



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE TÍTULO

Propuestas de alternativas para disminuir el tiempo de permanencia de camiones en el área de bodega de productos terminados, planta Trupán - Cholguan, empresa Arauco, mediante simulación discreta.

Alumno:

Valentina Alejandra Basáez Aguirre.

Profesor(es) Guía(s):

Cristian Oliva San Martín.

Manuel Cepeda Junemann.

Tutor:

Milton Moraga Rebolledo.

Propuestas de alternativas para disminuir el tiempo de permanencia de camiones en el área de bodega de productos terminados, planta Trupán - Cholguan, empresa Arauco, mediante simulación discreta.

Valentina Basáez¹, Milton Moraga², Cristian Oliva¹

¹Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Católica de la Santísima Concepción

²Area de operaciones BPT empresa Arauco.

vbasaesz@ing.ucsc.cl

Resumen

Se propone un modelo de simulación discreta para el área de bodega de productos terminados (BPT) de la empresa Arauco, ubicada en la planta Cholguan-Trupán, con el objetivo de disminuir los tiempos de espera de los camiones que retiran los productos ubicados en esta bodega, proponiendo alternativas de mejora de los procesos que influyen en los tiempos en que los camiones se encuentran en planta.

Se ajustaron los datos recolectados a distribuciones probabilísticas, para luego diseñar el modelo en el software de simulación Simio. Al comparar las diferentes alternativas se logró determinar que la mejor opción para mejorar los tiempos de permanencia en planta de los camiones es determinar una hora fija para su entrada a la planta, agregando la grúa con menos porcentaje de utilización dentro de la bodega al proceso de carga de camión, habilitando otra zona de carga, la cual permitiría cargar 2 camiones en paralelo, para que así el tiempo de permanencia promedio sea menor a 90 minutos, mejorando a la vez, otros elementos involucrados en el flujo de paneles.

Palabras Claves: Simulación, Mejora continua, Simio, Distribución, Utilización.

Abstract

A discrete simulation model is proposed for the finished-product storage area in the Arauco company Cholguan-Trupán plant, with the goal of decreasing waiting times of trucks which take material from this warehouse. Improvements in the processes that may affect in any way the timing are suggested as an alternative.

Gathered data was adjusted to probabilistic distributions to later design the model in the simulation software of Simio. Comparing the different alternatives, it was determined that the best option to improve the trucks waiting times at the warehouse is to set a specific truck arrival time. This by incorporating the least used crane to the truck-loading process, and by enabling a new loading area, which would allow loading two trucks simultaneously so that the average waiting time remains below 90 minutes, enhancing various elements in the panel flow at the same time.

Key Words: Simulation, Continuous improvement, Simio, Distribution, Utilization.

1. Introducción

Arauco es una empresa Chilena dedicada a la pulpa de celulosa y sus derivados, que con el tiempo se ha posicionado en el mercado latinoamericano. Actualmente cuenta con 5 áreas de negocios, orientando este proyecto al área de paneles, en la planta Trupán -Cholguan, ubicada en Yungay, Chile, específicamente en el área de Bodegas de Productos Terminados (BPT).

Si bien la zona de acopio de productos en un principio no era un área de importancia para la cadena de suministro, con el tiempo se realizaron estudios que concluyeron que es un factor importante a la hora de abastecer a los clientes, donde la mejora continua de sus procesos internos puede traer como consecuencia un aumento en la satisfacción del cliente y una disminución de sus costos, entre otros factores de relevancia. Es por esto que se quiere analizar el comportamiento actual de la bodega a través del uso de la simulación.

La simulación es una herramienta que ha ganado fuerza y muchos seguidores, siendo considerada actualmente como una de las herramientas más importantes a nivel mundial, se comprende este término según la RAE como representar algo, fingiendo o imitando lo que no es, en este caso representando un sistema complejo de almacenaje y despacho. Este es el caso de sistemas en los que determinados elementos compiten por acceder a recursos compartidos, y cuyo estado puede variar de forma no sincrónica y en paralelo, se requiere no tan solo una buena metodología para describir su comportamiento, sino que quien lo modela tenga un buen conocimiento del cómo, cuándo y por qué el estado del mismo sufre ciertos tipos de cambios. Por ello se puede definir simulación como una herramienta estadística basada en computadora

El modelado mediante simulación es un método flexible en comparación con otros, en el cual se puede evaluar estrategias sin perturbar el funcionamiento del sistema real, es por esta razón que la empresa Arauco ha decidido evaluar diversas alternativas sobre el área BPT para la mejora de sus procesos internos mediante esta herramienta, pues si bien, la bodega funciona correctamente almacenando y despachando productos a sus clientes, existen elementos que pueden optimizar el uso de los recursos involucrados en el almacenaje y despacho de productos, y a su vez, otros elementos que en paralelo retrasan los tiempos de atención que tienen los camiones, provocando colas que hacen que el tiempo total del camión en el sistema sobrepasen el tiempo límite definido por la empresa, es decir, sobrepasan los 90 minutos, incluso llegando a estar más de 120 minutos dentro de la planta, siendo este problema principal en el que se enfocará este proyecto, adicionalmente se puede ver que el Layout actual de la bodega pudiese ser mejorado para que así los recursos, en este caso las grúas que trasladan los productos, tengan una mayor utilización y acelere los procesos de traslado, y así el tiempo de permanencia de un camión dentro de la planta sea menor a 90 minutos.

Cabe destacar que Arauco trabaja con un sistema integrado de comercio SISCO, con el cual se realiza el pedido de camiones diarios y analiza los tiempos de entrada y salida de cada camión gracias a un sistema de GPS integrado, sin embargo no registra el tiempo real de espera que se produce. Por lo anterior se tuvo que realizar una toma de datos física para poder revelar los tiempos reales de cada proceso involucrado en el despacho de los camiones.

Este proyecto permite probar que existen mejores estrategias para la disminución del tiempo de permanencia que tengan los camiones dentro de la planta, y a su vez encontrar algunos elementos que perjudican a la cadena de suministro, interfiriendo en la red logística de esta bodega, buscando soluciones sin afectar los aspectos relevantes según la política de inventario y de seguridad que tiene la empresa.

2. Marco Teórico

2.1 Proceso recepción y almacenaje

El cliente emite su orden, la cual es recepcionada por la plataforma SAP, esta indica también si el producto ya se encuentra disponible y almacenado en la bodega o si es necesario pedir a producción los lotes de tableros solicitados para luego almacenarlo y despacharlo.

Si el producto no se encuentra en el almacén, se emite la orden a uno de los centros de producción (MDF1 y MDF2), estos serán definidos más adelante. Cada centro de producción tiene su grúa, recepcionando el lote de igual manera. El lote es retirado de la zona de pre-bodega por la grúa pertinente, este sector es donde se almacenan los tableros recepcionados y no pertenece a la BPT, y se almacena en un filo designado a cada tipo de tablero dentro de la bodega.

En caso de que el material pedido sea moldura, ranurado o melanina, y se encuentre el sustrato, tablero MDF utilizado para generar otro tipo de tablero con valor agregado, se encuentre en la bodega, la grúa sustrato cumple la función de trasladar estos tableros a su centro de producción específico (Valor Agregado o Moldura), para luego quedar en la zona de pre-bodega y ser directamente retirados por la grúa encargada de trasladar los lotes a la zona de despacho.

Las órdenes que ya se encuentren en el almacén serán trasladadas por la grúa que prepara las cargas a la zona de despacho el día en que serán despachados por medio de camiones.

Para entender mejor el layout de la BPT ver figura 1



Figura 1. Layout general de BPT.

2.2 Proceso despacho de producto

Según WebSphere Commerce, el despacho de pedidos es el proceso de servir un pedido a un cliente. Un centro de despacho de pedidos actúa como almacén donde los productos se empaquetan y envían a los clientes. Los centros de despacho de pedidos, las tiendas y las empresas de transportes se tratan como entidades separadas.

El centro de despacho de este proyecto es el área BPT, cuya función es recepcionar los distintos tipos de tableros, almacenarlos, y prepararlos para ser despachados a sus clientes por medio de camiones.

Se pide la cantidad de camiones que se necesitan para despachar los tableros por medio de la plataforma SISCO un día antes, indicando el horario en el que se tiene que presentar en planta, a este horario le denominamos “hora ticket”.

Al tener en conocimiento el orden de llegada de cada camión según el tipo de tablero que se despachará, el operador busca el producto en la plataforma SAP, la cual tiene los registros de su ubicación, esta planilla se entrega a los operarios de preparación carga, quienes realizan la búsqueda del material y coloca su etiqueta en caso de ser producto para cliente internacional, registrando manualmente en una planilla la nueva ubicación exacta en caso de que el producto no se encuentre en la zona especificada por SAP, luego esta planilla es entregada a la grúa encargada de preparar el despacho para que retire el material del almacén y lo lleve a la zona de despacho. El tiempo que se demora un operario de preparación carga para encontrar y etiquetar un lote puede variar a causa del desorden que pueda existir en el almacén.

El camión ingresa a la planta a la hora ticket, dirigiéndose a la zona carga de la Bodega de Productos Terminados, existen 2 zonas de carga pero solo se utiliza la zona 1, la zona 2 es una zona de espera. En la zona de carga, la grúa despacho se encarga de cargar los camiones con los lotes de tableros para luego pasar a la zona de amarre, donde se realiza el proceso de sujeción del lote, los encargados de este proceso son 2 operarios y el conductor del camión. Al finalizar el proceso amarre se procede a la romana, encargada de realizar el pesaje del camión con los productos, en caso de que el peso sea mayor a 50 m³ se vuelve a la zona de amarre donde con la ayuda de la grúa despacho se acomodan y/o sacan algunos lotes, al encontrarse el camión en un rango de peso menor a 50 m³ se dirige a la zona de encarpado, en la cual realiza el proceso de encarpe del camión con ayuda de una máquina automática y 4 operadores para luego salir de la planta y dirigirse al cliente. Es importante destacar que la atención de camiones está basado en el orden FIFO.

Para su mejor entendimiento, en la figura 2 se muestra el layout de la BPT donde se realiza el proceso despacho

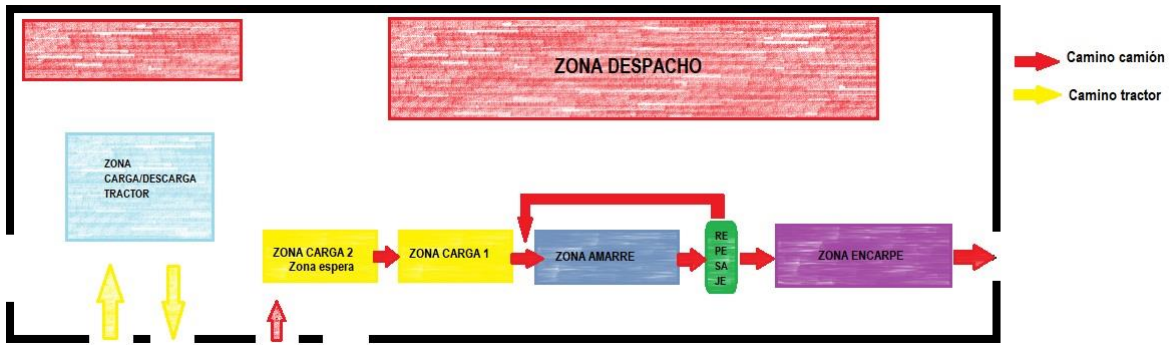


Figura 2. Layout zona despacho de BPT.

