el desarrollo del proyecto y entrega todas las herramientas para imitar el modelo real de BPT.

Los datos recolectados diariamente corresponden a dos meses de observaciones en las dependencias de FPC S.A durante el año 2016, adicionalmente la empresa otorgó toda aquella información que se necesitó para desarrollar el modelo de la manera más eficiente.

OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer alternativas de mejora al proceso de bodega de productos terminados de Forestal y Papelera Concepción S.A.

Objetivos Específicos

- Describir el flujo de bobinas al interior de bodega de productos terminados.
- Desarrollar un modelo de simulación discreta del flujo de bobinas en el proceso de despacho para estudiar los flujos y analizar medidas de desempeño actuales.
- Analizar factores críticos que impiden la eficiencia del flujo correcto de bobinas.
- Proponer alternativas de mejora del flujo de bobinas para ser despachadas.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio de simulación discreta se decidió utilizar la metodología propuesta por Law & Kelton (2007), dado que, no sólo permite representar la situación actual, sino que además permite identificar factores críticos, modificarlos en el computador encontrando mejores escenarios que pueden implementarse en la realidad, sin necesidad de intervenir el sistema real, además de realizar predicciones de acerca al comportamiento del sistema.

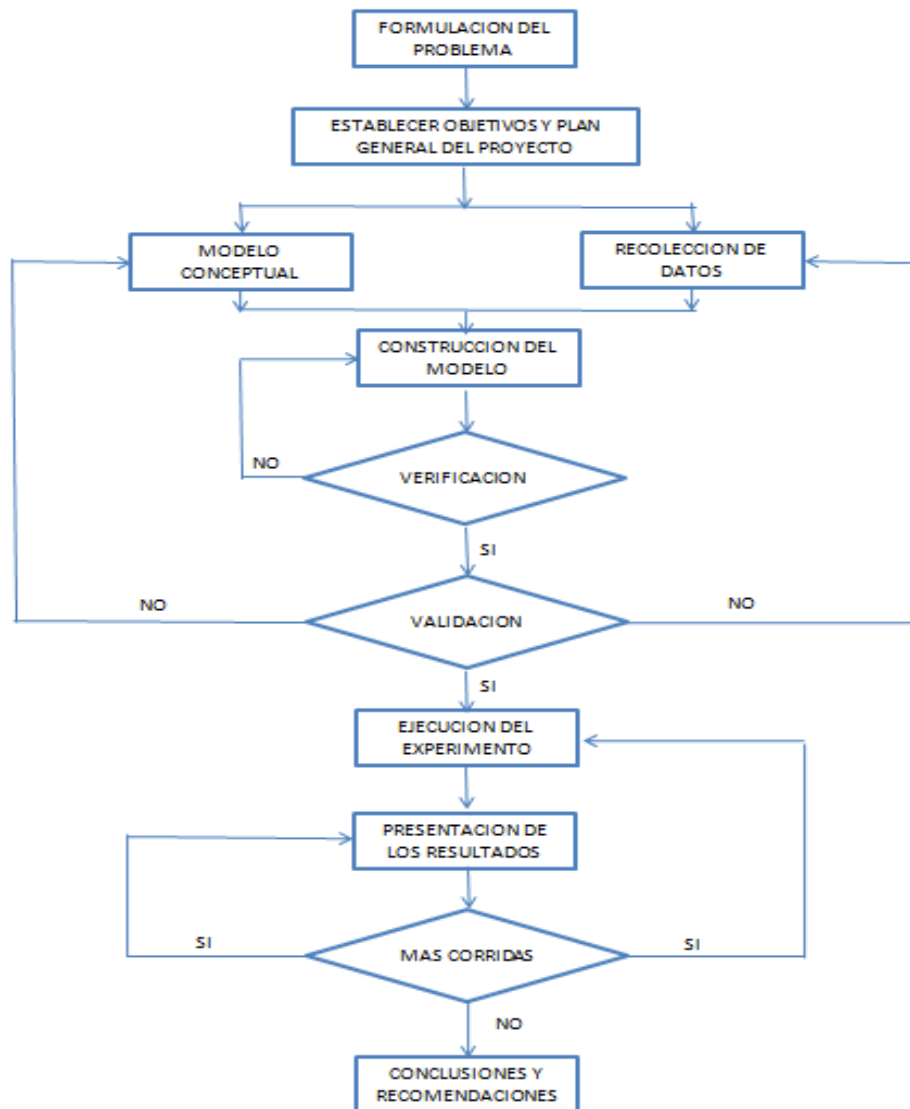
Para realizar el estudio mediante la metodología señalada anteriormente se siguieron los siguientes pasos:

1. Formulación del problema
2. Establecer los objetivos y el plan general del proyecto
3. Conceptualización del modelo
4. Recolección de datos
5. Desarrollar el modelo de simulación
6. Verificar el modelo de simulación
7. Validar el modelo
8. Diseño experimental, realizar diferentes alternativas

9. Análisis de salidas

10. Conclusiones y recomendaciones

Diagrama 1: Metodología



Fuente: Elaboración Propia, basada en la propuesta de Law & Kelton (2007)

Para desarrollar de manera más eficiente el estudio, se decidió trabajar con 7 etapas:

Etapas N°1: Planteamiento del Problema

En donde se realizó una descripción del sistema a simular y de esta manera identificar aquellos problemas que necesitan ser mejorados, obteniendo con esto el objetivo general y objetivos específicos del estudio.

Etapas N°2: Modelo Conceptual

Para esta etapa fue necesario recolectar toda aquella información que permitiera identificar la estructura del sistema y los procedimientos operacionales, además para especificar los parámetros y las distribuciones de probabilidad del modelo.

Una vez recolectada la información se determinó cual sería la entidad, la medida de desempeño a evaluar, los eventos gatilladores del problema y con esto poder tomar los datos necesarios y ajustarlos a una probabilidad.

Etapas N°3: Validación del Modelo Conceptual

Una de las etapas más importantes es realizar la validación del modelo, puesto que todas aquellas personas que entienden el problema a evaluar realizaron un reconocimiento del modelo conceptual, inspeccionando todas aquellas problemáticas u omisiones dentro de lo propuesto.

Etapas N°4: Construcción del Modelo

Para construir el modelo, en primera instancia se decidió el *software* a utilizar, ya que existe una amplia gama de paquetes de simulación como, *Arena*, *Promodel*, *Flexsim* y *Simio*. Para esta etapa fue necesario identificar el *layout* del sistema, para luego comenzar

la configuración y programación computacional de los datos obtenido, imitando el proceso más cercano al real.

Etapa N°5: Verificación y Validación del Modelo Computacional

La validación es el proceso que indica cuan exacto es modelo construido y lograr sacar conclusiones basado en todas las evidencias que se logren representar. Toda la recolección de datos realizada será la evidencia más verídica para que la construcción del modelo represente el sistema real.

En primera instancia se deben comparar los indicadores de desempeño generados por el modelo según todos los datos recopilados desde el sistema existente.

Por otro lado, es necesario realizar un análisis de sensibilidad en el modelo programado e identificar aquellos factores que tienen mayor impacto en la medida de desempeño, para tener mayor atención en su modelación.

Etapa N°6: Diseño de Alternativas

Se debe considerar configurar diferentes alternativas que permitan realizar un mejor estudio del sistema, para lograr definir si existen variables que se puedan mejorar dentro del proceso original y obtener aquella alternativa que consiga cumplir con todos o la gran mayoría de los objetivos propuestos.

Etapa N°7: Análisis, Resultados y Discusión de Alternativas

Para esta última etapa es necesario documentar el modelo conceptual junto con la descripción detallada del programa de simulación, los resultados obtenido y las conclusiones del estudio, además de considerar todas aquellas alternativas que se consideraron para poder definir la alternativa más factible para solucionar el problema estudiado.

CAPITULO N°2: MARCO TEÓRICO

Descripción del Marco Teórico

Hace algunos años atrás la simulación era tratada como la metodología de último recurso, sin embargo, hoy es catalogada como una de las tecnologías más importantes a nivel mundial, ya que gracias a esta práctica se pueden realizar observaciones de las operaciones o procesos industriales, lo cual permite representar procesos de una manera más simple y en consecuencia más fácil de entender.

Para los países desarrollados la Simulación se ha convertido en la herramienta más utilizada, dado que les permite tomar decisiones, en lo que comprende al manejo de las empresas, la planeación de la producción, básicamente se puede utilizar en toda la cadena de suministro de una empresa que desee analizar sus procedimientos sin incurrir en altos costos de inversión e intervención de sus procesos productivos y logísticos diarios, razón por la cual comenzar a utilizarla hoy es una ventaja para cualquier organización.

Para desarrollar el presente proyecto de simulación fue necesario entender algunos conceptos para seguir el Modelo de decisión (diagrama N°2) para desarrollarlo, entre ellos:

Sistema

Según lo señalado por Bertalanffy (1971) “un sistema se define como, cualquier cosa compuesta por partes o elementos que se relacionan e interactúan entre sí”. Mientras tanto para un ingeniero industrial y/o logístico, un sistema es el conjunto de máquinas, trabajadores y procesos que interactúan para producir un producto o entregar un servicio.

Clasificación de los sistemas

- **Sistemas cerrados**, no se relaciona con el medio externo.
- **Sistemas abiertos**, se relaciona con el medio y éste influye en él.
- **Sistemas continuos**, los estados no cambian continuamente sobre el tiempo.
- **Sistemas discretos**, el estado de la variable cambia solo en un conjunto discreto de los puntos en el proceso.

- **Sistemas Determinísticos**, donde la actividad se describe totalmente y el resultado obedece de sus entradas.
- **Sistemas estocásticos**, las actividades varían aleatoriamente en distintas salidas.

Modelos

Un modelo se define como la representación o la abstracción en algún grado de un objeto o sistema real, además cuando se simula se convierten en el escenario mínimo a desarrollar sustentablemente, al disminuir el riesgo, adelantarse a la competencia, pero sobretodo se expone maximizar los recursos con un cliente satisfecho en los niveles de calidad y servicio. (Centeno, Méndez Giraldo, Beasler Abufarde, & Álvarez Pomar, 2015).

Tipos de Modelos

- **Modelos físicos o análogos**, son aquellos que se pueden programar en diferentes prototipos, los cuales permiten imitar el comportamiento real del proceso logrando estudiar, generando cambios que permitan comparar y mejorar el sistema.
- **Modelos matemáticos**, son todos aquellos modelos científicos un poco más fáciles de evaluar, generando con algunos cálculos matemáticos, variables, parámetros, entre otros se pueden tomar decisiones eficientes para el sistema.

Simulación

“Simulación es el proceso de diseñar el modelo de un sistema real y experimentar con tal modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema a través del tiempo, o bien de evaluar diversas alternativas de operación del sistema”. (Shannon, 1988)

Para realizar un estudio de simulación exitoso, es necesario comprender muy bien lo que se quiere simular y las respuestas que se quieren obtener de tal modelo y para ello se deben realizar aproximaciones y suposiciones que se logren un modelo representativo y creíble o lo más cercano a la realidad

Por otra parte, la simulación permite estudiar diferentes escenarios de una manera más rápida y buscar posibles soluciones del sistema que se esté estudiando.

Tipos de Simulación

Según lo descrito por Kelton, Smith, & Sturroc (2012), se pudo identificar diferentes tipos de modelos de simulación, entre ellos:

Modelos Estáticos

Un modelo de simulación estático es uno en los cuales el tiempo no juega un papel significativo en la operación y ejecución del modelo. Aun cuando pueda existir alguna noción del tiempo en el modelo, este sigue siendo estático, por ejemplo los inventarios de un solo periodo.

Modelos Dinámicos

En un modelo de simulación dinámico el tiempo es parte esencial para la estructura y operación del modelo, ya que es imposible ejecutar el modelo sin representar el transcurso del tiempo simulado. Las simulaciones de sistemas de espera en su gran mayoría son dinámicos, ya que debe representarse el tiempo transcurrido para permitir la ocurrencia de ciertos eventos como la llegada de entidades. Un modelo de la cadena de suministro la transportación y logística es un modelo dinámico típico, ya que se debe representar la llegada, movimientos y salidas de las órdenes sobre el tiempo.