2.3 Software de simulación Simio

Simio Simulation and Scheduling Software fue desarrollado el 2006 por Simio LLC, una empresa privada con sede en Pittsburgh, Pennsylvania, dedicada a ofrecer soluciones de vanguardia para el diseño, la emulación y la programación de sistemas complejos, cuya principal ventaja sobre otros Software de simulación es que no utiliza códigos como lenguaje de entrada, apuntando a mejorar el entendimiento de su utilización y siendo más “amigable” con el usuario.

Simio está diseñado desde cero para soportar el paradigma de modelado de objetos; sin embargo, también es compatible con el uso continuo de paradigmas de modelado múltiples, incluida la orientación del proceso y la orientación del evento. También es totalmente compatible con sistemas discretos y continuos, junto con aplicaciones a gran escala basadas en Modelos Basados en Agentes (MBA). Estos paradigmas de modelado se pueden mezclar libremente dentro de un modelo único.

Los objetos se pueden almacenar en bibliotecas y compartir fácilmente, pues el sistema está diseñado para facilitar que incluso los modeladores principiantes puedan construir sus propios objetos inteligentes para usarlos en la construcción de modelos jerárquicos.

3. Metodología

Para realizar este proyecto de simulación se utilizó la metodología propuesta por Law & Kelton (2007), la cual permite representar la situación actual de la bodega de productos terminados de paneles, y también se utilizó la metodología según Piera, Guasch, Casanovas y Ramos (2006), explicando genéricamente las etapas que se requieren para mejorar la logística de una empresa mediante la simulación, en este caso la empresa Arauco.

En diagrama 1 se presenta el proceso utilizado para llevar a cabo este proyecto de simulación.

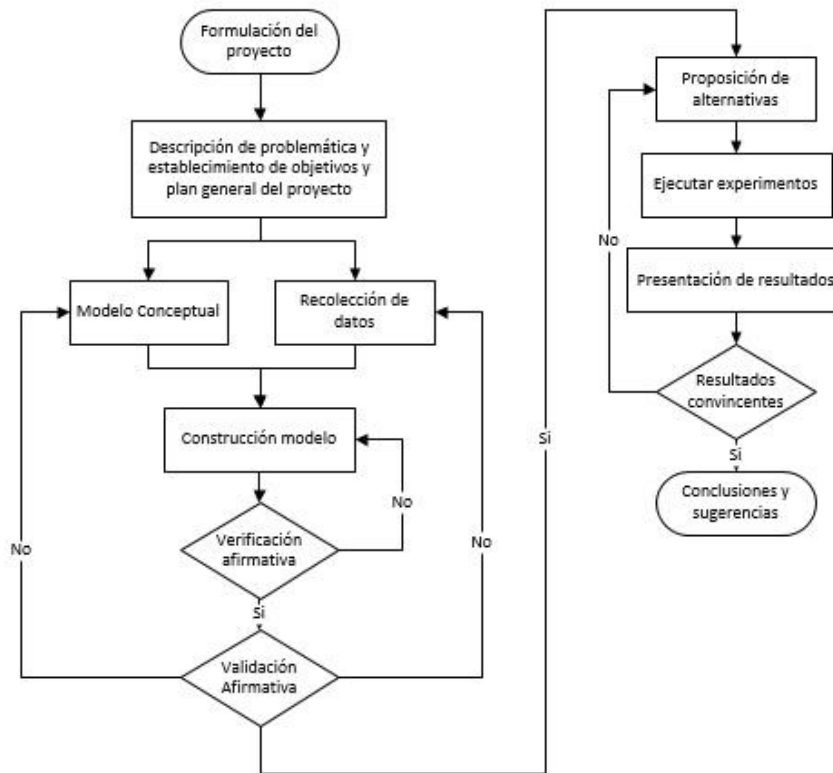


Diagrama 1. Etapas de metodología

I. Formulación del problema

Etapa en la cual la empresa Arauco plantea la problemática sobre la BPT, para luego describir los procesos involucrados y sus restricciones. En esta etapa se identifican los objetivos y la planificación general del proyecto.

II. Modelo conceptual

El modelador se familiariza con la bodega, realizando un reconocimiento en terreno para ver sus procesos. También se entrevista al personal encargado de cada proceso para tener una idea más clara de lo que se quiere simular y busca toda aquella información que se cree relevante, por ejemplo los recursos que se utilizan, como grúas y tractores, el personal existente, la entidad en estudio, que son los tipos de tableros y camiones, y en general generar un esquema que muestre la estructura general de la BPT, reconociendo su layout actual.

Es importante definir la secuencia de actividades para elaborar el modelo gráfico e incluso identificar problemas que no se presentaron en la formulación del proyecto.

III. Recolección de datos

Al mismo tiempo en el que se realiza el modelo conceptual es necesario recolectar toda información que identifica la estructura del sistema a estudiar, tomando una cantidad de datos significativos, que especifiquen los parámetros y distribuciones probabilísticas del modelo.

La recolección de datos se realizó durante un mes sobre los tiempos de los camiones en planta y en cada proceso, mediante encuestas realizadas a los mismos camioneros.

La recolección de datos de líneas productivas se prolongó por 4 meses, y se compara con los datos provenientes del informe anual, con el fin de verificar si los datos no estaban alterados por algún evento en específico. Se verificaron y validaron los porcentajes de producción de cada producto y a su vez el porcentaje de cada camión según el tipo de producto a despachar.

Para toda recolección de datos se calculó un tamaño muestral (n) específico, para así elaborar las curvas de distribución de probabilidad para cada caso con mayor precisión. Se contó en un principio con un n=30 inicial para cada actividad en estudio que requería analizar su distribución, luego con la Ec. 1 se calculó el mejor tamaño muestral.

Ecuación 1 (Ec. 1): Ecuación utilizada para calcular un número de muestra inicial menor o igual a 30 datos.

$$n = \left[\frac{t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \cdot S(n)}{\varepsilon} \right]^2 \quad \text{Ec. 1}$$

n: Número de datos de muestreo necesario (Tamaño de muestra)
S: Desviación estándar de la muestra inicial (Formula 1)
 ε : Error relativo respecto al sistema real

$t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$: Valor crítico de una distribución t-student con n – 1 grados de libertad que deja una probabilidad a su derecha igual a $\alpha/2$ ($\alpha = 10\%$).

Para que los datos recolectados sean útiles se necesita ajustar estos datos a alguna distribución de probabilidad que permita analizar de mejor forma el comportamiento del modelo, para esto existen programas computacionales, como *Expertfit* o *Easyfit*, que permiten de manera rápida y eficiente seleccionar la función de distribución que mejor se ajusta según las pruebas de bondad aplicadas, entre estas pruebas se encuentran

- Prueba Kolgomorov Smirnov
- Prueba Anderson Darling

Para los casos en los cuales no se contaba con datos suficientes, se optó por acudir a la opinión de expertos para la estimación de tiempos en escenarios optimista, pesimista y más probable. Fueron consultados los profesionales y trabajadores de la obra. Con estos escenarios se generó una distribución triangular.

IV. Validación modelo conceptual

Expertos en el sistema a modelar, es decir el personal involucrado en los procesos, realizaron un reconocimiento al modelo conceptual, identificando la problemática que se planteó e identificando los errores u omisiones del concepto descrito por el modelador, para poder corregirlos.

V. Construcción del modelo en software de simulación

Elegir el software de simulación para construir el modelo, basando la elección en la comodidad del modelador, costos de licencia y si se acomoda a la problemática. En este caso se escogió el software Simio, debido a su simplicidad de programación. Luego se construye el layout de la bodega, programando los procesos pertinentes con los datos obtenidos, imitando la BPT lo más parecido posible a la realidad.

VI. Verificación y validación del modelo simulado

Se mostró el modelo simulado a expertos, quienes reconocen si su funcionamiento es correcto y se asemeja a la realidad.

Se requiere validar el modelo estadísticamente para ver cuán exacto es con respecto al sistema real, y así poder sacar conclusiones coherentes basadas en las evidencias representadas, por lo que se debe comparar los indicadores de desempeño generados por el modelo simulado. Para su comparación se utilizó la *prueba t para datos apareados (Ec. 2)*, y a su vez, también es importante realizar un análisis de sensibilidad, identificando factores que más afectan a la medida de desempeño.

Ecuación 2: Técnica que permite la comparación de medias cuando el número de observaciones son iguales, en este caso se compararon los datos registrados de la(s) variable(s) desempeño con los datos simulados (Cantidad de datos es igual a la cantidad de réplicas).

H₀: La media del sistema real con el sistema simulado son iguales

H₁: La media del sistema real con el sistema simulado no son iguales

$$\bar{X} - \bar{Y} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{S(n)}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec. 2}$$

$\bar{X} - \bar{Y}$: Diferencia de promedios

$S(n)$: Desviación estándar de la variable diferencia

$t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}}$: Valor crítico de una distribución t-student con n-1 grados de libertad que deja una probabilidad a su derecha igual a $\alpha/2$ ($\alpha = 10\%$).

Se utilizó programa SPSS que calcula de manera clara y completa este test, calculando tanto el intervalo de confianza como el valor p que nos permite aceptar o rechazar nuestra hipótesis nula.

Se calculó al igual que el tamaño muestral de los datos, con la **Ec. 1**, el número de corridas que se deben realizar en Simio ($\epsilon = 10\%$).

VII. Diseño y elección de alternativas

Proponer diferentes alternativas que permitan de mejor manera el cumplimiento del objetivo y la problemática en general, identificando variables que puedan ser modificadas dentro del sistema real, sin alterar los requisitos obligatorios que tiene la empresa, como lo es la seguridad.

Luego se procede a comparar las distintas alternativas entre sí contando con el escenario original, para escoger aquella alternativa que cumpla con la mayoría sino todos los objetivos propuestos, utilizando el test ANOVA y test Duncan con el programa SPSS con un nivel de significancia del 10%.

Ec. 3: Fórmula matemática para calcular la cantidad de comparaciones (c) a realizar.

$$c = \frac{k(k-1)}{2} \quad \text{Ec. 3}$$

c: Número de intervalos de confianza

k: Cantidad de escenarios a evaluar.

VIII. Análisis de resultados

Documentar el proyecto, describiendo el programa de simulación junto a los resultados obtenidos, planteado las conclusiones pertinentes en base a estos resultados.

4. Formulación del proyecto

La empresa Arauco al crear el área de bodega de productos terminados propuso una configuración específica para el almacenaje de paneles, basándose en el factor de acopio de cada producto, para luego ser despachados a sus clientes. Si bien, esta configuración funciona correctamente se busca que los tiempos de despacho disminuyan, teniendo en consideración las políticas de seguridad, y a su vez, la utilización de su maquinaria, en este caso grúas, tengan un mayor porcentaje de utilización para la eficiencia del proceso.