Modelos Determinísticos

Un modelo de simulación es determinístico cuando todos los valores de entrada que representan el modelo son constantes, esto significa que son fijas, no aleatorias. En este tipo de simulación se obtendrán los mismos resultados en las corridas repetidas del modelo, al menos que se concluya cambiar alguna constante de entrada.

Elementos de un modelo de simulación

a. Entidades

Representan elementos reales del sistema; tales como personas, materias primas, vehículos, documentos, productos de toda variedad.

b. Atributos

Los atributos son aquellas marcas con las cuales permiten diferenciar las entidades unas con otras.

c. Variables globales

Una variable es un pedazo de información que define el estado del sistema, además son independientes de las entidades pero si pueden ser modificados por éstas, como el número de clientes dentro del sistema, el tamaño de la cola, entre otras.

d. Recursos

Un recurso puede ser un operario o maquina dependiendo de la situación. Un recurso también puede tener detenciones o tiempos fuera.

e. Colas

La cola es un lugar en donde las entidades esperan por un recurso que está ocupado con otra entidad, ejemplo de estos son las bodegas, inventarios en proceso, entre otras.

f. Acumuladores estadísticos

Los acumuladores son aquellas variables llevan registros de medidas de realidad del sistema.

g. Eventos

Un evento es un hecho que ocurre en un intervalo de tiempo de simulación y cambia el estado del sistema. El evento es capaz de cambiar, atributos, variables o acumuladores estadísticos.

h. Reloj de simulación

El reloj corresponde al tiempo de la simulación es mantenido en una variable, además el tiempo avanza de evento en evento, dado esto no es necesario desperdiciar tiempo real.

Ventajas y Desventajas de la Simulación.

La utilización de cualquier metodología trae consigo puntos a favor y también aquellos que no lo son tanto, y en la simulación se identificaron algunos puntos, que se muestran en la Tabla N°, los que ayudaran a decidir el uso de esta metodología. (Law & Kelton, Simulation modeling and analysis, 2000)

Tabla 1: Ventajas y Desventajas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Más efectivo en tiempo	<ul style="list-style-type: none">• Puede llegar a ser costoso.
<ul style="list-style-type: none">• Permite manejar parámetros del proceso	<ul style="list-style-type: none">• Puede demandar mucho tiempo.
<ul style="list-style-type: none">• No interrumpe el mundo real	<ul style="list-style-type: none">• Requiere por lo general una gran cantidad de datos de entrada.
<ul style="list-style-type: none">• Permite experimentar a prioridad	<ul style="list-style-type: none">• No se tiene garantía absoluta de los resultados.
<ul style="list-style-type: none">• Permite analizar diferentes escenarios	<ul style="list-style-type: none">• Difícil determinar a prioridad la confiabilidad de los resultados.
<ul style="list-style-type: none">• Permite chequear supuestos	<ul style="list-style-type: none">• Resultados están sujetos a la calidad del modelo y la información.
<ul style="list-style-type: none">• No requiere que el proceso exista en la realidad	<ul style="list-style-type: none">• Complejidad del proceso puede limitar la validez de los resultados (supuestos, pocos datos).
<ul style="list-style-type: none">• Más práctico en casos de soluciones analíticas complejas	<ul style="list-style-type: none">• Requiere cierto nivel de aprendizaje.

Errores típicos de la Simulación

De acuerdo a lo que plantea Law & Kelton (2000), los errores más típicos en la simulación son:

1. Falta de objetivos bien definidos al comienzo del estudio.
2. Falta de conocimiento sobre lo que es la simulación por los administradores.
3. No comunicarse en forma periódica con los administradores.
4. Considerar que un estudio de simulación es igual a una programación
5. Falta de conocimiento de la metodología de simulación, investigación de operaciones, estadísticas y probabilidades.
6. Falla en obtener buenos datos del sistema.
7. Mal uso de animación.
8. No realizar un adecuado análisis del *output* de la simulación.

Áreas de aplicación de la simulación

La Simulación es un herramienta que puede ser aplicada a una gran cantidad de áreas, todo esto debido al gran avance tecnológico y de los diferentes *software* que existen actualmente, entre algunas áreas de estudio podemos encontrar:

- Sistemas de colas
- Proyectos de Inversión
- Estados Financieros
- Sistemas de Inventarios
- Sistemas Justo a Tiempo
- Sistemas Logísticos

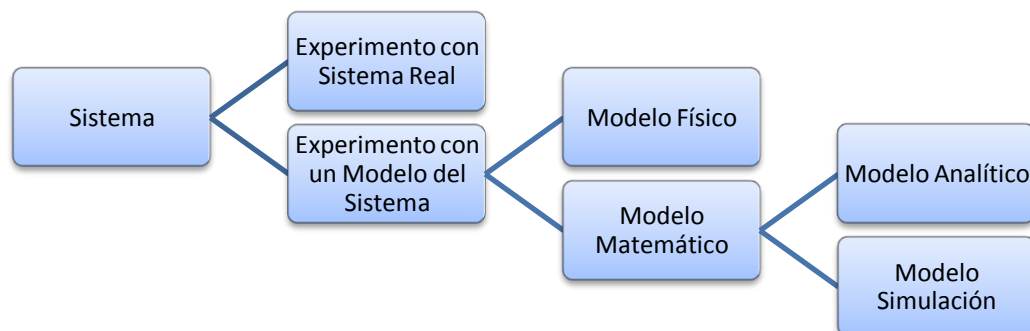
- Problemas Sociales
- Manufactura
- Cadena de suministro
- Telecomunicaciones
- Servicio al cliente

Cuándo utilizar la simulación

Según lo descrito por Law & Kelton (2000), la utilización de la Simulación no es apropiada para todos los casos, como en los siguientes:

1. El sistema a estudiar se pueda desarrollar con modelos analíticos, por su baja complejidad.
2. No existan factores que incidan en el desempeño del sistema.
3. Existen otras maneras de experimentar
4. No sea necesaria la visualización a través de animaciones del comportamiento del sistema.
5. Los costos son mayores al beneficio esperado.
6. No se dispone del tiempo necesario para realizar el proyecto.

Diagrama 2: Modelo de decisión.



Fuente: Elaboración propia, basado en Law, Simulation Modeling and Analysis (2007).

Análisis Estadístico

El análisis estadístico de los datos de entrada busca principalmente determinar la forma de representar el comportamiento de los datos de entrada, que al mismo tiempo logra representar el comportamiento del sistema a estudiar. (Centeno, Méndez Giraldo, Beasler Abufarde, & Álvarez Pomar, 2015)

La estadística paramétrica es la más recomendada para determinar el comportamiento de los datos, para ello es fundamental la colección de datos y no hacer supuesto del comportamiento del sistema.

Para realizar una correcta colección de datos es necesario comenzar tomando una muestra para encontrar los parámetros el modelo, dando énfasis en encontrar las familias de curvas de distribución de probabilidad.

El cálculo de muestras se determino de la siguiente manera:

$$n = \left[\frac{t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} * S(n)}{\varepsilon} \right]^2$$

n = N° de datos del muestreo necesario para obtener un nivel de veracidad o precision deseado.

S_n : Desviación estandar en “ n ” datos de una muestra inicial.

ε = error relativo respecto al sistema real.

$t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$ = valor *critico* de una distribución *t- student*.

Los valores utilizados para el valor del t-studen son 0,95% y el valor asociado al error es de un 10% de acuerdo a lo propuesto por Law & Kelton (2000).

Los datos recolectados para realizar un estudio deber ser convertidos para que sean útiles en un modelo de simulación, esto significa ajustar los datos a alguna distribución de probabilidad que permita determinar de mejor manera el comportamiento del modelo. Para esto se utilizará el *software Experfit*, el cual permite elegir la mejor función de distribución que mejor se ajusta según las pruebas de bondad.

Prueba de Bondad de Ajuste

Según lo señalado por Centeno, Méndez Giraldo, Beasler Abufarde, & Álvarez Pomar (2015) un test o prueba de bondad, es una hipótesis estadística usada para evaluar formalmente si las observaciones $x_1, x_2 \dots x_n$ son una muestra independiente de una distribución en particular La cual puede ser utilizada para probar la hipótesis nula: Los x_i' son variables aleatorias independientes con distribución $f(x)$. Para estas pruebas el no rechazar H_0 , no se debe interpretar como aceptar H_0 , ya que no son muy sensibles a las leves discrepancias entre los datos y la distribución ajustada.

Tipos de Pruebas de Bondad

- **Prueba Jicuada** (X^2): Para hacer esta prueba se organizan todos los datos en una tabla de frecuencias (FO_i). A demás el analista debe proponer una distribución de probabilidad que pueda representar el comportamiento de los datos, obteniendo esta distribución, se debe calcular la frecuencia esperada (FE_i) para cada uno de los i (intervalos de la tabla de frecuencia). Luego de deducir el número esperado de datos, se multiplica la frecuencia esperada por el número total de los datos, calculado el estadístico de la siguiente manera:

$$X^2 = \sum_i^k \frac{(FE_i - FO_i)^2}{FE_i}$$

k: número de parámetros de la distribución propuesta.

i: intervalos de la tabla de frecuencia

FE: frecuencia esperada.

FO: frecuencia según tabla.

Entonces, si el valor de X^2 , es menor al valor correspondiente de la tabla X^2 con un nivel de significancia α y con $m - k - 1$ grados de libertad, entonces no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen la distribución $f(x)$.

- **Prueba Kolmogorov Smirnov:** Se deben organizar todos los datos en una tabla de frecuencia (FO_i), y se propone, al igual que la prueba X^2 , una distribución de probabilidad que pueda representar el comportamiento de los datos. Luego es necesario calcular la frecuencia esperada para cada uno de los datos (FE_i), mediante la probabilidad propuesta y se acumula (FA_i). En seguida, con base en la frecuencia observada, se debe calcular la frecuencia relativa (FR_i) y la frecuencia relativa acumulada (FRA_i).

Luego es necesario calcular la diferencia máxima del valor absoluto D' , entre las FRA , y las FA , y se compara con el valor correspondiente de la tabla D con el número total de datos n y un nivel de confiabilidad $1 - \alpha$.

Si el valor D' es menor que el D de la tabla, no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los datos siguen la distribución propuesta.

OBS: como en esta prueba se trabaja con la probabilidad acumulada, es más eficiente que la prueba X^2 .

- **Prueba Anderson Darling:** Esta prueba es una modificación de la *Kolmogorov Smirnov*, que proporciona mayor peso mientras hay una diferencia. Además posee una mayor potencia. Mientras que en la prueba antes mencionada los valores críticos no dependen de la distribución hipotética, en *Anderson Darling*, sucede lo contrario, ya que se hace uso de la distribución especificada para calcular los valores críticos. Ante lo anteriormente mencionado tiene la ventaja de proporcionar mayor sensibilidad, pero conlleva la desventaja de calcular los valores críticos para cada distribución, para lo cual se debe calcular $A_n^2 = -n - s$, donde:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{(2_i - 1)}{n} [\ln F(y_i) + \ln(1 - F(y_{n+1-i}))]$$

F= función de distribución acumulada teórica.

y_i , son valores de las X'_i s en orden creciente.

Entonces, si el valor A_n^2 es menor que el valor crítico $\alpha_{n,1-\alpha}$, no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula que los datos se comportan como la distribución escogida.

Comparación de Alternativas.

Según lo descrito en Law & Kelton (1991), las comparaciones se basan en una o más variables de decisión, como la capacidad de amortiguación, horario de trabajo, disponibilidad de los recursos, entre otras. Al realizar comparaciones de diferentes alternativas, es necesario realizar un análisis cuidadoso para asegurar que las diferencias de una con la otra se puedan atribuir a las diferencias reales en el rendimiento y no a la variación estadística, por eso realizar múltiples repeticiones es más útil para el estudio.

Técnicas de comparación:

- **Prueba t para datos pareados:** Esta técnica permite comparar las medias de dos muestras, sólo cuando el número de observaciones es la misma en los dos casos. Además de ser en simulación la situación tradicional, dado que habitualmente se realizan n réplicas de cada escenario, generando la misma cantidad de observaciones.

Este proceso genera independencia entre los datos recolectados para cada población y además provoca cierto grado de normalidad gracias al teorema del límite central, el cual propone que la población formada por los promedios de muestras superiores a 30 datos se comporta normalmente.

El cálculo para determinar el intervalo de confianza para las diferencias, se realiza de la siguiente manera:

$$\bar{X} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S(x)}{\sqrt{n}}$$

\bar{X} = Diferencia promedio.

S_n : Desviación estandar de "n".

$t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$ = valor crítico de una distribución *t-student*.

- **Test de Welch para comparación de medias:** Con esta técnica al igual que la anterior, permite comparar medias de dos sistemas, pero con tamaño de muestras diferentes para cada población. Otra diferencia con la tecnica de datos pareados es que para aplicar el test de Welch, es necesario que exista independencia entre ambas poblaciones.

Esta técnica igualmente construye intervalos de confianza para la diferencia de medias, sin embargo la fórmula aplicada es:

$$\bar{X}_1(n_1) - \bar{X}_2(n_2) \pm t_{f, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S_1^2(n_1)}{n_1} + \frac{S_2^2(n_2)}{n_2}}$$

Donde:

n_1 : número de réplicas disponibles para el escenario 1.

n_2 : número de réplicas disponibles para el escenario 2.

$\bar{X}_1(n_1)$: media del escenario 1, calculada a partir de la muestra de tamaño n_1 .

$\bar{X}_2(n_2)$: media del escenario 2, calculada a partir de la muestra de tamaño n_2 .

$S_1^2(n_1)$: varianza de la muestra n_1 .

$S_2^2(n_2)$: varianza de la muestra n_2 .

\hat{f} : grados de libertad de la distribución *t student*, la cual se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\hat{f} = \frac{\left[\frac{S_1^2(n_1)}{n_1} + \frac{S_2^2(n_2)}{n_2} \right]^2}{\frac{\left[\frac{S_1^2(n_1)}{n_1} \right]^2}{n_1 - 1} + \frac{\left[\frac{S_2^2(n_2)}{n_2} \right]^2}{n_2 - 1}}$$

OBS: \hat{f} no necesariamente genera un valor entero, por lo que es necesario realizar una interpolación entre los valores enteros que aparecen en la tabla de distribución *t* (Anexo 6).

- **Comparaciones múltiples:** Esta técnica se aplicará cuando se desee evaluar el comportamiento de varios escenarios, para finalmente seleccionar uno o más de uno de ellos como solución al problema. (Banks, 1998) y (Law, 2007)

Las comparaciones por parejas tienen una forma particular de realizarla en donde el número de intervalos de confianza se obtendrán de la siguiente manera:

$$c = \frac{k(k - 1)}{2}$$

Donde k , representa la cantidad de escenarios que se desean evaluar.

A demás es necesario determinar un nuevo α (α_{global}), para obtener un $\alpha_{Comparación}$, con el cual se evaluarán cada pareja de escenarios otorgándoles la misma significancia, este valor se obtendrá de la siguiente manera:

$$\alpha_{Comparación} = \frac{\alpha_{global}}{\frac{k(k - 1)}{2}}$$

El $\alpha_{Comparación}$ obtenido servirá para obtener el nivel de confianza $(1 - \frac{\alpha_{Comparación}}{2})$ para evaluar cada par de comparación.

Posteriormente se aplica una de las dos pruebas mencionadas anteriormente, dependiendo de la población (test de muestras pareadas o test de Welch).

Forestal y Papelera Concepción S.A.

Hoy la papelera cuenta con 23 clientes de los cuales un 83% corresponden a empresas nacionales y sólo un 17% corresponden a exportaciones. Del total de clientes con los cuales FPC mantiene acuerdos comerciales, las cinco más importantes son: Impresos y Cartonajes S.A (34,3%), Cartones San Fernando SpA.(25,6%), Cartocor Chile S.A (8,6%), International Paper Ltda (8,2%) y Envases Impresos S.A (4,3%) las cuales representan un 81,1% de ventas durante el año 2015.

Para el almacenamiento de las bobinas fabricadas por Forestal y Papelera Concepción se cuenta con una bodega propia dentro de sus instalaciones la cual permite actualmente almacenar un total de 5790 toneladas, utilizando al máximo su capacidad, sin embargo la empresa pretende disminuir la cantidad de toneladas almacenadas a 4.000 Ton.

Figura 1: Fachada Bodega de Productos Terminados FPC S.A.



Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la figura N°1, existe sólo un andén de carga, lo que influye directamente en el flujo de despacho del producto. Ya que, aun cuando la llegada de camiones sea más rápida, estos quedan en cola, esperando a ser cargados.

Figura 2: Interior de Bodega de Productos Terminados de FPC S.A.



Fuente: Elaboración Propia.

Es importante conocer el espacio en donde se almacenan el producto, y si existen las delimitaciones correspondientes a un almacén. Como muestra la figura N°2, existe sólo un pasillo de principal y los espacios no se encuentran delimitados, tanto para el tránsito de personas como de grúas.

Los recursos móviles con los que cuenta FPC para despachar su producto son:

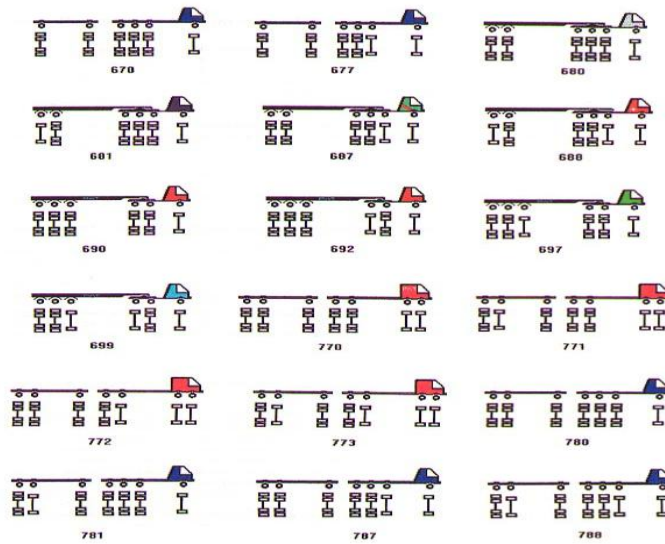
Dos grúas *Clamp* (Figura N°3), encargadas de movilizar el producto dentro de la bodega, y posterior carga a los camiones, las cuales en ocasiones fallan, provocando retraso en la entrada de bobinas a bodega, orden en el almacén, dado que bodega queda funcionando con sólo una de grúa, de realizar el posterior carguío en los camiones. Para hacer llegar el producto a los diferentes clientes se utilizan camiones (Figura N°4), los cuales se cargan con el máximo permitido por las normas carreteras chilenas, las cuales no deben superar los 45.000 kg en las autopistas nacionales.

Figura 3: Grúa Clamp



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4: Camiones



Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO N°3: DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

2.1 Etapa N°1: Planteamiento del Problema

2.1.1 Descripción del Sistema a Simular

El proyecto a simular, consiste principalmente en el análisis del flujo de despacho de las bobinas fabricadas por Forestal y Papelera Concepción, desde la bodega de productos terminados hasta que el camión está completo y listo para ser despachado.

BPT, almacena 12 tipos de papeles diferentes, de los cuales el que cumple el rol protagónico es el papel encolado, para el almacenamiento de dichos productos la empresa dispone de un espacio de 2774 m². Cada bobina de papel que llega a bodega viene asignada al cliente, con su respectiva codificación y especificaciones.

El producto se dispone en BPT, permaneciendo almacenada hasta que el producto sea solicitado por el cliente. El pedido puede tener o no fecha designada de despacho, dejando la posibilidad de que el cliente realice el pedido de papel cuando para él sea necesario.

Cuando el cliente realiza el pedido, el encargado de bodega realiza un listado para realizar el *picking*, seleccionada la bobina se le realiza el control de calidad posicionándolo en el área de acopio, o se carga directamente en el camión, luego se realiza un nuevo listado para verificar el producto que se cargó en el camión para ser pesado, encarpado y finalmente despachado.

Todo el proceso de despacho se realiza durante un tiempo determinado, nueve horas diarias que corresponden al horario del trabajo del personal encargado de realizar dicho proceso.

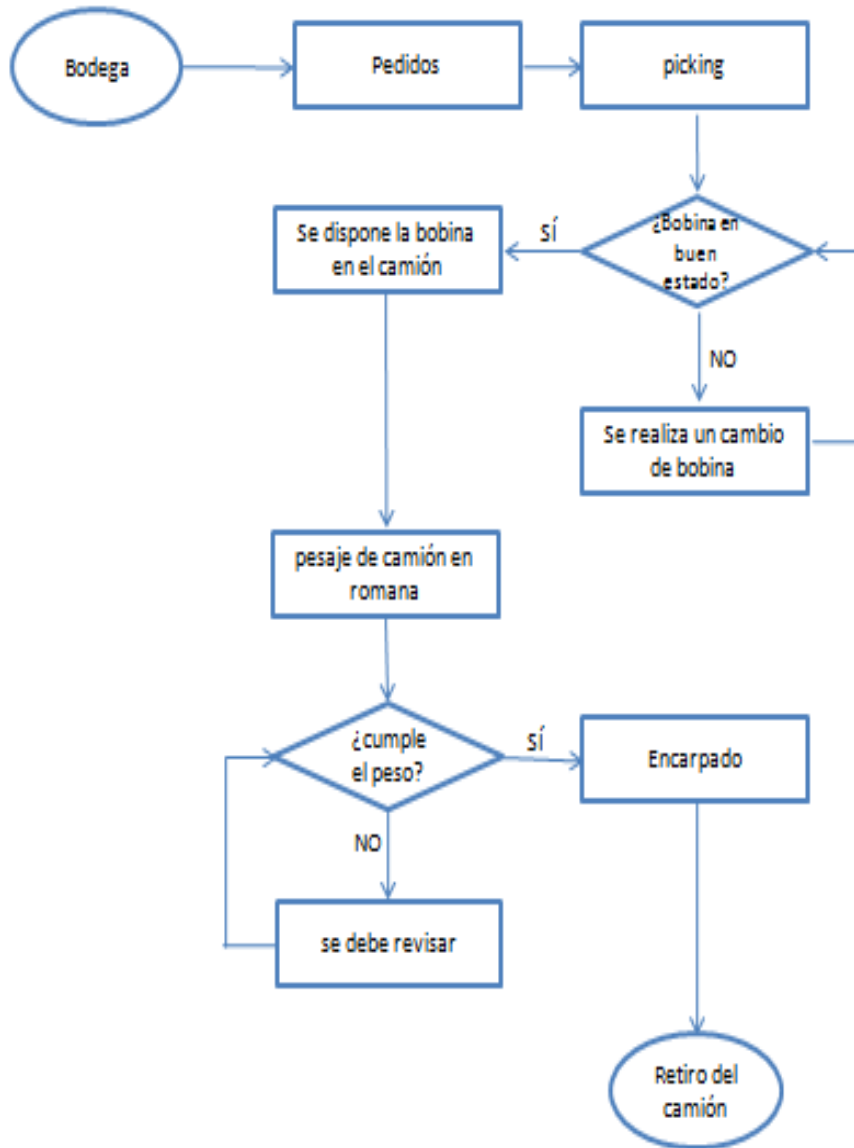
2.2 Etapa N°2: Modelo Conceptual

2.2.1 Descripción de los procesos y Diagramas de Actividad

Descripción del flujo de despacho del producto

El proceso de despacho de bobinas de papel, comienza con la solicitud diaria del cliente de aquellos productos que necesita, dicha solicitud es realizada vía correo electrónico o telefónicamente al personal del área comercial y/o jefe de BPT. El pedido es informado al encargado de bodega, quien se encarga de realizar la selección de los productos que serán despachados, este documento es entregado al personal para realizar la búsqueda y selección de los productos realizándoles previamente un control de calidad para cumplir con los estándares esperados por el cliente y posteriormente posicionarlo en la zona de acopio y/o directamente realizar la carga del camión, luego el camión es pesado en romana, si el camión cumple con el peso determinado por el MOP, se realiza la última verificación del producto cargado, para finalmente ser encarpado, terminando este proceso el camión está listo para retirarse de las instalaciones de FPC S.A.