Se busca que los camiones que despachan los diversos productos que almacena la bodega no estén en planta más de 90 minutos, y a la vez, se necesita que la bodega no tenga un sobre stock, pues la capacidad máxima de almacenaje es de 55.000 m³, pero se espera no superar los 45.000 m³.

El área de producción de paneles consta de 2 líneas productivas, línea 1 y línea 2, las cuales producen tableros desnudos (Paneles) para clientes tanto nacionales como internacionales, clasificándose en Tableros venta, tableros que se venden sin ningún otro proceso que agregue valor (MDF) pero si este tiene algún defecto que imposibilita la venta se clasifica en material de segunda, tablero que puede venderse pero a un menor precio o en tapas, tableros que se utilizan para consumo propio de la empresa. Sustrato es el tablero desnudo, materia prima para otros productos, dirigiéndose a otras líneas productivas, agregándole valor, estos se clasifican en moldura, ranurado o melamina, para ser reingresados como productos terminados a la misma bodega. Véase diagrama 1.

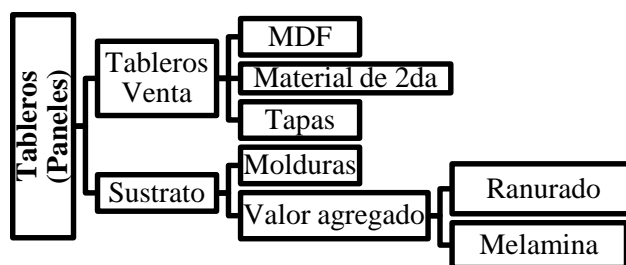


Diagrama 1: Clasificación paneles. Elaboración propia.

Se quiere averiguar el tiempo de espera real que tienen los camiones antes de comenzar con el proceso de carga, debido a que en el programa SISCO, el cual ayuda a realizar el pedido de camiones y analizar los tiempos que permanecen en planta, no está mostrando correctamente los tiempos en las colas que realmente se producen, por lo que se requiere un análisis de diversas alternativas que puedan mejorar el porcentaje de camiones que permanecen dentro de la planta, es decir, menos de 90 minutos, e incluso mejorándolo a 70 minutos aproximadamente.

Adicionalmente se reconoce que el sobre stock produce un desorden en la bodega. Además su layout actual muestra deficiencias a la hora de la búsqueda de los paneles, a causa de la falta de espacios para retirar sus productos, es decir, los paneles están en una zona poco estratégica, causando tiempo de demora en el retiro del almacén para luego llevarlo a la zona de despacho, o su ubicación real no es la misma ubicación que está informada según el programa SAP que maneja la empresa. También existe el error manual provocado por las grúas y quien las maneja, causan daños en el material, transformando el tablero en material de 2da o tapas.

Objetivo General

Proponer alternativas de disminución de tiempo de camiones de despacho dentro de la empresa Arauco, planta Trupán, área Bodega productos terminados, durante un día de producción.

Objetivos Específicos

- ✓ Describir los procesos internos y externos que afectan a la bodega de productos terminados.
- ✓ Identificar los factores que alteran el tiempo de los procesos involucrados en el flujo de paneles para ser despachados.
- ✓ Analizar la utilización de los recursos de transporte utilizados por la bodega.
- ✓ Construir modelo en software de Simulación del flujo de los paneles dentro de la bodega.
- ✓ Proponer alternativas de mejora el tiempo en el sistema de los camiones y disminuya el nivel de inventario de la bodega.
- ✓ Explicar uso de modelo a encargado de petición de camiones

5. Resultados y discusión

Se presenta la aplicación práctica de la metodología planteada.

5.1 Descripción de modelo conceptual

Se consideró 6 tipos de productos, los cuales son una generalización de la gran variedad de tipos de productos que existen en la bodega para ser despachados: Tablero Nacional, Tablero Internacional, Moldura, Valor agregado, Tablero 2da y Tapa, los cuales se calculó el promedio en m³ de cada lote en la Tabla 1.

Lote	M ³
Tablero Nacional	3,16224
Tablero Internacional	3,16224
Moldura	2,828448
Valor Agregado	3,16224
Tablero 2da	3,16224
Tapa	3,16224

Tabla 1. m³ de cada tipo de tablero

Cuentan con 2 tractores que llevan el sustrato moldura a la línea productiva moldura para luego reintegrar el producto moldura a la bodega, y con 6 grúas:

- Grúa preparación carga: Busca el producto y lo desplaza a la zona despacho.
- Grúa despacho: Realiza la carga de los productos al camión.
- Grúa moldura: Realiza la carga, descarga y almacenaje del producto moldura.
- Grúa sustrato: Se encarga de llevar el sustrato a línea productiva valor agregado o a zona carga de sustrato moldura.
- Grúa Línea 1: Distribuye los productos que entrega la línea 1 a la bodega, además lleva sustrato a línea productiva valor agregado.
- Grúa Línea 2: Distribuye los productos que entrega la línea 1 a la bodega.

Se presenta en la Figura 3 el layout de la bodega y algunas especificaciones a tener en cuenta, y en el Diagrama 2 se muestra el flujo de los paneles.

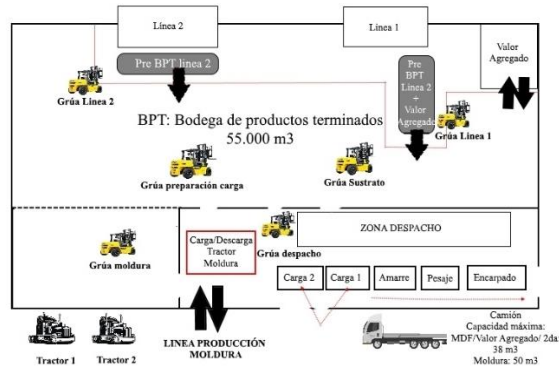


Figura 3. Layout general de BPT.

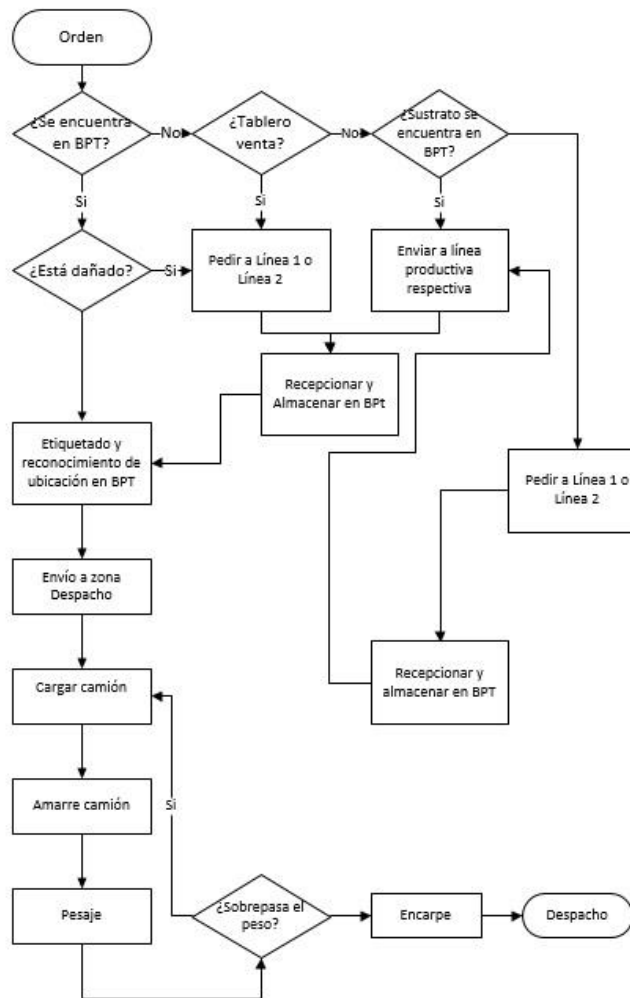


Diagrama 2. Flujo de Paneles (generalizado).

5.2 Recolección de datos

Distribuciones de probabilidad aceptadas

En la Tabla 2 se puede ver cada distribución de probabilidad aceptada según los datos que se obtuvieron de cada tipo de proceso en estudio, aplicando a la vez los test de bondad de ajuste para poder comprobar de manera estadística que las distribuciones escogidas se comportan como la realidad, y que los datos son de aporte o identificar si es necesario tomar más muestras.

Distribuciones de probabilidad					
Arribo de camiones					
Turno Mañana 6:00 am – 14:00 pm	LogLogistic	Shape: 2,07851		Scale: 18,84137	
Turno Tarde 14:00 pm – 22:00 pm	LogLogistic	Shape: 2,38116		Scale: 17,78827	
Turno Noche 22:00 pm – 06:00 am	JohnsonSB	$\alpha 1$: 2,10486	$\alpha 2$: 0,68036	Mín.: 2,39273	Máx.: 958,13151
Tiempo procesos					
Carga de camiones	Log-Normal	Media: 3,107	Desviación estándar: 0,40268		
Amarre de camiones	Log-Logistic	Shape: 4,8619	Scale: 16,367		
Encarpado de camiones	Triangular	Moda: 18	Mín.: 15,714	Máx.: 66	
Carga y Descarga Moldura	JohnsonSB	$\alpha 1$: 1,08183	$\alpha 2$: 3,3621	Mín.: 9,43092	Máx.: 43,57562
Descarga Sustrato	JohnsonSB	$\alpha 1$: 0,47762	$\alpha 2$: 1,04263	Mín.: 4,95247	Máx.: 42,87903
Carga Sustrato	JohnsonSB	$\alpha 1$: 0,67837	$\alpha 2$: 0,8563	Mín.: 8,31983	Máx.: 41,26559
Línea 1					
Arribo	Pearson VI	Schape A: 3,3356	Shape B: 1,7825	Scale: 7,6249	
Línea 2					
Arribo	Pearson VI	Schape A: 57,239	Shape B: 1,647	Scale: 0,15341	

Tabla 2. Distribuciones de probabilidad clasificada por proceso.

5.3 Construcción modelo en Simio

Se construyó el modelo en el software Simio, presentado en la figura 4.

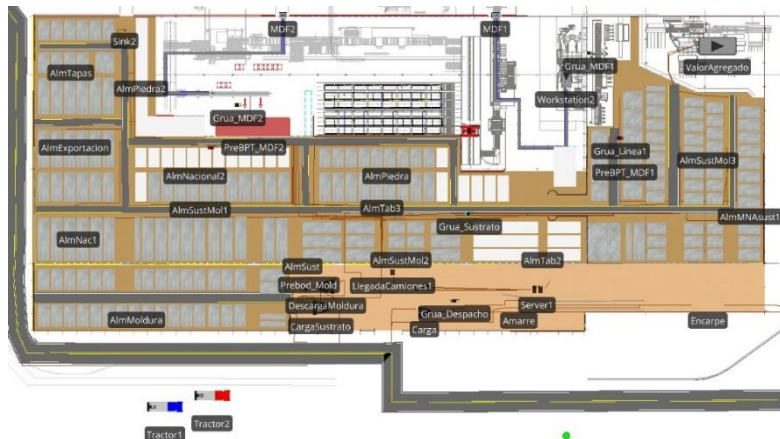


Figura 4. Layout de BPT modelado en Simio.