Diagrama 3: Proceso de despacho de Bodega de FPC S.A

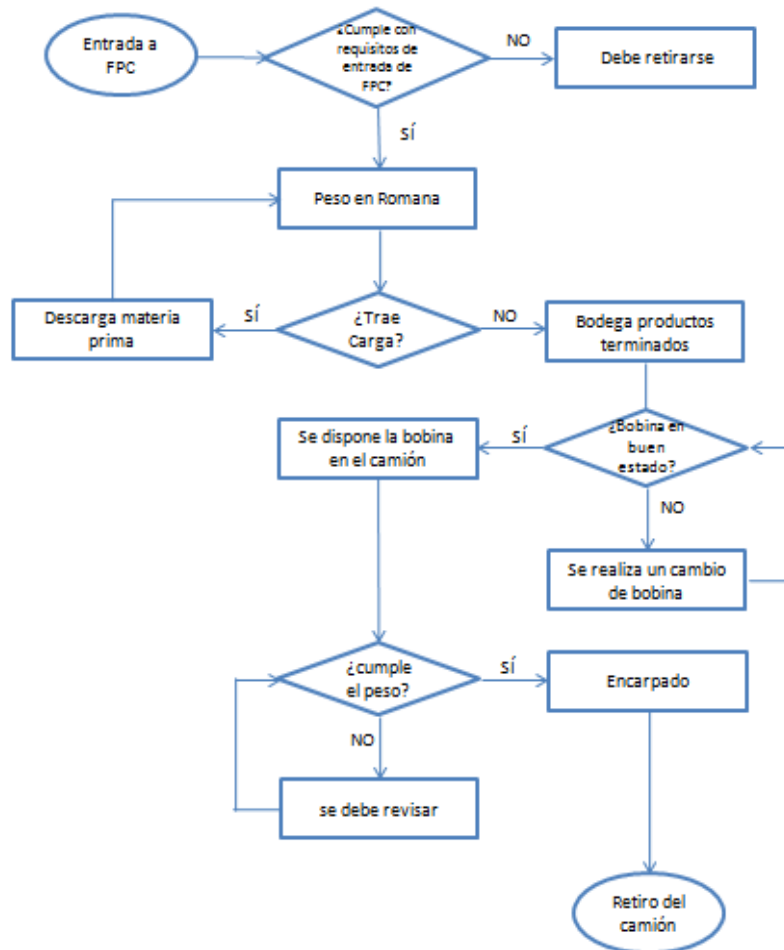


Fuente: Elaboración Propia.

Descripción del flujo del camión

El camión llegando a porteria de la Empresa debe llenar un registro, el cual permitirá o no realizar el ingreso al recinto, en el caso de negarse a entregar la información o de no tener todo lo solicitado por la FPC, éste retirarse del lugar, en caso contrario el camión ingresará pasando directamente a romana para ser pesado, en el caso de traer carga, el camión debe dirigirse a realizar la descarga de la materia prima, en caso contrario pasará directamente a bodega de productos terminados para realizar el proceso de carguio, si cumple con el peso procede a realizar el encarpado para finalmente retirarse de las instalaciones de Forestal y Papelera Concepción S.A.

Diagrama 4: Flujo de camión dentro de FPC S.A



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.2 Definición de Entidad y Medidas de desempeño

Entidad

La entidad que se estudiará serán las bobinas que llegan a bodega para ser almacenadas durante un periodo de tiempo, estas se mueven dependiendo del pedido que realice el cliente realizandole un control de calidad antes de ser cargadas al camión.

Para analizar el flujo de la entidad, se realizarón visitas a la empresa para obtener todos aquellos datos relevantes para el estudio, logrando así determinar las medidas a desempeño a evaluar.

Figura 5: Entidad, Bobina de papel



Fuente: Elaboración Propia.

FPC S.A fabrica bobinas de diferentes diámetros, altura y gramaje para sus clientes, y para la realización de este estudio se utilizaron de la siguiente manera:

Diámetro

Tabla 2: Porcentaje de diámetros de bobinas fabricados durante el año 2014 y 2015.

Año/Diámetro (cm)	120	130	145
2014	2,94%	3,87%	92,52%
2015	4,86%	5,18%	89,88%
Total	3,90%	4,53%	91,20%

Fuente: Elaboración propia, con datos históricos entregados por FPC S.A

La Tabla N°2, deja en evidencia que las bobinas de diámetro 145 cm son las que se fabrican en mayor cantidad y por ende tiene mayor relevancia en la zona de almacenamiento. Para el desarrollo de este proyecto las bobinas de diámetro 120 y 130, serán despreciadas por la poca influencia dentro de la bodega de productos terminados.

Altura

FPC S.A fabrica una gran variedad de bobinas con diferentes alturas, ya que, se producen según la solicitud de cada cliente llegando a un total de 104 alturas diferentes el año 2014 y el año 2015 aumentaron esta suma a 108. Sin embargo para efecto del proyecto se consideraran tres tipos de alturas las cuales son mayores en su fabricación con respecto a las demás, y se denominaran “Bobinas Grandes”, “Bobinas Medianas” y “Bobinas Pequeñas”, y sus medidas serán de 100 cm, 160 cm y 250 cm respectivamente.

Gramaje

El gramaje representa el grosor del papel fabricado, éste al igual que la altura y el diámetro depende de lo que el cliente solicite, sin embargo para la realización del presente estudio esta información no influye en el flujo de despacho de bobinas.

Bobinas Reparadas

Para que las bobinas sean despachadas deben ser reparadas en el caso de no cumplir con las exigencias del cliente, esta operación influye directamente con el flujo del proceso de despacho, por lo cual se realizaron observaciones durante una semana para lograr determinar un porcentaje de bobinas que debían pasar por este proceso.

Obteniendo un 11,63% de bobinas que debieron ser reparadas para lograr ser despachadas, como se muestra en la Tabla N°3.

Tabla 3: Porcentaje de bobinas reparadas.

Día/Bobinas	Despachadas	Reparadas
1	186	18
2	216	12
3	475	47
4	237	29
5	98	35
Total	1212	141
Porcentaje	100%	11,63%

Fuente: Elaboración propia, observaciones una semana.

Medida de desempeño.

- Cantidad de bobinas despachadas mensualmente.

2.2.3 Eventos Gatilladores

Los eventos gatilladores que afectan en el proceso de despacho de los productos son:

- Tiempos
- Localización Bobinas
- Cantidad de grúas
- Calidad del producto

2.2.4 Toma y Ajuste de Datos.

La recolección de los datos del proceso de aquellos hechos utilizables, con el cual estos pueden ser procesados a continuación, para especificar procedimientos de operación y distribución de probabilidad para las variables aleatorias utilizadas en el modelo. Para lo cual fue necesario realizar un muestreo de los datos, dando énfasis en encontrar las familias de curvas de distribución de probabilidades que describieran el proceso del flujo. Para determinar de mejor manera los datos que se debieron obtener, fue necesario identificar de forma acertiva el flujo general del proceso, ya que no solo ayudó a la recolección de datos, si no también a construir el modelo en un menor tiempo, además se hicieron más evidente todos aquellos datos faltantes.

Una vez obtenidos los datos, estos no estuvieron listos para ser utilizados en el sistema de simulación, por lo cual fue necesario realizar una conversión de los datos para que resultaran más ventajosos en los parámetros de entrada de la simulación, esto significó ajustar a alguna distribución de probabilidad que permitiera determinar de manera más acertiva el comportamiento del sistema. Para realizar esto se utilizó el *software Simio* versión 8, el cual permitió elegir función de distribución de probabilidad apropiada para el proyecto.

Para el problema que se analizaron los siguientes datos:

- Promedio de la llegada de camión (Anexo 4).
- Tiempo de reparación de una bobina.
- Promedio de llegada de una bobina a bodega.
- Tiempo en que se dispone la primera bobina en el camión.
- Tiempo desde la zona de acopio a la zona de carga.
- Tiempo desde la zona de almacenamiento a la zona de carga.
- Tiempo desde la zona de almacenamiento a la zona de acopio
- Porcentaje de bobinas de mala calidad
- Tiempo en revisar calidad de la bobina.

Fue necesario tomar como muestra inicial 30 datos cada uno de los tiempos mencionados anteriormente, los cuales fueron validados de la siguiente manera:

$$n = \left[\frac{t_{n-1, \frac{1-\alpha}{2}} * S(n)}{\varepsilon} \right]^2$$

n = N° de datos del muestreo necesario para obtener un nivel de veracidad o precisión deseado.

S_n : Desviación estandar en “ n ” datos de una muestra inicial.

ε = error relativo respecto al sistema real.

$t_{n-1, \frac{1-\alpha}{2}}$ = valor crítico de una distribución *t-student*.

Los valores utilizados para el valor del t-studen son 0,95% y el valor asociado al error es de un 10% de acuerdo a lo propuesto por Law & Kelton (2000). En el Anexo A se muestra el detalle de los cálculos realizados.

Tabla 4: Resumen de distribución de probabilidad por movimientos para realizar el despacho de bobinas.

Movimientos realizados para el despacho de bobinas	Distribución de Probabilidad
traslado de bobinas desde la zona de almacenamiento hasta la zona de acopio	<i>Log-Logistic</i>
<i>Location</i>	0,06246
<i>Scale</i>	0,46876
<i>Shape</i>	2,12472
traslado de bobinas desde la zona de acopio a la zona de carga	<i>Johnson</i>
<i>Lower Endpoint</i>	0,16834
<i>upper endpoint</i>	1,48443
<i>shape#1</i>	0,15914
<i>shape#2</i>	0,58861
traslado de bobinas desde la zona de almacenamiento hasta la zona de carga	<i>Pearson Type</i>
<i>Location</i>	0.0000
<i>Scale</i>	0.63711
<i>Shape</i>	2,37407
Tiempo reparación	<i>Log-Logistic</i>
<i>Location</i>	7,12272
<i>Scale</i>	3,48587
<i>Shape</i>	4,32996
Tiempo revisión	<i>Log-Logistic</i>
<i>Location</i>	0,10228
<i>Scale</i>	0,25167
<i>Shape</i>	2,20094
<i>Shape</i>	3,60681
Disponer la primera bobina sobre el camión	<i>Log-Laplace</i>
<i>Location</i>	0,000000
<i>Scale</i>	8,220000
<i>Shape</i>	3,912210

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5 Análisis de datos de entrada

FPC S.A, fabrica papel durante las 24 horas del día, por lo tanto los datos de entrada al sistema a estudiar corresponden a la llegada de las bobinas desde la fabrica a BPT. Para realizar el análisis de entrada se utilizó una base de datos correspondiente a los ultimos 4 meses del presente año, para lograr determinar el λ del proceso de arribo y conseguir representarlo de la mejor manera. Para lograr establecer si el sistema queda representado como un sistema discreto que resopnde a un proceso de *Poisson* no estacionionario. La condicion de no estacionalidad debe considerar que:

- a) Las bobinas llegan una a la vez
- b) La cantidad de bobinas llega en un tiempo t es independiente del que el periodo $t + s$. O sea que $\{N(t + s) - N(t)\}$ es independiente de $\{N(u), 0 \leq u \leq t\}$ en donde $N(t)$, es el numero de eventos que ocurre hasta el tiempo t . La tasa de arribos $\lambda(t)$ es ahora una funcion del tiempo.

Entonces, si $\{N(t + s) \geq 0\}$ es un proceso *Poisson* no estacionario, por lo tanto se tiene la expresión, $P[N(t + s) - N(t) = k] = \frac{e^{-\lambda(t,s)}[\lambda(t,s)^k]}{k}$, para $k=0,1,2,\dots,n$ y $t,s \geq 0$. Considerando la metodologia *Thinning*. Agrupando en intervalos por hora, según cada día, como se observa en la Tabla N°5 .

Tabla 5: Promedio de bobinas que entran a bodega durante un día.

Intervalo Hora	Total general	Porcentaje	Promedio
00:00 a 00:59	620	3,71%	6,08
01:00 a 01:59	835	5,00%	7,73
02:00 a 02:59	778	4,66%	7,14
03:00 a 03:59	785	4,70%	7,27
04:00 a 04:59	741	4,44%	6,80
05:00 a 05:59	809	4,85%	7,63
06:00 a 06:59	777	4,65%	7,26

07:00 a 07:59	671	4,02%	6,33
08:00 a 08:59	580	3,47%	6,04
09:00 a 09:59	674	4,04%	6,95
10:00 a 10:59	658	3,94%	6,71
11:00 a 11:59	680	4,07%	6,60
12:00 a 12:59	576	3,45%	5,82
13:00 a 13:59	583	3,49%	6,27
14:00 a 14:59	676	4,05%	6,76
15:00 a 15:59	614	3,68%	6,40
16:00 a 16:59	580	3,47%	5,86
17:00 a 17:59	689	4,13%	7,10
18:00 a 18:59	746	4,47%	7,46
19:00 a 19:59	575	3,44%	5,99
20:00 a 20:59	769	4,61%	7,61
21:00 a 21:59	797	4,77%	7,81
22:00 a 22:59	775	4,64%	7,38
23:00 a 23:59	654	3,92%	6,17
Total general	16695	100,00%	6,80

Fuente: Elaboración Propia, últimos 4 meses año 2016.

2.3 Etapa N°3: Validación del Modelo Conceptual

2.3.1 Definir si el modelo conceptual responde a los objetivos del estudio.

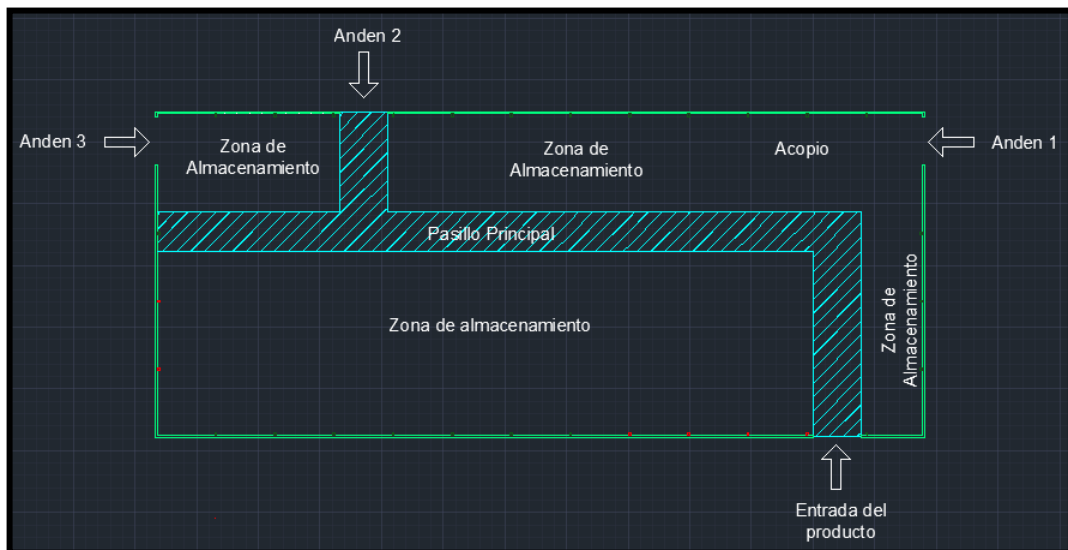
Para desarrollar esta etapa fue necesario exponer toda aquella información recolectada durante el tiempo dispuesto para realizar los muestreos necesarios para el desarrollo del estudio, en donde aquellas personas encargadas y entendidas en el tema, en este caso Sergio Berrocal Jefe de BPT de la Empresa y encargado de Bodega José Hidalgo, verificaron que aquella información correspondía al proceso realizado para el despacho de los productos fabricados por Forestal y Papelera Concepción S.A.

2.4 Etapa N°4: Construcción del Modelo

2.4.1 Layout del Sistema

La BPT de la empresa cuenta con una fuente de acceso de las bobinas, las cuales se distribuyen en las zonas de almacenamiento disponibles para depositarlos, también posee un lugar designado para acopiar el producto antes de ser cargado en el camión, a demás cuenta originalmente con tres andenes, de los cuales sólo dos son utilizados para realizar el proceso de carga de camiones, el andén 1 es el principal, y por donde se realizan la mayor parte de carga de camiones, el andén 2 por otro lado se utiliza solo para los productos de exportación, y por último el andén 3, el cual no es utilizado.

Figura 6: *Layout* de Bodega.

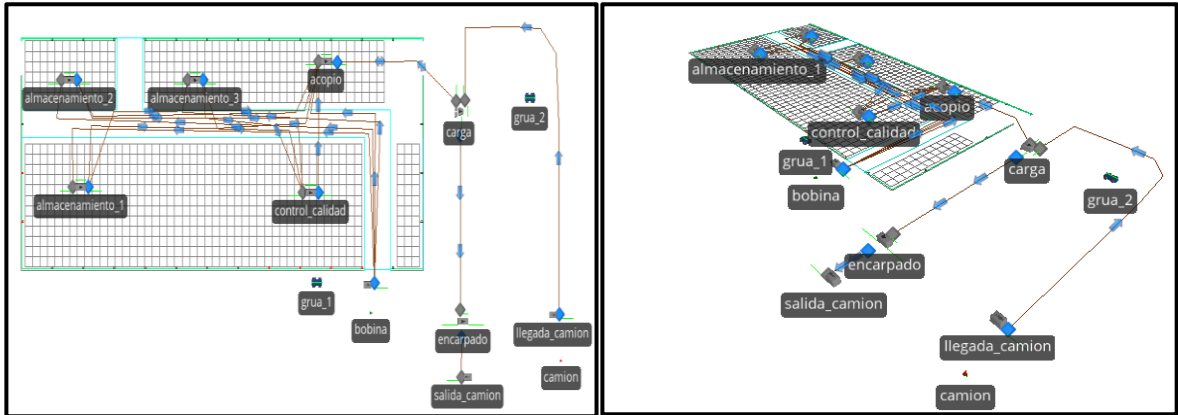


Fuente: Elaboración Propia, en base a información proporcionada por la FPC S.A

2.4.2 Construcción del Modelo Computacional

Se realizó la configuración y programación del modelo computacional, con los datos obtenidos para el modelo simulado, obteniendo el proceso más cercano al real como se muestra en la figura N°7.

Figura 7: Flujo de proceso de despacho en FPC en *software* de Simulación Simio.



Fuente: Elaboración Propia.

Etapa N°5: Verificación y Validación del modelo computacional

2.5.1 Validación estadística del modelo computacional.

Tabla 6: Resultados obtenidos del Simulador.

Cantidad de bobinas despachadas por mes	Promedio Base de datos año 2014-2015	Simulación	Diferencia
Enero	2378,4	2385	-6,63
Febrero	2381,1	2387	-5,93
Marzo	2326,2	2343	-16,83
Abril	2360,0	2356	4,00
Mayo	2389,2	2402	-12,83
Junio	2351,0	2352	-1,00
Julio	2381,0	2379	2,00
Agosto	2383,0	2379	4,00
Septiembre	2350,0	2347	3,00
Octubre	2356,6	2361	-4,40
Noviembre	2380,9	2378	2,85
Diciembre	2360,3	2363	-2,67

La validación es un proceso inductivo en donde el modelador saca conclusiones de la exactitud del modelo, basado en toda aquella información disponible. La recolección de los datos sirve como evidencia para determinar la validez del modelo, para ver qué tan exacto es el modelo con respecto a lo real. Por último, todos aquellos resultados de salida deben ser analizados para ver parecen razonables. Si los procedimientos se realizan sin encontrar discrepancia entre el sistema real y el modelo, se dice que el modelo tiene aparentemente una validez. (Law & Kelton, Simulation modeling and analysis, 2000)

Para realizar la validación correspondiente, se analizaran los siguientes criterios:

- 1) Se realizaron réplicas, con el objeto de establecer los valores promedios de las medidas de desempeño que caracterizan el sistema de estudio, y así comparar los valores obtenidos por la empresa.
- 2) El número de corridas realizadas serán 12, las cuales corresponden a cada mes del año, además se estableció que no existiera un error mayor a 10% respecto de la media real del sistema. Para aceptar la hipótesis.
- 3) Intervalo de confianza para la determinación de medias test de 2 muestras. (Law & Kelton, Simulation modeling and analysis, 2000).

Se utilizó el test de muestras apareadas, ya que existen 2 grupos de observaciones que se relacionan entre sí, en donde se realizaron las comparaciones correspondientes sobre una misma medida experimental:

- 1) Se determinó el mismo número de réplicas tanto para el modelo, como para el sistema real con el cual se compara.
- 2) La corrida de los números es igual para ambos modelos diferentes. Entonces, un intervalo de confianza de nivel $1 - \alpha$ para $\mu_X - \mu_Y$, IC ($\mu_X - \mu_Y$) esta dado por:

$$\bar{X} - \bar{Y} \pm t_{n-1, \alpha/2} * \frac{S_D}{\sqrt{n}}$$

n: Representa el tamaño de la muestra

\bar{X} y \bar{Y} : representan las medias de cada muestra

S_D : Varianza

$t_{n-1, \alpha/2}$: corresponde al valor de la distribución *t-student*, con $1 - \alpha$ nivel de confianza (para efecto del proyecto 90%).

$H_0: \mu_X - \mu_Y = \delta$, basándose en el estadístico del test $T = \frac{(\bar{X} - \bar{Y}) - \delta}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \sim t_{n-1}$ bajo H_0

Entonces,

n: 12

\bar{X} y \bar{Y} : 144,667

S_D : 325,11

$t_{n-1, \alpha/2}$: 2,2010

Intervalo de Confianza	
Límite Inferior	Límite Superior
-61,90	351,24

Por lo tanto, con lo siguiente se puede concluir que no existen diferencias significativas (a un 95% de confianza) entre la base de datos real y el modelo simulado, por lo tanto, este representa al modelo estudiado.

Cálculo número de réplicas de la simulación.

Fue necesario tomar como muestra inicial 12 datos cada uno de los tiempos mencionados anteriormente, los cuales fueron validados de la siguiente manera:

$$n = \left[\frac{t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} * S(n)}{\varepsilon} \right]^2$$

n= N° de datos del muestreo necesario para obtener un nivel de veracidad o precisión deseada.

Sn: Desviación estandar en “n” datos de una muestra inicial.

ε = error relativo respecto al sistema real.

$t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$ = valor crítico de una distribución *t-student*.

Los valores utilizados para el valor del t-studen son 0,95% y el valor asociado al error es de un 10% de acuerdo a lo propuesto por Law & Kelton (2000).

2.6 Etapa N°6: Propuesta de mejora al sistema

Para lograr mejorar el proceso de despacho de bobinas desde Forestal y Papelera Concepción hacia sus diferentes clientes, se decidió la construcción de tres diferentes escenarios para lograr aumentar la cantidad de bobinas que se desean entregar mensualmente e identificar cuál de estos sobresale con respecto al modelo real estudiado. Estos escenarios fueron propuestos por el autor del proyecto, con la condicionalidad de que aquellas propuestas no involucraran inversiones para la empresa.

2.6.2 Alternativa 1

La creación del la primera alternativa se basa en ampliar el tiempo dispuesto para realizar los despachos del producto fabricado al los diferentes clientes, con los mismos recursos que hoy dispone FPC S.A. Por lo que se estudiara, con la ayuda del programa de simulación *Simio*, esta nueva condición estableciendo un total de 14 horas diarias para que el personal realice dicho proceso.