5.4 Comparación modelo con sistema real

Se calculó la cantidad de réplicas que se deben realizar, basado en la **Ec. 1**, replicando 1 día de producción 30 veces (n inicial), con un nivel de significancia del 10% y un error del 10%, el cual dio $n = 71$, es decir, se deberían realizar 71 réplicas de 24 horas, pero al tener 100 datos reales, se decidió hacer 100 réplicas para su comparación, sin afectar la validación.

La variable desempeño, en este caso, el tiempo promedio que permanece un camión dentro de la planta para despachar los diversos tipos de tableros en un día, se compara con entre el sistema real y el sistema simulado, para comprobar si se comportan de igual manera.

Los datos fueron obtenidos durante un mes, en los cuales se estudiaron los tiempos de arribo entre camiones, tiempo de carga, tiempo de amarre y tiempo de encarpado para cada camión. Se identificó un tiempo promedio de espera de 40 minutos, el cual no se ve reflejado en los datos obtenidos por la plataforma SISCO, ya que según esta el tiempo promedio de permanencia de un camión en planta es de 80 minutos y al obtener estos datos el tiempo obtenido fue de aproximadamente 110 minutos. En conclusión, SISCO no está registrando correctamente los tiempos en que el camión permanece dentro de la planta y es por eso que la validación se realizó entre 100 datos reales, tomando en cuenta los 40 minutos promedio de espera, y los 100 datos simulados con un nivel de significancia del 10% en el programa SPSS, el cual se puede ver en la figura 5.

Prueba de muestras independientes											
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						90% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior	
TiempoTotal	Se asumen varianzas iguales	42,770	,000	,703	198	,483	,04428	,06297	-,05979	,14835	
	No se asumen varianzas iguales			,703	116,765	,483	,04428	,06297	-,06013	,14869	

Figura 5. Tabla prueba t de muestras independientes sobre el tiempo total de permanencia de los camiones en planta por el programa SPSS.

El intervalo de confianza contiene el 0 y su valor p es 0,483, valor mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0,1$), por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula, la cual indica que ambas medias son iguales y se puede decir que ambos sistemas se comportan igual.

Adicionalmente se quiso comprobar que el tiempo de producción del sistema real con el tiempo de producción del sistema modelado se comporta de igual manera, por lo que se realizó el mismo procedimiento de comparación presentado en la figura 6.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	90% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
TiempoProduccion	Se asumen varianzas iguales	18,904	,000	-1,120	198	,264	-,02279	,02035	-,05643	,01084
	No se asumen varianzas iguales			-1,120	147,089	,265	-,02279	,02035	-,05648	,01090

Figura 6. Tabla prueba t de muestras independientes sobre el tiempo de producción por el programa SPSS.

El intervalo de confianza contiene el 0 y su valor p es 0,264, valor mayor al nivel de significancia ($\alpha = 0,1$), por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula, la cual indica que ambas medias son iguales y se puede decir que el sistema simulado representa el comportamiento del sistema real en relación al tiempo de producción.

5.5 Diseño y comparación de alternativas

5.5.1 Alternativas

I. Agregar zona de amarre de camión (Escenario 1).

Se quiere saber si el proceso de amarrado afecta severamente al tiempo de permanencia del camión dentro de la planta, este proceso es realizado por 2 operarios y el conductor del camión. Este escenario propone la presencia de 2 operarios más que se dediquen a ayudar a los camioneros en la zona de amarre, es decir, lograr amarrar 2 en paralelo.

II. Agregar otra grúa para cargar camión (Escenario 2).

Al realizar el estudio visual del comportamiento de los camiones dentro de la planta se pudo ver que la cola se produce al llegar a la zona carga. La bodega cuenta con dos espacios para posicionar los camiones, siendo la zona de carga 1 donde se produce el proceso de carga y la zona de carga 2 solo donde se ubica el siguiente camión en espera a ser cargado en la zona de carga 1. También se logró identificar gracias al software y a la opinión de expertos que la grúa con menor porcentaje de utilización es la grúa sustrato (18%), es por eso que se generó el Escenario 2, alternativa que propone utilizar la grúa sustrato para cargar el camión en la zona de carga 2, es decir, logrando que se carguen 2 camiones simultáneamente, y así disminuir el tiempo de permanencia del camión dentro de la planta.

III. Controlar arribo de camiones.

a. 20 minutos/20 minutos/30 minutos (Escenario 3)

Hay que tener en cuenta que se quieren en promedio 50 camiones o más diarios, para que así baje el stock en la bodega, por lo que se quiere proponer que en el horario de mañana y de tarde los camiones lleguen cada 20 minutos y en la noche haya una pausa de 1 hora para que luego los camiones lleguen cada 30 minutos.

b. 25 minutos/25 minutos/30 minutos (Escenario 4)

Esta es otra opción de arribo de camiones, se propone que en el horario de la mañana y de la tarde los camiones lleguen cada 25 minutos y en el horario de la noche cada 30 minutos.

IV. Control de arribo de camiones y aumentar una grúa para cargar camión

a. 25 minutos/25 minutos/30 minutos y zona de Amarre extra (Escenario 5)

Se propone que los camiones lleguen cada 25 minutos en el horario de mañana y tarde, y cada 30 minutos en el horario de noche, incluyendo otra zona de amarre como en la propuesta del Escenario 1

b. 25 minutos/25 minutos/25 minutos y grúa extra en proceso carga (Escenario 6)

Se propone que los camiones lleguen cada 25 minutos en el horario de mañana y tarde, y cada 30 minutos en el horario de noche, incluyendo otra grúa que ayude al proceso de carga, en este caso se agregaría la grúa sustrato debido a que tiene un menor porcentaje de utilización dentro de los procesos de la bodega, y se sitúa más cerca de la zona despacho en comparación con otras grúas.

5.5.2 Comparación de alternativas

Al tener 6 escenarios (K=6) se calcula la cantidad a comparar (c) ;

$$c = \frac{7 * (7 - 1)}{2} = 21$$

Se utilizó el programa SPSS para poder hacer las pruebas pertinentes de comparación de alternativas, en este caso se realiza el test ANOVA para analizar la homogeneidad de las varianzas mostrada en la Tabla 2, y luego de comprobar que se rechaza la hipótesis de varianzas homogéneas ya que su significancia (Valor p) es casi nula y menor que el nivel de significancia aplicado (10%) se aplica el Test Duncan, presentado en la Tabla 3.

Para una mejor visualización se puede ver en la Figura 7 las diferencias entre las medias de cada escenario, seleccionando aquel escenario que minimice el tiempo promedio de permanencia de los camiones dentro de la planta, y al analizarlo tanto visualmente como estadísticamente, se realizó una tabla, tabla 4, de comparación de escenarios para comprender de mejor manera cuál escenario predomina y es la mejor opción.

ANOVA

Tiempos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16,819	6	2,803	19,789	,000
Dentro de grupos	98,164	693	,142		
Total	114,983	699			

Tabla 2. Tabla ANOVA sobre homogeneidad de varianzas entre escenarios.

Tiempos

Duncan^a

Escenarios	N	Subconjunto para alfa = 0.1				
		1	2	3	4	5
ESCENARIO6	100	1,3593				
ESCENARIO2	100		1,4840			
ESCENARIO5	100		1,5716	1,5716		
ESCENARIO3	100			1,6259	1,6259	
ESCENARIO1	100				1,6772	
Original	100					1,7985
ESCENARIO4	100					1,8303
Sig.		1,000	,100	,307	,335	,550

Tabla 3. Comparación de alternativas a través del test Duncan

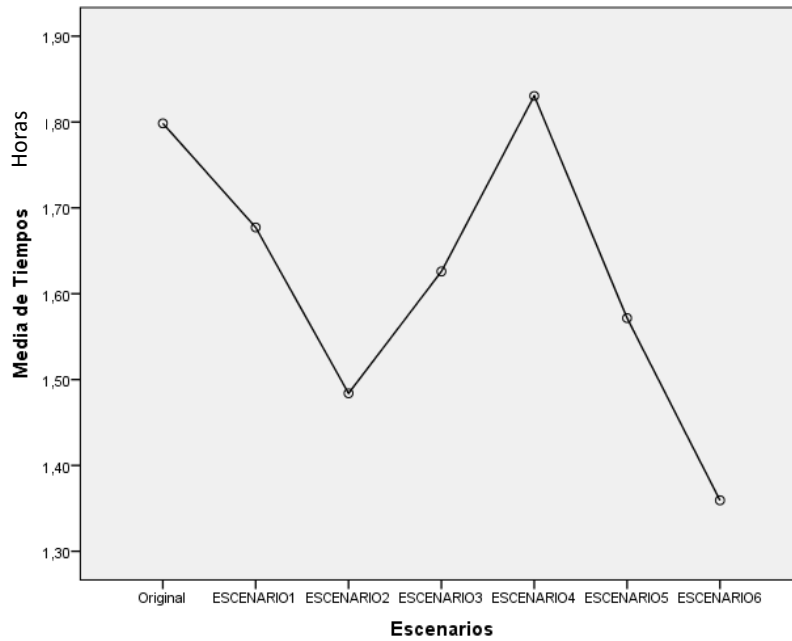


Figura 7. Gráfico de las medias de cada Escenario

Comparación	Elección
EscenarioOriginal – Escenario1	Escenario 1
EscenarioOriginal – Escenario2	Escenario 2
EscenarioOriginal – Escenario3	Escenario 3
EscenarioOriginal – Escenario4	No hay diferencia
EscenarioOriginal – Escenario5	Escenario 5
EscenarioOriginal – Escenario6	Escenario 6*
Escenario1 – Escenario2	Escenario 2
Escenario1 – Escenario3	No hay diferencia
Escenario1 – Escenario4	Escenario 1
Escenario1 – Escenario5	Escenario 5
Escenario1 – Escenario6	Escenario 6*
Escenario2 – Escenario3	Escenario 2
Escenario2 – Escenario4	Escenario 2
Escenario2 – Escenario5	No hay diferencia
Escenario2 – Escenario6	Escenario 6
Escenario3 – Escenario4	Escenario 3
Escenario3 – Escenario5	No hay diferencia
Escenario3 – Escenario6	Escenario 6*
Escenario4 – Escenario5	Escenario 5
Escenario4 – Escenario6	Escenario 6*
Escenario5 – Escenario6	Escenario 6*

Tabla 4. Comparación de alternativas

El mejor escenario es el escenario 6, es decir, que la grúa sustrato apoye al proceso de carga de camión, para poder cargar 2 camiones en paralelo, y a la vez, pedir que en el horario de mañana y tarde los camiones lleguen cada 25 minutos y en el horario de la noche cada 30 minutos.