2.6.3 Alternativa 2

Como segunda alternativa se propone aumentar la cantidad de personal en una de las etapas identificadas en el flujo del proceso de despacho (control de calidad), en una persona, identificando si con este cambio se logra mejorar la medida de desempeño en comparación con la situación actual.

2.6.4 Alternativa 3

El último escenario se basara en la habilitación de un segundo andén de carga de camiones, logrando con esto que se puedan realizar el proceso de carga de camiones en los andenes de manera simultánea, aprovechando de mejor manera el tiempo dispuesto por la papelera para realizar los despachos de bobinas.

2.7 Etapa N°7: Análisis, Resultados y discusión de alternativas

2.7.1 Comparación de alternativas

Para realizar el análisis de las alternativas propuestas para mejorar el flujo de despacho las bobinas de la FPC, se realizaron comparaciones múltiples. Para lo cual, fue necesario en primera instancia obtener los resultados de las 12 réplicas para cada una de las alternativas propuestas (Ver Tabla N°7).

Tabla 7: Resultados para las doce replicas realizadas para cada una de los escenarios propuestos.

N° de Réplicas	Situación Actual	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	2413	2418	2415	2452
2	2368	2431	2394	2479
3	2402	2431	2400	2450
4	2394	2429	2392	2483
5	2393	2436	2347	2481
6	2422	2408	2421	2481
7	2363	2418	2413	2482
8	2392	2412	2364	2489
9	2396	2407	2395	2504
10	2352	2414	2390	2439
11	2388	2466	2379	2521
12	2353	2452	2356	2473

Posteriormente, fue necesario realizar una selección de la mejor alternativa aplicando comparaciones múltiples, para lo cual fue necesario definir el número de pares de comparación, de la siguiente manera:

$$\frac{k(k-1)}{2}, \text{ en donde } k \text{ representa el número de escenarios estudiados.}$$

Entonces, si $k = 4$ (número de escenarios estudiados).

$$N^{\circ} \text{ de pares de comparación: } \frac{4(4-1)}{2} = 6.$$

En donde se formar pares con todas las alternativas, una con otra sin excepción.

Para lograr determinar cuál de los escenarios estudiados es el mejor se obtuvo la diferencia en cada uno de los casos, para luego con estos aquellos resultados lograr definir el intervalo de confianza entre pares de los cuatro escenarios como se muestra en la Tabla N° 8, y con esto poder concluir cual de todos los escenarios realiza un mejoramiento en el flujo de despacho de bobinas desde las instalaciones de Forestal y Papelera Concepción S.A.

Tabla 8: Resultados para las doce replicas realizadas para cada uno de los escenarios.

N° de Réplicas	Diferencia S.A/Alt.1	Diferencia S.A/Alt.2	Diferencia S.A/Alt.3	Diferencia Alt.1/Alt.2	Diferencia Alt.1/Alt.3	Diferencia Alt.2 /Alt.3
1	-5	-2	-39	3	-34	-37
2	-63	-26	-111	37	-48	-85
3	-29	2	-48	31	-19	-50
4	-35	2	-89	37	-54	-91
5	-43	46	-88	89	-45	-134
6	14	1	-59	-13	-73	-60
7	-55	-50	-119	5	-64	-69
8	-20	28	-97	48	-77	-125
9	-11	1	-108	12	-97	-109
10	-62	-38	-87	24	-25	-49
11	-78	9	-133	87	-55	-142
12	-99	-3	-120	96	-21	-117
Media	-40,5	-2,5	-91,5	38	-51	-89
Desv. Estándar	32,61	26,20	29,72	36,06	24,13	36,18

Además, para refinar esta selección, se definió un α_{global} , el cual representará el nivel de significancia global, y con ello precisar el nivel de confianza global ($1 - \alpha_{comparación\ entre\ pares}$).

$$\alpha_{global} = 0,05.$$

$$\alpha_{Comparación} = \frac{\alpha_{global}}{\frac{k(k-1)}{2}} = \frac{0,05}{6} = 0,0083.$$

$$Nivel\ de\ confianza\ global = 1 - \frac{\alpha_{comparación}}{2} = 0,996.$$

Con el nuevo nivel de confianza, para la familia de pares de comparación, se procedió a realizar una nueva prueba *t student*, en este caso la prueba para datos pareados:

$$\bar{X} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha_{comparación}}{2}} \frac{S_D}{\sqrt{n}}$$

\bar{X} = Diferencia promedio del par de escenarios.

S_D : Desviación estandar de la diferencia del par de escenarios.

$t_{n-1, 1-\frac{\alpha_{comparación}}{2}}$ = valor crítico de una distribución *t- student*.

Arrojando los siguientes resultados:

Tabla 9: Diferencia de medias entre pares de todos los escenarios.

	Intervalo de Confianza	
	Inferior	Superior
S. Actual - Alternativa 1	-69,78	-11,22
S. Actual - Alternativa 2	-26,02	21,02
S. Actual - Alternativa 3	-118,18	-64,82
Alternativa1 - Alternativa2	5,63	70,37
Alternativa1 - Alternativa3	-72,66	-29,34
Alternativa2 - Alternativa3	-121,48	-56,52

2.7.2 Elección del mejor escenario.

Tabla 10: Conclusión del análisis de los intervalos de confianza.

Conclusión	
S. Actual - Alt.1	Alternativa 1 es mejor que la Situación Actual
S. Actual - Alt.2	Situación Actual y Alternativa 2 no muestra diferencias significativas
S. Actual - Alt.3	Alternativa 3 es mejor que la Situación Actual
Alt.1 - Alt.2	Alternativa 2 es mejor que la Situación Actual
Alt.1 - Alt.3	Alternativa 3 es mejor que la Alternativa 1
Alt.2 - Alt.3	Alternativa 3 es mejor que la Alternativa 2

Según los datos en la Tabla N°9, y el análisis realizado a los intervalos de confianza en cada par de comparación que muestra la Tabla N°10, la creación de un nuevo andén sería el mejor escenario con el fin de que se pudieran cargar más de un camión de manera simultánea. Aprovechando de una manera más eficiente los recursos con los que cuenta hoy FPC S.A, ya que de un promedio total de bobinas despachadas durante los 12 meses en la situación real.

Como segunda opción de mejorar el proceso de despacho de bobinas sería aumentar las horas para realizar dicho proceso con un porcentaje, pero aun así la eficiencia en dicho proceso sería mejor que el actual.

Por el contrario a las dos alternativas antes mencionadas, aumentar la cantidad de personal no provoca un mejoramiento en el despacho de bobinas de papel.

CONCLUSIÓN

Con este Proyecto de Título se logró construir, en primera instancia conceptualmente y luego a través del *software Simio*, el modelo que permite simular el proceso de despacho de Forestal y Papelera Concepción S.A, orientado principalmente en realizar el despacho desde sus instalaciones para lograr hacerlo llegar a sus clientes, considerando el alcance y los detalles entregados para realizar el estudio.

Para lograr la validación del modelo se consideró como referencia lo propuesto por Law & Kelton (2000), en donde se propone un intervalo de confianza, manifestando que el porcentaje de error utilizado no superó el 10% en cada una de las pruebas realizadas en el presente estudio.

A demás se pudo establecer que el modelo construido es estadísticamente válido, considerando la muestra inicial se logró determinar la cantidad de réplicas necesarias a realizar para que el modelo del estudio fuera válido.

Con la simulación realizada fue posible determinar el comportamiento que tienen los recursos utilizados para realizar el proceso de despacho, analizando la cantidad de bobinas despachadas mensualmente y con las nuevas alternativas propuestas se determinó un escenario que logro mejorar el flujo del proceso de despacho en un 4% (ver Anexo N°5), utilizando de mejor manera los tiempos dispuestos en bodega de productos terminados.

De los resultados obtenidos en la simulación para cada una de las alternativas propuestas se pudo determinar que los recursos están disponibles para ser utilizados de manera más eficiente logrando aumentar la cantidad del producto despachado, disminuyendo los tiempos muertos dentro del proceso (ver Anexo N°5).

Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos del modelo original y las alternativas estudiadas resulta evidente que se puede mejorar el flujo de despacho con la planificación de actividades realizadas en BPT, por tal motivo es necesario mejorar las condiciones de los recursos de tal manera que puedan ser utilizados de mejor manera.

COMENTARIO Y SUGERENCIAS.

Teniendo en consideración el espacio destinado para almacenar el producto fabricado y experiencia del personal encargado de realizar los movimientos de las bobinas dentro de las instalaciones, se pudo comprobar que existen ciertas dificultades que provocan de alguna manera que el flujo de despacho de bobinas no se ejecute de forma eficiente y eficaz. Dentro de estas consideraciones se encontró:

1. Mal estado del suelo de Bodega

Las malas condiciones en las que se encuentra el piso de BPT, dificultan no solo el transporte del producto, si no también daños a éste, ya que este se dispone directamente en el piso, provocando muchas veces que pérdidas de tiempo en cambiar o reparar la bobina dañada.

2. Falta de accesos a los productos

Las bobinas se disponen en todos los espacios disponibles en bodega, lo cual provoca faltas de accesos para que las grúas transporten el producto, transmitiendo este problema no solo a que la movilización sea lenta, si no también que éste se dañe por las altas manipulaciones que provoca entrar una bobina dentro del almacén.

3. Mal estado de los medios de Transporte

Este problema se detectó en las grúas *clamp*, las cuales no se encontraban en buenas condicione, provocando tiempos muertos durante el día, provocando con esto descontento en los operarios, ya que en algunas ocasiones estas fallas provocaban que la manipulaciones de las bobinas no fuera la adecuada, provocando daños en el producto, por ende retraso en carga de camiones.

Todas estas consideraciones, se debe tener presente para mejorar el flujo de despacho de bobinas, puesto que provoca un costo para la Empresa.

Adicionalmente se sugiere a la Empresa mejorar el *layout* de Bodega de Productos Terminados, considerando que el *slotting* es complejo, puesto que es continuo y dinámico y por ende debe ser refinado de forma permanente. Para BPT de FPC la solución propuesta es aplicar la política de inventario ABC, en donde los productos A corresponde a los clientes que solicitan la mayor cantidad de papel al mes, los productos B son aquellos clientes que solicitan una menor cantidad con respecto a los clientes A y por último los productos C son aquellos clientes que tienen una baja periodicidad en la revisión de los productos y como consecuencia un bajo costo de inventarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. New York: John Wiley and Sons.
- Bertalanffy, L. V. (1971). *Teoría general de sistemas*. México: Fondo de cultura económica.
- Centeno, M. A., Méndez Giraldo, G., Beasler Abufarde, F., & Álvarez Pomar, L. (2015). *Introducción a la simulación discreta*. Colombia: UD.
- Kelton, W. D., Smith, J. S., & Sturrock, D. T. (2012). *Simio y Simulación: Modelado, análisis, aplicaciones*. USA: E-book.
- Law, A. M. (2007). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill, 4 edition.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation, Modeling and Analysis*. New York: McGraw Hill.
- Shannon, R. (1988). *Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implementación*. México: Trillas.

ANEXO N°1
VALIDACIÓN DE DATOS

Datos de traslado de las bobinas desde la zona de almacenamiento a la zona de acopio.

Tabla N°1: Muestra del tiempo en minutos de traslado de bobinas desde la zona de almacenamiento hasta la zona de acopio.

0.57	1.34	1.02	1.12	1.17	1.01	0.58	1.09	1.24	0.57
1.12	1.06	1.17	0.55	1.05	0.58	1.13	1.16	1.03	0.55
1.23	1.07	0.58	0.57	1.06	0.58	1.01	1.13	1.30	1.23

$$n = \left[\frac{2,0452 * 0,2730}{0,1} \right]^2 = 31$$

Características de los datos:

Numero de Observaciones	30
Observación menor	0,55
Observación máxima	1,34
Media	0,92
Mediana	1,06
Varianza	0,07
Valor t	2,0452
Datos Reales	31

Datos reales:

0.57	1.34	1.02	1.12	1.17	1.01	0.58	1.09	1.24	0.57
1.12	1.06	1.17	0.55	1.05	0.58	1.13	1.16	1.03	0.55
1.23	1.07	0.58	0.57	1.06	0.58	1.01	1.13	1.30	1.23
1.21									

Datos de traslado de las bobinas desde la zona de almacenamiento a zona de carga.