6. Discusión y conclusiones

En un principio se quiso hacer una “radiografía” de la bodega de productos terminados de la planta Trupán, para poder analizar los procesos y elementos involucrados en el flujo de los distintos tipos de tableros que existen almacenados, por lo que se creó un modelo en Simio de la bodega que involucra la mayoría de los procesos, pero en este proyecto se enfocó en el tema de disminución de tiempo en planta de los camiones solicitados para despachar los productos, dado que la empresa no se había percatado que el programa utilizado para poder medir estos tiempos no estaba funcionando, debido a que al realizar una recolección de datos y al hablar con el personal y los mismos camioneros se pudo sacar la conclusión de que el sistema no estaba funcionando y que toma en cuenta generalmente el tiempo desde que se comenzó a cargar el camión hasta que sale de la planta, y no el tiempo de espera antes de empezar el proceso de despacho, por lo que se debe tener una revisión al programa SISCO.

Al realizar la simulación y la selección de alternativas, las cuales fueron propuestas tanto por el modelador como por expertos, quienes son los que trabajan directamente en la bodega, se determinó que es primordial abrir la segunda zona de carga, siendo apoyado por la grúa sustrato, aumentando su utilización en promedio en un 22%, requerido que estos lleguen cada 25 minutos entre las 06:00 am y 22:00 pm, es decir en el horario de mañana y tarde, y cada 30 minutos entre las 22:00 pm y 06:00 am, horario de noche, así en total llegan aproximadamente 50 camiones diarios, aumentando la salida de tableros.

Es importante aclarar que la plataforma SISCO no está tomando correctamente los tiempos de permanencia del camión dentro de la planta, pues hay una gran diferencia entre los tiempos entregados por SISCO y los tiempos tomados por el modelador, donde se pudo identificar y comprobar con expertos que el tiempo de espera antes de empezar el proceso de despacho es de aproximadamente 40 minutos, concluyendo que aproximadamente solo un 44% de los camiones permanece menos de 1,5 horas dentro de la planta, con un tiempo total promedio de permanencia de 1,8 horas.

Aplicando la alternativa seleccionada el tiempo promedio disminuiría aproximadamente un 25%, con un tiempo promedio de 1,36 horas (81 minutos), teniendo en cuenta aproximadamente el 70% de los camiones estaría menos de 1.5 horas dentro de la planta, es decir, hay una mejora de aproximadamente un 59% en términos del porcentaje promedio de camiones que permanecen en planta menos de 1.5 horas, respecto del porcentaje de camiones que permanecen más de dos horas en la planta, este disminuye de un 27% a solo un 3% como se puede ver en la figura 8, situación actual versus escenario alternativa 6.

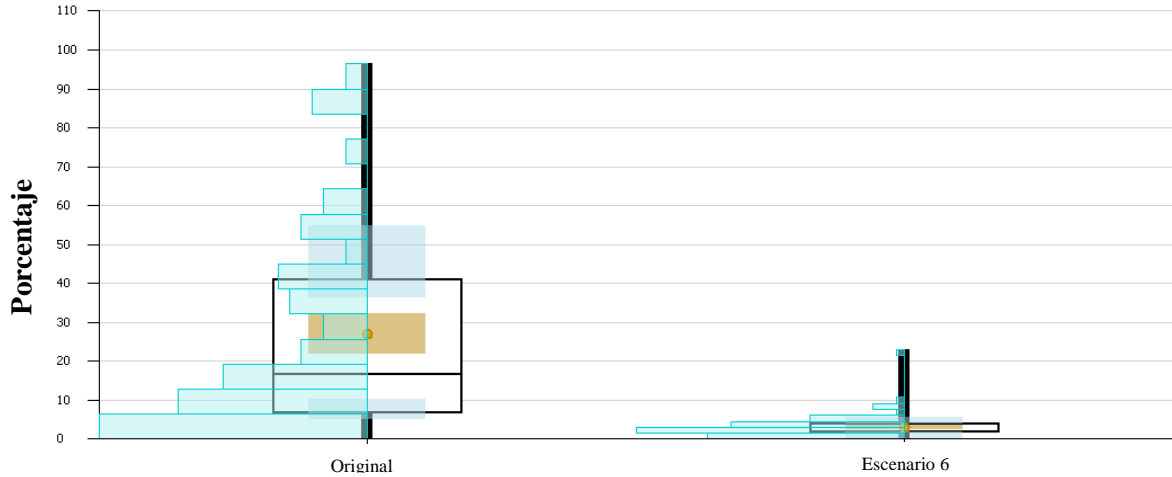


Figura 8. Diagrama de caja junto a histograma de escenario original y escenario 6 del porcentaje de camiones que permanece más de 2 horas en planta. Fuente: Simio.

También es importante recalcar que el porcentaje de utilización promedio tanto de la grúa de despacho como de la grúa sustrato aumentan. La figura 9 y 10 muestran dicho resultado.

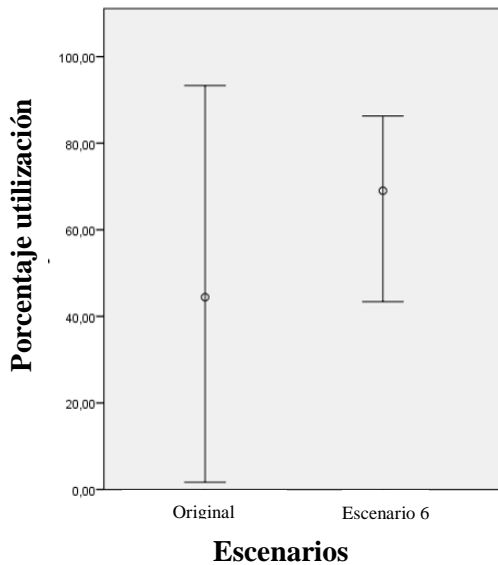


Figura 9. Gráfico de máximos y mínimos del porcentaje de utilización de la grúa sustrato. Fuente: SPSS

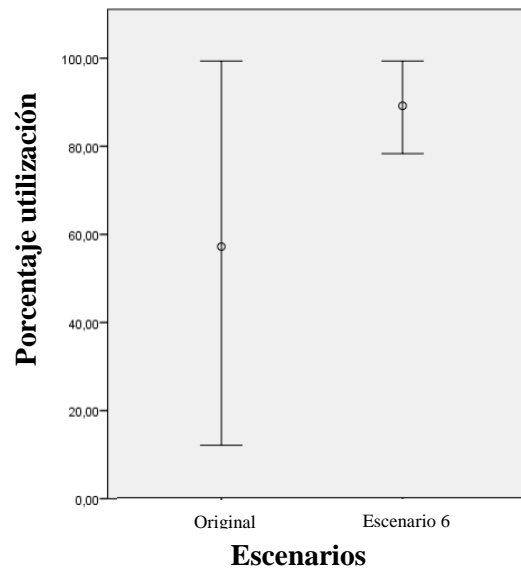


Figura 10. Gráfico de máximos y mínimos del porcentaje de utilización de la grúa Despacho. Fuente: SPSS

Este modelo se quiere presentar al personal que solicita los camiones, para que pueda simular de manera fácil los tiempos de arribo que quiere para los camiones, y saber aproximadamente cuánto tiempo promedio permanecerá en planta.

Ahora como el modelo simulado tiene presente todos los procesos, se puede realizar otros tipos de prueba para mejorar los procesos internos como lo es la búsqueda de productos para el despacho, la optimización del layout, entre otras opciones que se pueden ver en la sección sugerencias.

7. Sugerencias

- Abrir la segunda zona de carga es indispensable para mejorar el tiempo de permanencia de los camiones despachadores en planta, ya que al cargar 2 camiones en paralelo ayuda a que se disminuya el tiempo de espera, el cual en un principio era en promedio 40 minutos.
- Realizar un cambio en el layout de la bodega de productos terminados con respecto su almacenaje, debido a que es mejor que se encuentren los productos con mayor rotación de inventario cerca de la zona de despacho, para que así la grúa de preparación carga tenga un menor tiempo en traslado, considerando también que el sustrato puede ubicarse más lejano a la zona de despacho, ya que la grúa sustrato tiene un menor porcentaje de utilización y puede incurrir en más tiempo de búsqueda de productos.
- Se necesita tener un mayor control de los camiones y sus horarios de llegada en la planta, puesto que llegan de manera desordenada, teniendo un mayor número de cola durante la mañana y la tarde. Un horario controlado de llegada permitiría un menor tiempo de permanencia del camión dentro de la planta, se sugiere que los camiones lleguen cada 25 minutos en el horario de mañana y tarde, y cada 30 minutos en el horario de noche.
- Aumentar la petición de camiones al sistema, ya que se pudo analizar que si existe una cantidad sobre 43 camiones diarios, el stock se mantiene o baja, causando una disminución de m³ utilizados en bodega, y con el tiempo la disminución de este inventario provocaría un mayor orden en el almacenaje, por lo que se debería pedir una cantidad promedio de 50 camiones diarios para que salga el mayor stock posible sin afectar mayormente el tiempo de permanencia de los camiones dentro de la planta.
- Es importante tener un control de inventario, y a pesar de que tienen un control manual realizado por operarios, es conveniente tener un sistema que registre de manera más eficiente las ubicaciones de los productos, ya que existe una demora en la búsqueda de productos considerable, y si incluso no son encontrados, se pide a producción un nuevo producto, aumentando la cantidad de inventario en la BPT.

Esto puede ser consecuencia del sobre stock en la bodega, pues al no tener espacio suficiente en las zonas de acopio asignadas para cada material, la grúa encargada de recepcionar el producto lo coloca en un sector equivocado y no registrado. También existe desorden a la hora de retirar el producto para despacho, ya que este se puede encontrar escondido y para retirarlo se requiere mover otros productos, acopiándolos en otra zona sin registrar el cambio en el sistema.

- Al analizar los porcentajes de utilización de las grúas se puede ver que es necesario una reestructuración, puesto que las grúas de sustrato y línea 1 no están siendo utilizadas eficientemente, para esto se recomienda que la grúa sustrato apoye al proceso de carga de camión, y a la vez, la grúa 1 pudiese ser de ayuda para la grúa preparación carga, la cual está en constante uso, casi llegando a ser utilizada al 100%.

8. Referencias

Banks J., Carson J.S., Nelson B.L, 1996, "Discrete-Event System Simulation". Second Edition. Prentice-Hall, New Jersey.

Coss Bu R., 1996, "Simulación: un enfoque práctico". Limusa. Mexico.

Fishman G.S., 1978, "Conceptos y métodos en la simulación digital de eventos discretos", Limusa, México.

Kelton W.D, Smith J., Sturrock D.T & Muñoz D., 2012, "Simio y Simulación: Modelado, análisis, aplicaciones". Segunda edición, Simio LLC, USA.

Law A.M., Kelton W.D., 1991, "Simulation Modeling & Analysis", Second Edition, McGraw-Hill, New York.

Law A.M., 2007, "Simulation Modeling & Analysis", Fourth Edition, McGraw-Hill, New York.

Piera M.,Guasch T., Casanovas J. & Ramos J., 2006, "Cómo mejorar la logística de su empresa mediante la simulación", Díaz de Santos S.A, España.

Shannon R.E., 1988, "Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación", Trillas, México.

ANEXOS

1. ANEXO 1: DISTRIBUCIONES Y PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Ajustes realizados por Expertfit

a. Arribo camiones horario mañana (6:00 am – 14:00 pm)

- Estadísticos Descriptivos

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	166
Minimum observation	2.00000
Maximum observation	305.00000
Mean	29.58434
Median	19.00000
Variance	1,335.17769
Coefficient of variation	1.23512
Skewness	3.86508

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters
1 - Log-Logistic	98.86	Location 0.00000
		Scale 18.84137
		Shape 2.07851
2 - Pearson Type VI	96.59	Location 0.00000
		Scale 8.80798
		Shape #1 4.67402
		Shape #2 2.37985
3 - Lognormal(E)	90.91	Location 0.85908
		Scale 18.11575
		Shape 0.93126

23 models are defined with scores between 1.14 and 98.86

Absolute Evaluation of Model 1 - Log-Logistic

Evaluation: Good

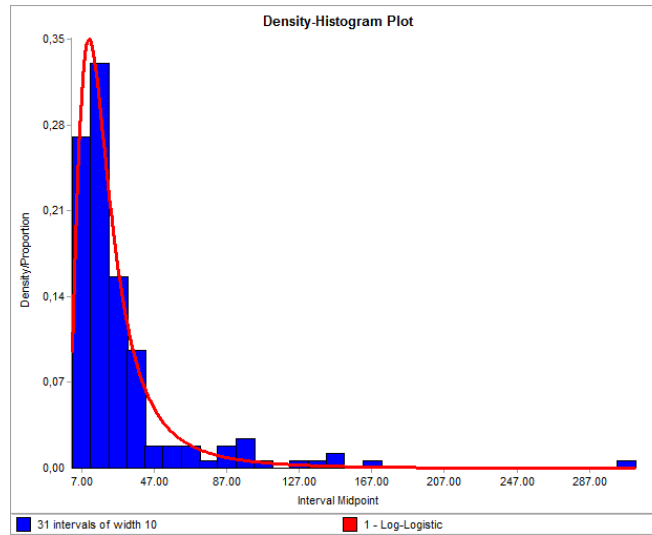
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.

See Help for more information.

Additional Information about Model 1 - Log-Logistic

"Error" in the model mean
relative to the sample mean 1.05610 = 3.57%

- Gráfico de distribuciones de probabilidad



- Pruebas de bondad de ajuste

Anderson-Darling Test with Model 1 - Log-Logistic

Sample size 166
Test statistic 0.79863

Note: The following critical values are exact.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
166	0.425	0.562	0.659	0.768	0.905	1.008
Reject?	Yes					No

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Log-Logistic

Sample size 166
Normal test statistic 0.06195
Modified test statistic 0.79815

Note: The following critical values are exact.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)			
	0.100	0.050	0.025	0.010
50	0.708	0.770	0.817	0.873
infinity	0.715	0.780	0.827	0.886
Reject?	Yes			No

b. Arribo camiones horario tarde (14:00 pm – 22:00 pm)

- Estadísticos Descriptivos

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	151
Minimum observation	2.00000
Maximum observation	232.00000
Mean	24.05960
Median	18.00000
Variance	637.28309
Coefficient of variation	1.04925
Skewness	4.69474

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters
1 - Log-Logistic	98.75	Location 0.00000
		Scale 17.78827
		Shape 2.38116
2 - Log-Logistic(E)	96.25	Location 2.13916 e -4
		Scale 17.78803
		Shape 2.38112
3 - Pearson Type VI	90.00	Location 0.00000
		Scale 21.22813
		Shape #1 3.57607
		Shape #2 4.20396

21 models are defined with scores between 0.00 and 98.75

Absolute Evaluation of Model 1 - Log-Logistic

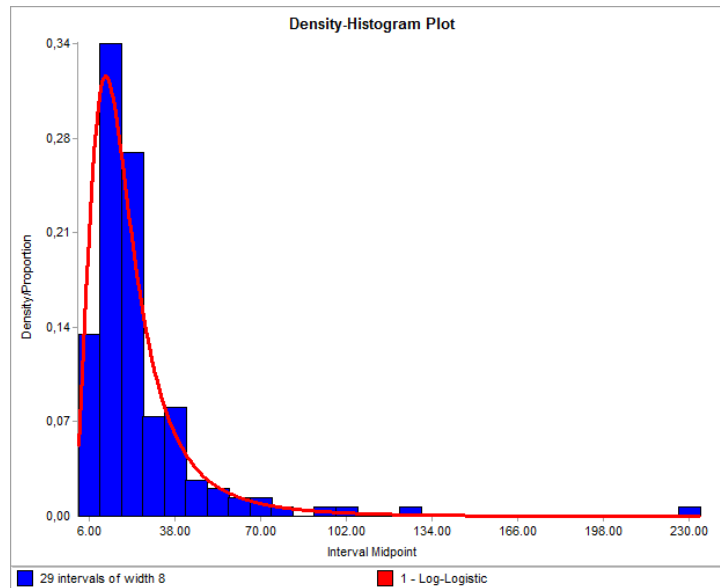
Evaluation: Good

Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.
See Help for more information.

Additional Information about Model 1 - Log-Logistic

"Error" in the model mean
relative to the sample mean -0.17140 = 0.71%

- Gráfico de distribuciones de probabilidad



○ Pruebas de bondad de ajuste

Anderson-Darling Test with Model 1 - Log-Logistic

Sample size 151
Test statistic 0.49372

Note: The following critical values are exact.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
151	0.425	0.562	0.659	0.768	0.905	1.008
Reject?	Yes	No				

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Log-Logistic

Sample size 151
Normal test statistic 0.05320
Modified test statistic 0.65376

Note: The following critical values are exact.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)			
	0.100	0.050	0.025	0.010
50	0.708	0.770	0.817	0.873
infinity	0.715	0.780	0.827	0.886
Reject?	No			

c. Arribo camiones horario noche (22:00 pm – 6:00 am)

○ Estadísticos Descriptivos

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	38
Minimum observation	3.00000
Maximum observation	494.00000
Mean	86.63158
Median	32.50000
Variance	11,022.18492
Coefficient of variation	1.21187
Skewness	2.05593

○ Tabla ranking de distribución de probabilidad

Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters
1 - Johnson SB	92.50	Lower endpoint 2.39273
		Upper endpoint 958.13151
		Shape #1 2.10486
		Shape #2 0.68036
2 - Inverse Gaussian	90.00	Location 0.00000
		Scale 86.63158
		Shape 32.33098
3 - Inverse Gaussian(E)	87.50	Location 3.20874 e -4
		Scale 86.63126
		Shape 32.32935

21 models are defined with scores between 2.50 and 92.50

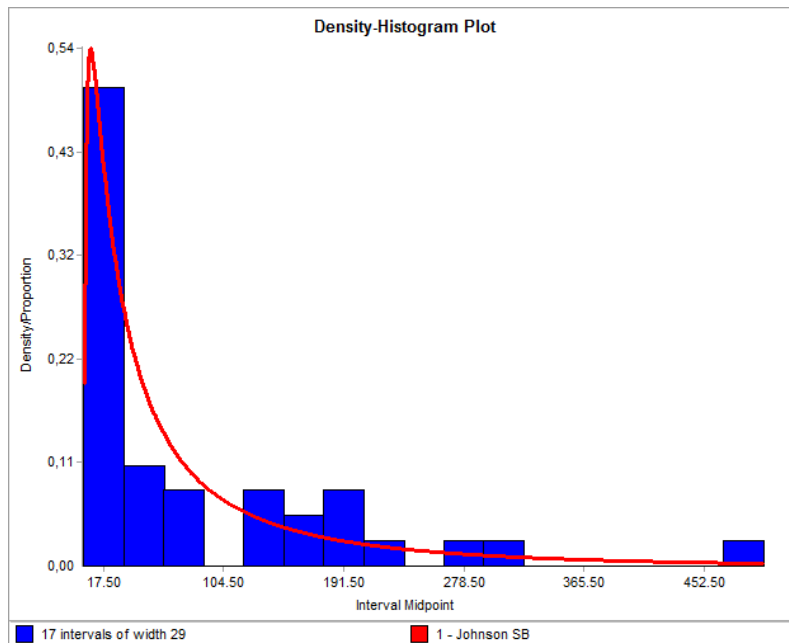
Absolute Evaluation of Model 1 - Johnson SB

Evaluation: Good
Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.
See Help for more information.

Additional Information about Model 1 - Johnson SB

"Error" in the model mean
relative to the sample mean -0.16865 = 0.19%

○ Gráfico de distribuciones de probabilidad



○ Pruebas de bondad de ajuste

Anderson-Darling Test with Model 1 - Johnson SB

Sample size 38
 Test statistic 0.51840

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
38	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Johnson SB

Sample size 38
 Normal test statistic 0.11281
 Modified test statistic 0.69544

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
38	1.113	1.197	1.328	1.448	1.592
Reject?	No				

d. Tiempos Tractor

- Carga y descarga moldura
- Estadísticos descriptivos

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	180
Minimum observation	10.00000
Maximum observation	42.00000
Mean	17.65000
Median	16.00000
Variance	39.68128
Coefficient of variation	0.35690
Skewness	0.90974

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

Model	Relative Score	Parameters	
1 - Beta	96.67	Lower endpoint	9.43092
		Upper endpoint	43.57562
		Shape #1	1.08183
		Shape #2	3.36210
2 - Johnson SB	94.17	Lower endpoint	8.48228
		Upper endpoint	42.78458
		Shape #1	1.11987
		Shape #2	0.91020
3 - Erlang(E)	90.00	Location	8.08801
		Scale	4.78100
		Shape	2

31 models are defined with scores between 0.00 and 96.67

Absolute Evaluation of Model 2 - Johnson SB

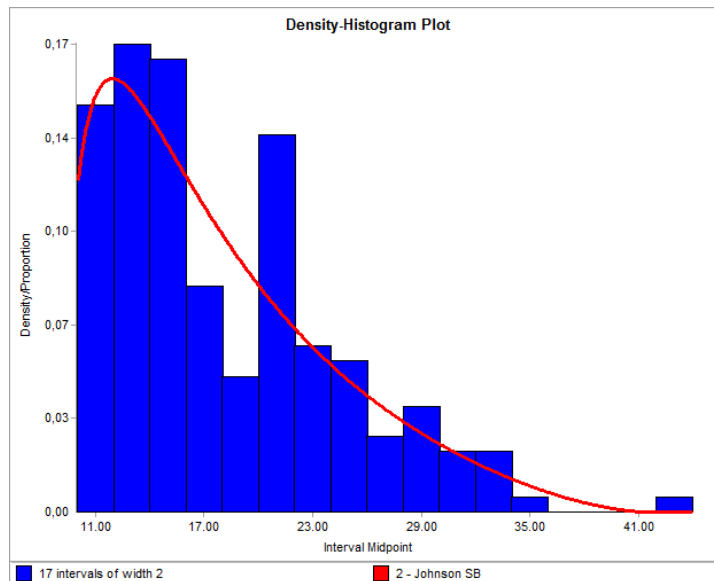
Evaluation: Indeterminate

Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab are strongly recommended.
See Help for more information.