Tabla N°2: Muestra del tiempo en minutos de traslado de bobinas desde la zona de almacenamiento hasta la zona de carga.

1.12	0.56	0.55	1.12	0.55	1.09	0.56	0.52	1.07	0.51
1.02	1.01	0.59	1.03	1.21	0.53	1.11	0.57	1.17	1.02
0.59	1.01	0.51	1.08	1.06	0.54	1.17	1.11	1.23	1.05

$$n = \left[\frac{2,0452 * 0,278}{0,1} \right]^2 = 59$$

Características de los datos

Numero de Observaciones	30
Observación menor	0,51
Observación máxima	1,23
Media	0,827
Mediana	1,02
Varianza	0,077
Valor t	2,0452
Datos Reales	59

Datos Reales:

1.12	0.56	0.55	1.12	0.55	1.09	0.56	0.52	1.07	0.51
1.02	1.01	0.59	1.03	1.21	0.53	1.11	0.57	1.17	1.02
0.59	1.01	0.51	1.08	1.06	0.54	1.17	1.11	1.23	1.05
0.53	0.49	1.03	1.12	0.57	1.03	0.59	1.09	0.57	1.09
0.58	1.11	1.13	0.37	0.48	0.54	0.51	1.22	0.59	0.45
0.37	1.08	0.48	0.54	0.44	1.39	1.23	1.33	0.53	

Datos de disponer la primera bobina sobre el camión

Tabla N° 3: Muestra del tiempo en minutos en disponer la primera bobina sobre el camión.

6.32	6.41	6.32	6.09	5.33	5.57	6.12	5.32	6.01	5.57
6.42	6.49	6.55	5.58	5.54	6.19	6.17	6.11	6.45	6.38
6.35	6.19	6.11	6.34	6.13	6.44	6.01	6.05	6.12	6.33

$$n = \left[\frac{2,0452 * 0,349}{0,1} \right]^2 = 76$$

Características de los datos:

Numero de Observaciones	30
Observación menor	5,32
Observación máxima	6,55
Media	6,09
Mediana	6,15
Varianza	0,122
Valor t	2,0452
Datos Reales	76

Datos Reales:

6.32	6.41	6.32	6.09	5.33	5.57	6.12	5.32	6.01	5.57
6.42	6.49	6.55	5.58	5.54	6.19	6.17	6.11	6.45	6.38
6.35	6.19	6.11	6.34	6.13	6.44	6.01	6.05	6.12	6.33
6.23	6.34	6.08	6.11	6.34	5.54	6.44	6.38	6.03	5.59
6.38	5.57	6.19	6.23	6.31	6.34	5.59	6.09	6.45	6.23
6.34	6.38	6.11	5.58	6.17	6.48	5.57	6.13	6.55	6.05
5.59	6.38	5.57	6.19	6.23	6.31	6.34	5.48	5.32	6.36
6.09	5.33	5.57	6.33	5.32	6.11				

Datos de reparación de una bobina

Tabla N°4: Muestra del tiempo en minutos que se utilizan para reparar una bobina.

10.41	11.23	10.53	11.21	11.11	11.01	10.54	11.01	11.06	11.13
10.59	10.24	11.12	11.07	10.58	10.14	11.14	11.27	10.42	11.05
11.09	11.12	10.53	11.03	10.22	10.23	11.32	10.23	11.04	11.07

$$n = \left[\frac{2,0452 * 0,381}{0,1} \right]^2 = 62$$

Características de los Datos:

Numero de Observaciones	30
Observación menor	10,14
Observación máxima	11,32
Media	10,82
Mediana	11,035
Varianza	0,146
Coefficiente de variación	0.14255
Valor t	2,0452
Datos Reales	62

Datos Reales:

10.41	11.23	10.53	11.21	11.11	11.01	10.54	11.01	11.06	11.13
10.59	10.24	11.12	11.07	10.58	10.14	11.14	11.27	10.42	11.05
11.09	11.12	10.53	11.03	10.22	10.23	11.32	10.23	11.04	11.07
10.27	11.31	11.13	11.21	11.28	10.59	10.42	11.24	11.27	11.12
10.13	10.59	11.24	11.07	10.32	11.21	11.26	11.06	10.38	11.14
10.23	11.26	10.23	11.19	10.45	10.12	10.54	11.26	10.24	10.48
11.09	10.57								

Datos de revisión de una bobina

Tabla N°5: Muestra del tiempo en minutos en revisar una bobina

1.02	0.43	0.33	0.33	1.16	1.01	0.29	0.27	0.15	0.44
0.29	0.4	0.3	0.31	0.28	0.59	0.29	0.2	0.21	0.23
0.57	0.51	0.15	0.38	0.58	1.3	0.5	0.35	0.4	0.18

$$n = \left[\frac{2,0452 * 0,298}{0,1} \right]^2 = 37$$

Características de los Datos:

Numero de Observaciones	30
Observación menor	0.15
Observación máxima	1.3
Media	0.379
Mediana	0.34
Varianza	0.089
Valor t	2,0452
Datos Reales	37

Datos Reales:

1.02	0.43	0.33	0.33	1.16	1.01	0.29	0.27	0.15	0.44
0.29	0.4	0.3	0.31	0.28	0.59	0.29	0.2	0.21	0.23
0.57	0.51	0.15	0.38	0.58	1.3	0.5	0.35	0.4	0.18
0.44	0.29	0.32	0.31	0.38	0.58	0.3			

Datos de zona de acopio a zona de carga

Tabla N°6: Muestra del tiempo en minutos de traslado de bobinas desde la zona de almacenamiento a la zona de carga.

1.10	1.01	1.12	1.01	1.12	1.25	1.01	1.03	1.27	1.06
0.54	1.02	1.14	1.08	1.24	0.40	0.50	0.38	0.48	0.47
0.48	0.41	1.03	0.44	0.55	0.38	0.37	1.03	0.32	0.38

$$n = \left[\frac{2,0452 * 0,344}{0,1} \right]^2 = 49$$

Características de los datos:

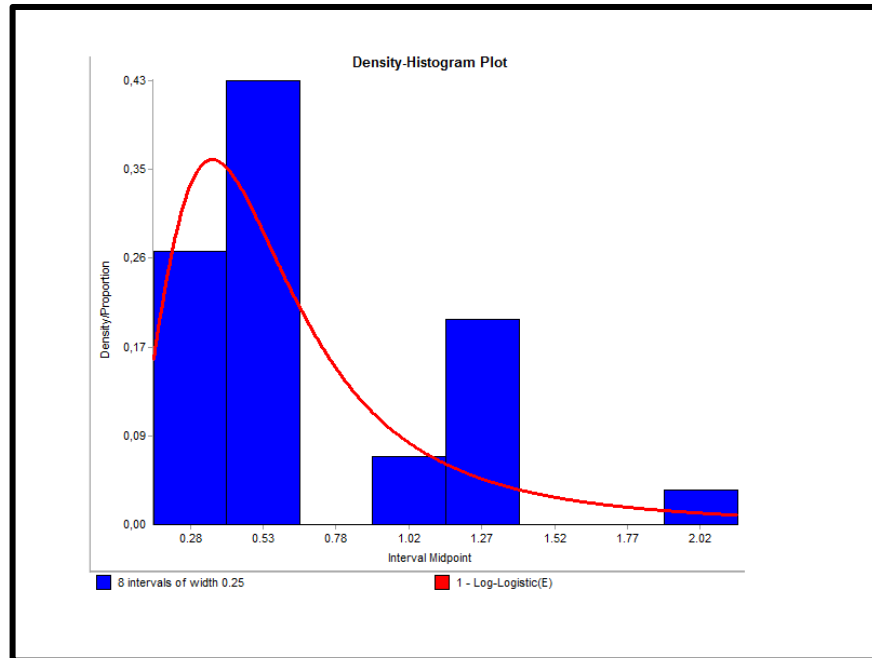
Numero de Observaciones	30
Observación menor	0.32
Observación máxima	1,27
Media	0,71
Mediana	1,01
Varianza	0,12
Valor t	2,0452
Datos Reales	49

Datos reales:

1.10	1.01	1.12	1.01	1.12	1.25	1.01	1.03	1.27	1.06
0.54	1.02	1.14	1.08	1.24	0.40	0.50	0.38	0.48	0.47
0.48	0.41	1.03	0.44	0.55	0.38	0.37	1.03	0.32	0.38
1.12	0.35	1.01	0.41	0.33	1.06	0.54	0.57	0.49	1.02
0.32	1.08	1.24	0.42	0.38	0.56	1.06	0.41	1.03	

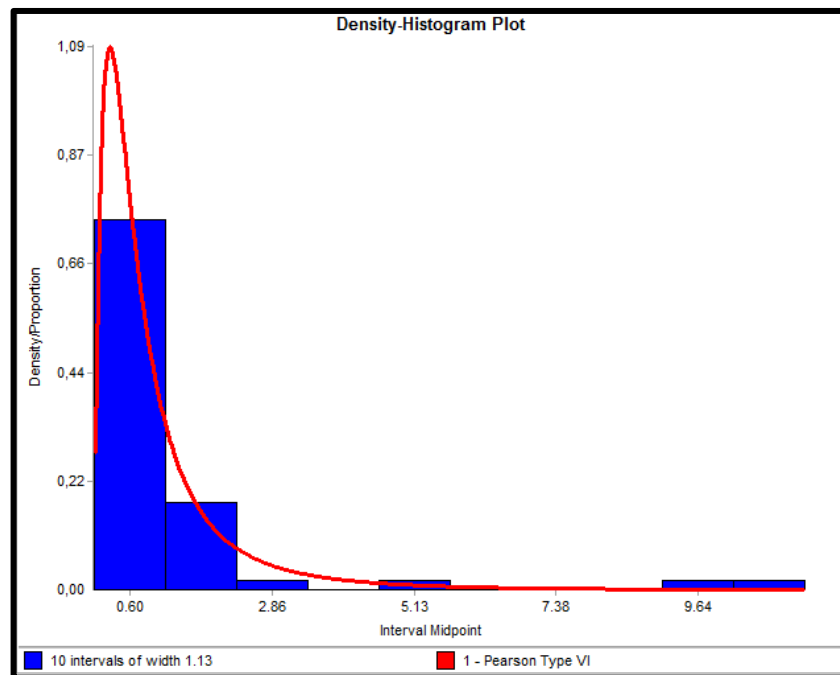
ANEXO N°2
GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN

Gráfico de traslado de las bobinas desde la zona de almacenamiento a la zona de acopio.



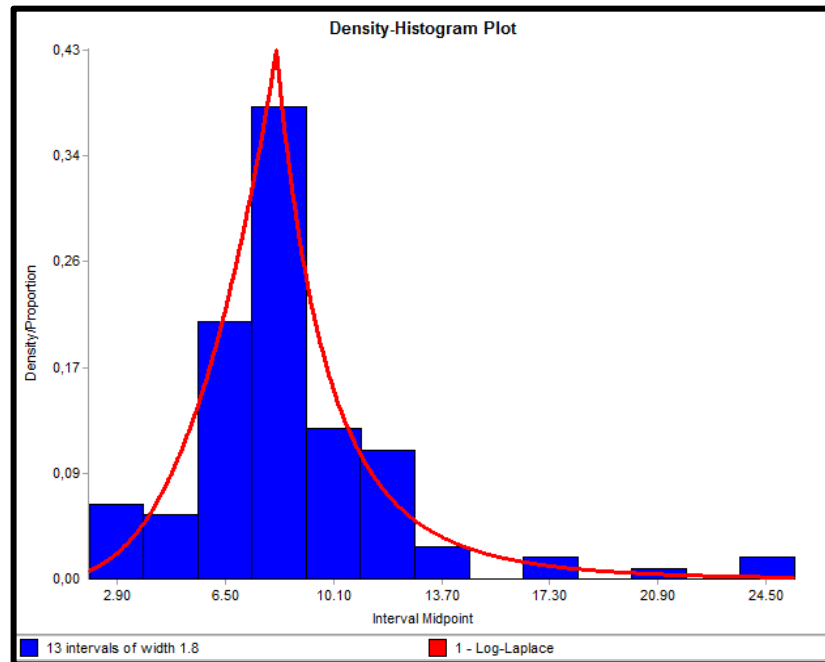
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico de traslado de las bobinas desde la zona de acopio a la zona de carga.