Additional Information about Model 2 - Johnson SB

"Error" in the model mean
relative to the sample mean -0.08146 = 0.46%

○ Gráfico de distribuciones de probabilidad



○ Pruebas de bondad de ajuste

Anderson-Darling Test with Model 2 - Johnson SB

Sample size 180
Test statistic 1.03752

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
180	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 2 - Johnson SB

Sample size 180
Normal test statistic 0.07026
Modified test statistic 0.94269

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
180	1.127	1.212	1.345	1.466	1.613
Reject?	No				

- **Carga sustrato**

- Estadísticos descriptivos

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	102
Minimum observation	10.00000
Maximum observation	35.00000
Mean	19.83333
Median	20.00000
Variance	52.91254
Coefficient of variation	0.36676
Skewness	0.58983

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters	
1 - Johnson SB	93.55	Lower endpoint	8.31983
		Upper endpoint	41.26559
		Shape #1	0.67837
		Shape #2	0.85630
2 - Erlang(E)	91.94	Location	6.17416
		Scale	4.55306
		Shape	3
3 - Beta	88.71	Lower endpoint	9.00572
		Upper endpoint	44.59290
		Shape #1	1.30269
		Shape #2	2.98712

32 models are defined with scores between 0.00 and 93.55

Absolute Evaluation of Model 1 - Johnson SB

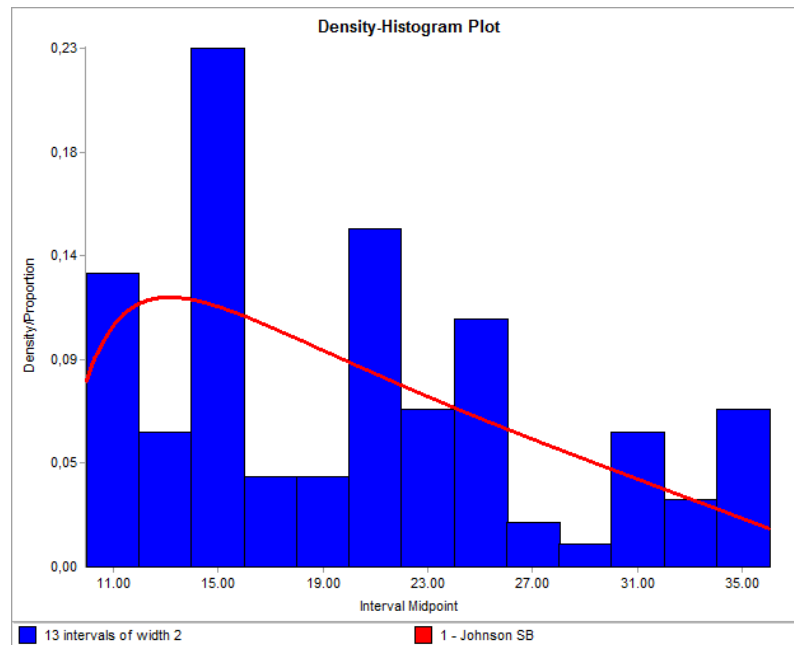
Evaluation: Indeterminate

Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab are strongly recommended.
See Help for more information.

Additional Information about Model 1 - Johnson SB

"Error" in the model mean
relative to the sample mean 0.02299 = 0.12%

○ Gráfico de distribuciones de probabilidad



○ Prueba de bondad de ajuste

Anderson-Darling Test with Model 1 - Johnson SB

Sample size 102
 Test statistic 0.88360

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
102	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 1 - Johnson SB

Sample size 102
 Normal test statistic 0.10111
 Modified test statistic 1.02119

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
102	1.123	1.208	1.341	1.461	1.607
Reject?	No				

- Descarga Sustrato

- Estadísticos descriptivos

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	119
Minimum observation	7.00000
Maximum observation	40.00000
Mean	19.84034
Median	20.00000
Variance	53.45734
Coefficient of variation	0.36851
Skewness	0.39279

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

Relative Evaluation of Candidate Models

Model	Relative Score	Parameters
1 - Beta	96.67	Lower endpoint 6.84243
		Upper endpoint 41.88903
		Shape #1 1.62941
		Shape #2 2.75620
2 - Rayleigh(E)	95.83	Location 5.36069
		Scale 16.20704
3 - Johnson SB	93.33	Lower endpoint 4.95247
		Upper endpoint 41.87903
		Shape #1 0.47762
		Shape #2 1.04263

31 models are defined with scores between 0.00 and 96.67

Absolute Evaluation of Model 3 - Johnson SB

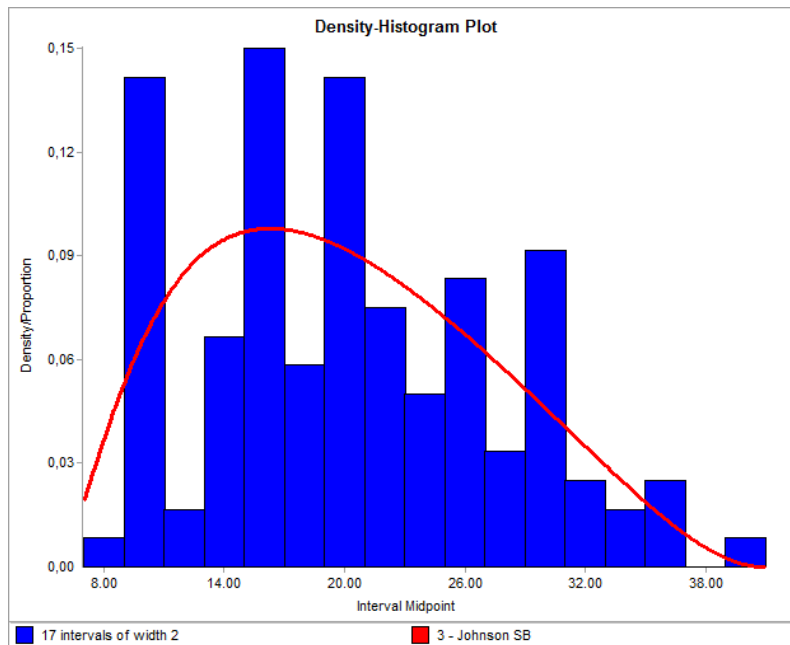
Evaluation: Good

Suggestion: Additional evaluations using Comparisons Tab might be informative.
See Help for more information.

Additional Information about Model 3 - Johnson SB

"Error" in the model mean
relative to the sample mean -0.07514 = 0.38%

○ Gráfico de distribuciones de probabilidad



○ Prueba de bondad de ajuste

Anderson-Darling Test with Model 3 - Johnson SB

Sample size 119
Test statistic 0.76071

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
119	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Kolmogorov-Smirnov Test with Model 3 - Johnson SB

Sample size 119
Normal test statistic 0.07802
Modified test statistic 0.85110

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
119	1.125	1.210	1.342	1.463	1.609
Reject?	No				

Ajustes realizados por Easyfit

e. Tiempos proceso carga camión

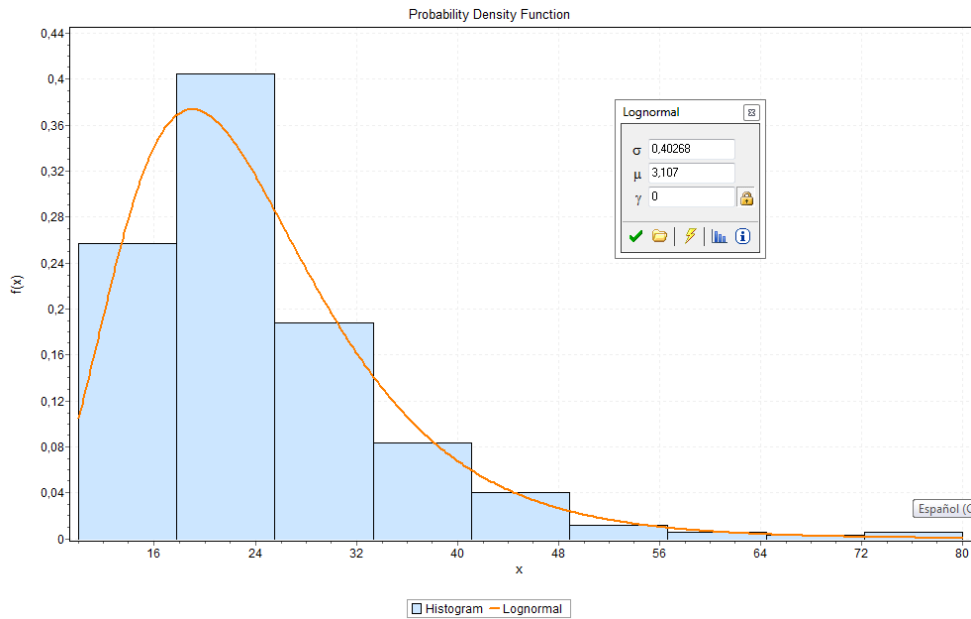
- Estadísticos descriptivos

Statistic	Value	Percentile	Value
Sample Size	346	Min	10
Range	70	5%	11
Mean	24,292	10%	13
Variance	112,49	25% (Q1)	17
Std. Deviation	10,606	50% (Median)	22
Coef. of Variation	0,4366	75% (Q3)	30
Std. Error	0,57018	90%	40
Skewness	1,5688	95%	45
Excess Kurtosis	3,9986	Max	80

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank
7	Dagum	0,07925	1	1,2293	4
37	Log-Logistic (3P)	0,07968	2	1,2843	10
15	Fatigue Life	0,07995	3	1,3634	14
40	Lognormal	0,07996	4	1,2793	9
2	Burr	0,08031	5	1,2238	3
25	Gumbel Max	0,08182	6	1,869	23
21	Gen. Extreme Value	0,08205	7	1,189	1
19	Gamma	0,08249	8	2,9637	26
18	Frechet (3P)	0,08373	9	1,2092	2

○ Gráfico de distribuciones de probabilidad



○ Pruebas de bondad de ajuste

Lognormal [#40]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	346				
Statistic	0,07996				
P-Value	0,02263				
Rank	4				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,05768	0,06575	0,07301	0,08161	0,08758
Reject?	Yes	Yes	Yes	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	346				
Statistic	1,2793				
Rank	9				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	No	No	No	No	No

f. Tiempos Proceso Amarre

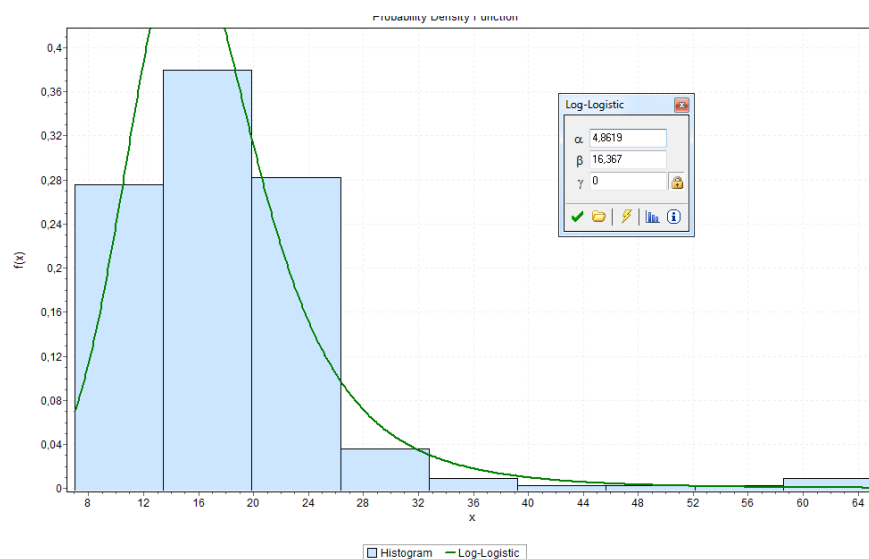
- Estadísticos descriptivos

Statistic	Value	Percentile	Value
Sample Size	337	Min	7
Range	58	5%	10
Mean	17,65	10%	10
Variance	58,068	25% (Q1)	13
Std. Deviation	7,6202	50% (Median)	16
Coef. of Variation	0,43174	75% (Q3)	20
Std. Error	0,4151	90%	25
Skewness	2,6928	95%	29
Excess Kurtosis	12,595	Max	65