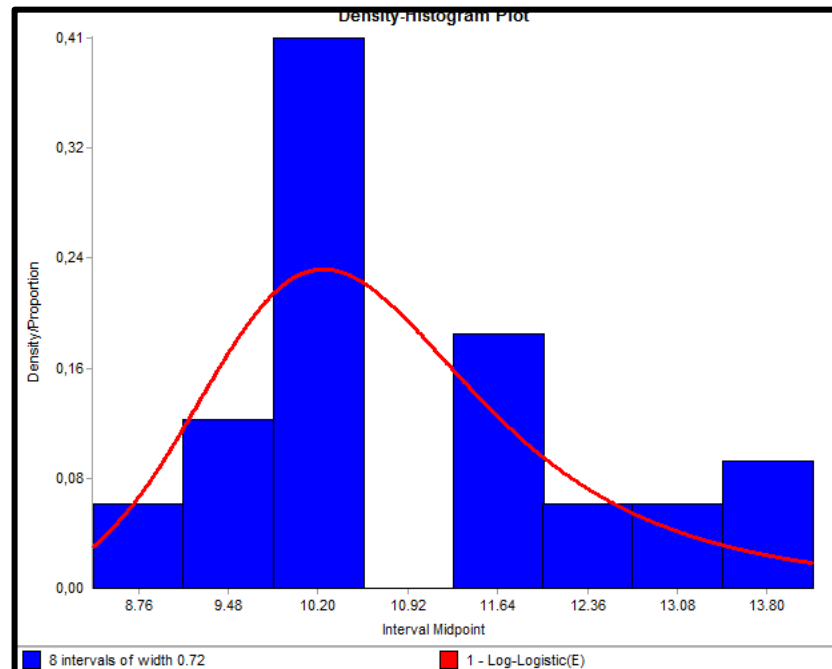
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico de disponer la primera bobina sobre el camión



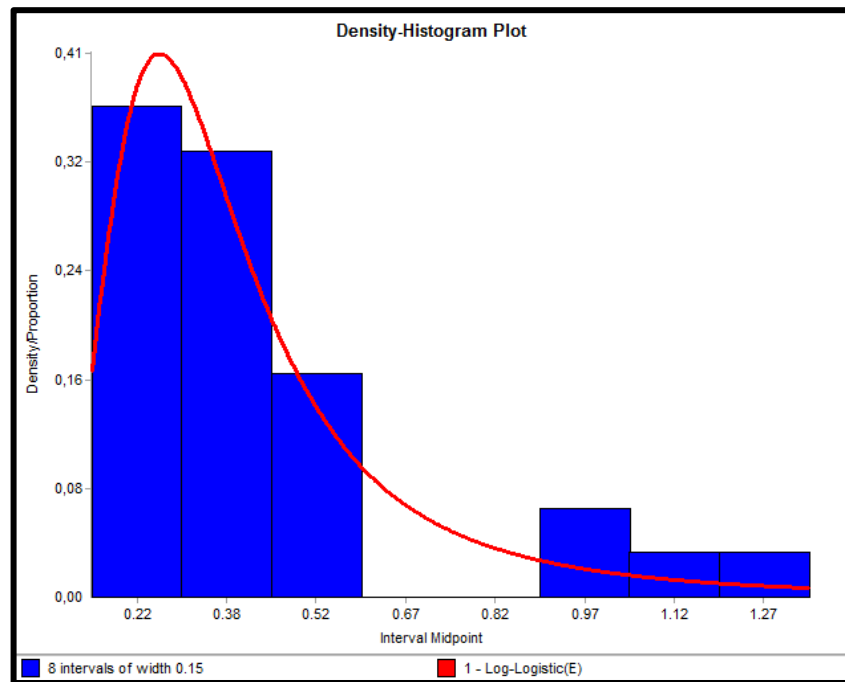
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico de reparar una bobina.



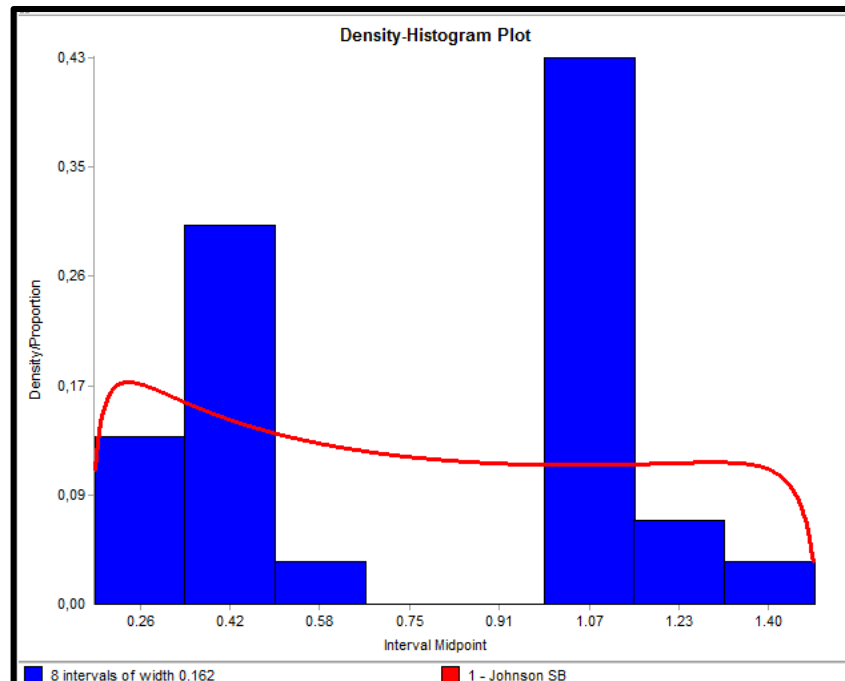
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico de revisar una bobina.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico zona de acopio a zona de carga.



Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°3
APLICACIÓN DE TEST A LOS DATOS ANALIZADOS

Test aplicado a los datos de almacenamiento a zona de acopio.

Anderson-Darling Test with Model 1 - Johnson SB						
Sample size	31					
Test statistic	1.17855					
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.					
	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
Sample Size	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
31	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Test aplicado a los datos de tiempo de almacenamiento a zona de carga.

Anderson-Darling Test with Model 1 - Johnson SB						
Sample size	32					
Test statistic	1.24096					
Note:	No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.					
	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
Sample Size	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
32	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Test aplicado a los datos de tiempo en disponer la primera bobina sobre el camión

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Log-Laplace

Sample size 115
 Normal test statistic 0.08361
 Modified test statistic 0.89665

Note: No critical values exist for this special case.
 The following critical values are for the case where
 all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)				
	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
115	1.124	1.209	1.342	1.462	1.608
Reject?	No				

Test aplicado a los datos de tiempo en reparar una bobina

Anderson-Darling Test with Model 1 - Log-Logistic(E)

Sample size 32
 Test statistic 0.49768

Note: No critical values exist for this special case.
 The following critical values are for the case where
 all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
32	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Test aplicado a los datos de tiempo en revisar una bobina

Anderson-Darling Test with Model 1 - Log-Logistic(E)

Sample size 30
 Test statistic 0.25900

Note: No critical values exist for this special case.
 The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
30	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Test aplicado a los datos de tiempo zona de acopio a zona de carga

Anderson-Darling Test with Model 1 - Johnson SB

Sample size 30
 Test statistic 1.18656

Note: No critical values exist for this special case.
 The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
30	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

ANEXO N°4
PROMEDIO DE LLEGADA DE CAMIONES A BPT.

Tabla 1: Promedio de dos meses de observación de llegada de camiones a BPT

Hora/día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	Promedio	
8:00 - 9:00	1	1	2	1	2	2	1	2	3	3	2	1	1	2	1	3	1	2	1	2	1	1	1	0	2	1	2	1	2	3	3	2	1	1	2	2	1	2	1,6	
9:01 - 10:00	1	1	1	3	1	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	1	3	3	2	2	1	2	2	3	3	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2,1
10:01 - 11:00	1	1	2	3	2	3	3	2	2	2	1	1	4	2	2	2	2	2	4	3	2	4	2	1	3	3	3	3	2	2	2	1	1	4	2	2	4	3	2,3	
11:01 - 12:00	2	3	4	2	2	3	3	3	2	3	2	2	2	2	1	2	2	0	3	3	2	3	3	0	2	2	3	3	3	2	3	2	2	2	2	0	3	3	2,3	
12:01 - 13:00	3	1	1	2	3	3	1	1	3	2	4	2	1	2	2	3	1	2	3	3	3	2	1	2	3	1	3	1	1	3	2	4	2	1	2	2	3	3	2,2	
13:01 - 14:00	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	3	2	2	2	2	2	2	4	2	2	1	2	1	2	2	2	3	3	3	1	1	3	2	2	2	2,1	
14:01 - 15:00	1	1	2	3	1	3	2	4	2	2	1	3	3	3	3	1	2	3	1	2	3	2	4	1	3	4	3	2	4	2	2	1	3	3	3	3	1	2	2,3	
15:01 - 16:00	1	1	2	2	2	3	1	3	3	2	3	2	3	3	1	2	2	2	1	1	3	1	2	2	2	3	3	1	3	3	2	3	2	3	3	2	1	1	2,1	
16:01 - 17:00	3	3	3	1	3	2	2	2	1	1	4	1	2	2	2	3	1	2	2	1	1	2	1	4	1	2	2	2	2	1	1	4	1	2	2	2	2	1	1,9	
17:01 - 18:00	2	3	4	2	2	4	3	1	2	1	3	2	2	1	4	2	2	1	2	3	1	3	1	1	2	2	4	3	1	2	1	3	2	2	1	1	2	3	2,1	

ANEXO N°5

**JUSTIFICACIÓN: PORCENTAJE DE MEJORA DE LOS ESCENARIOS ESTUDIADOS
Y TIEMPOS MUERTOS EN EL PROCESO DE CARGA.**

Para determinar el porcentaje de mejora de los escenarios estudiados se utilizó el promedio de bobinas despachadas mensualmente en cada una de los escenarios, en donde la situación actual representó el 100% de despachos mensuales.

Tabla N°1: Comparación porcentual de los escenarios.

	Promedio de Bobinas despachadas mensual	Porcentajes respecto a la situación real	Diferencia de porcentajes
Situación Actual	2386	100%	0%
Alternativa 1	2427	102%	2%
Alternativa 2	2389	100%	0%
Alternativa 3	2478	104%	4%

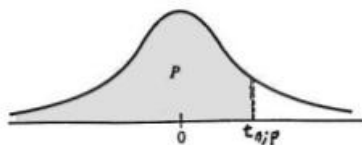
Tabla N°2: Porcentaje promedio de utilización de los equipos móviles dispuestos para carga de camión.

Escenarios	% utilización promedio Grúa 1 y 2
Situación Actual	48%
Alternativa 1	68%
Alternativa 2	56%
Alternativa 3	72%

Fuente: elaboración propia, según datos arrojados por el programa de simulación, *Simio*.

ANEXO N°6
TABLA T- STUDENT.

Distribución t de Student



La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores p y $t_{n;p}$ que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{n;p}) = p.$$

n	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
∞	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

Tabla A.4: Tabla de la distribución t de Student.