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank
36	Log-Logistic	0,08218	1	2,3612	3
15	Fatigue Life	0,08483	2	2,537	7
2	Burr	0,08628	3	2,4803	5
40	Lognormal	0,08683	4	2,3469	1
5	Chi-Squared	0,08998	5	2,8619	20
37	Log-Logistic (3P)	0,09462	6	2,6942	17
6	Chi-Squared (2P)	0,09566	7	3,0223	23

- Gráfico de distribuciones de probabilidad



- Pruebas de bondad de ajuste

Log-Logistic [#36]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	337				
Statistic	0,08218				
P-Value	0,01989				
Rank	1				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,05845	0,06662	0,07397	0,08269	0,08874
Reject?	Yes	Yes	Yes	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	337				
Statistic	2,3612				
Rank	3				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	Yes	Yes	No	No	No

g. Tiempos Proceso Encarpado

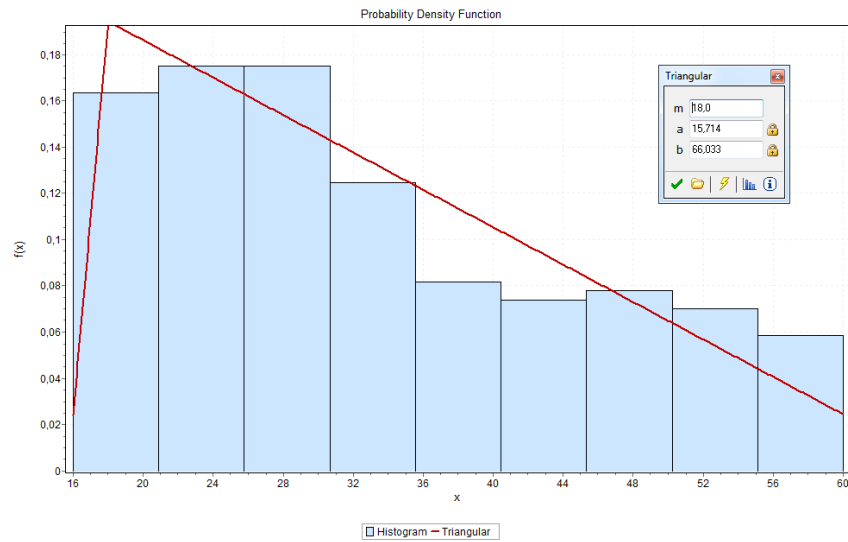
- Estadísticos descriptivos

Statistic	Value	Percentile	Value
Sample Size	257	Min	16
Range	44	5%	18
Mean	33,708	10%	20
Variance	151,98	25% (Q1)	23,5
Std. Deviation	12,328	50% (Median)	30
Coef. of Variation	0,36573	75% (Q3)	43
Std. Error	0,769	90%	53,2
Skewness	0,56258	95%	57
Excess Kurtosis	-0,83623	Max	60

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank
57	Triangular	0,06485	5	1,1932	1
23	Gen. Gamma (4P)	0,06901	7	1,3634	2
50	Pert	0,0657	6	1,5524	3
3	Burr (4P)	0,06176	3	1,6596	4
60	Weibull (3P)	0,06262	4	1,6626	5
20	Gamma (3P)	0,07007	8	1,7588	6
49	Pearson 6 (4P)	0,07944	21	2,1084	7
16	Fatigue Life (3P)	0,07846	17	2,24	8
29	Inv. Gaussian (3P)	0,07911	20	2,3149	9
41	Lognormal (3P)	0,07834	16	2,372	10

○ Gráfico de distribuciones de probabilidad



○ Pruebas de bondad de ajuste

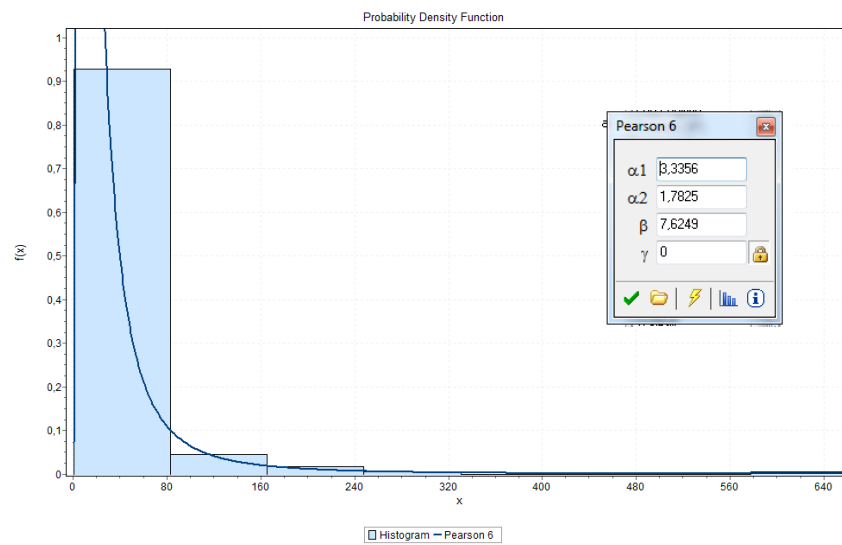
Johnson SB [#30]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	257				
Statistic	0,05725				
P-Value	0,35528				
Rank	2				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,06693	0,07629	0,08471	0,09469	0,10161
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	257				
Statistic	27,453				
Rank	51				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

h. Arribo tableros línea 1 (MDF1)

- Tabla ranking de distribución de probabilidad por el programa Easyfit

#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank
3	Burr (4P)	0,02739	1	0,17779	2
2	Burr	0,02943	2	0,18001	3
8	Dagum (4P)	0,03356	3	0,17409	1
7	Dagum	0,03722	4	0,21699	4
44	Pearson 6 (4P)	0,04104	5	0,24061	5
43	Pearson 6	0,04462	6	0,32514	6

- Gráfico de distribuciones de probabilidad por el programa Easyfit



- Pruebas de bondad de ajuste por programa Easyfit

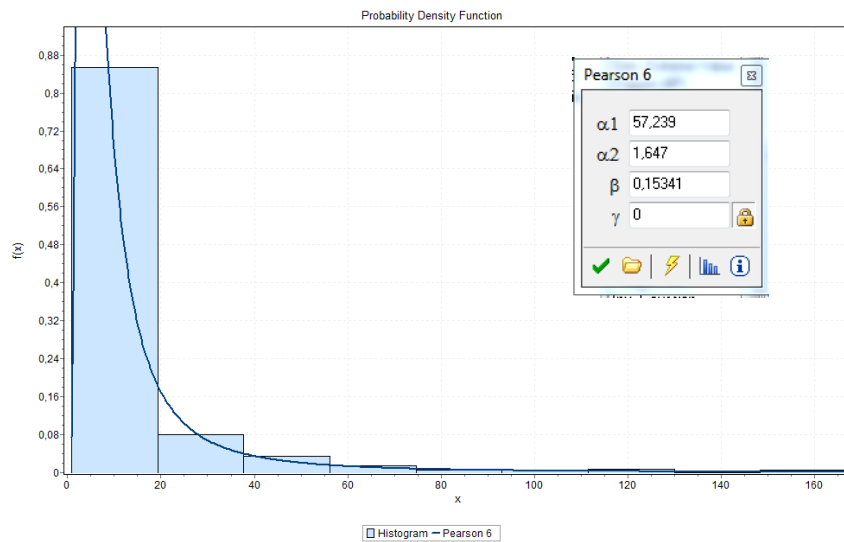
Pearson 6 [#43]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	223				
Statistic	0,04462				
P-Value	0,74886				
Rank	6				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,07185	0,0819	0,09094	0,10165	0,10909
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	223				
Statistic	0,32514				
Rank	6				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	No	No	No	No	No

i. Arribo tableros línea 2 (MDF2)

- Tabla ranking de distribución de probabilidad

#	Distribution	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
		Statistic	Rank	Statistic	Rank
35	Log-Pearson 3	0,0263	1	0,40928	1
44	Pearson 6	0,02985	2	0,48896	5
42	Pearson 5	0,03115	3	0,44343	4
34	Log-Logistic (3P)	0,03207	4	1,0347	11
22	Gen. Pareto	0,03254	5	39,269	31
45	Pearson 6 (4P)	0,03423	6	0,41961	2
43	Pearson 5 (3P)	0,03425	7	0,41968	3
3	Burr (4P)	0,03659	8	0,67009	9
16	Frechet (3P)	0,03876	9	0,4901	6

- Gráfico de distribuciones de probabilidad

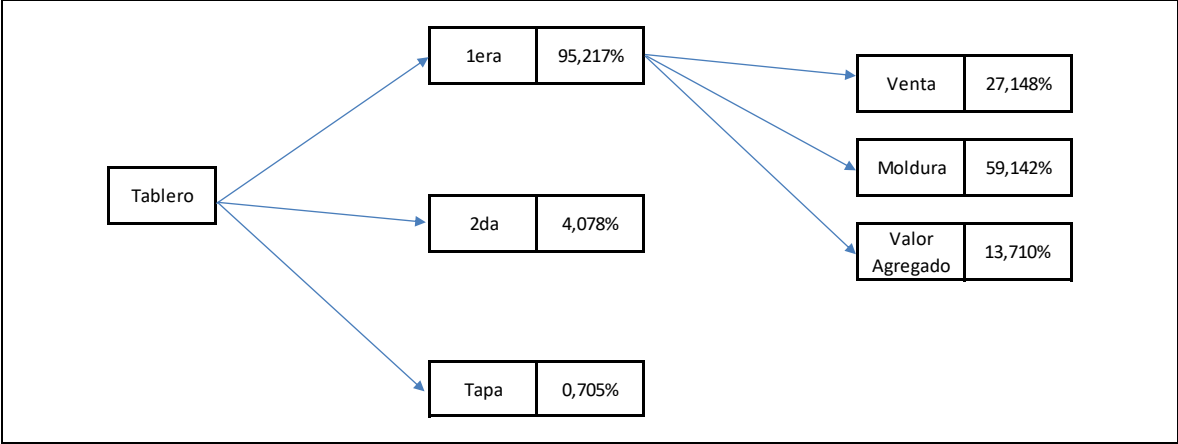


- Pruebas de bondad de ajuste

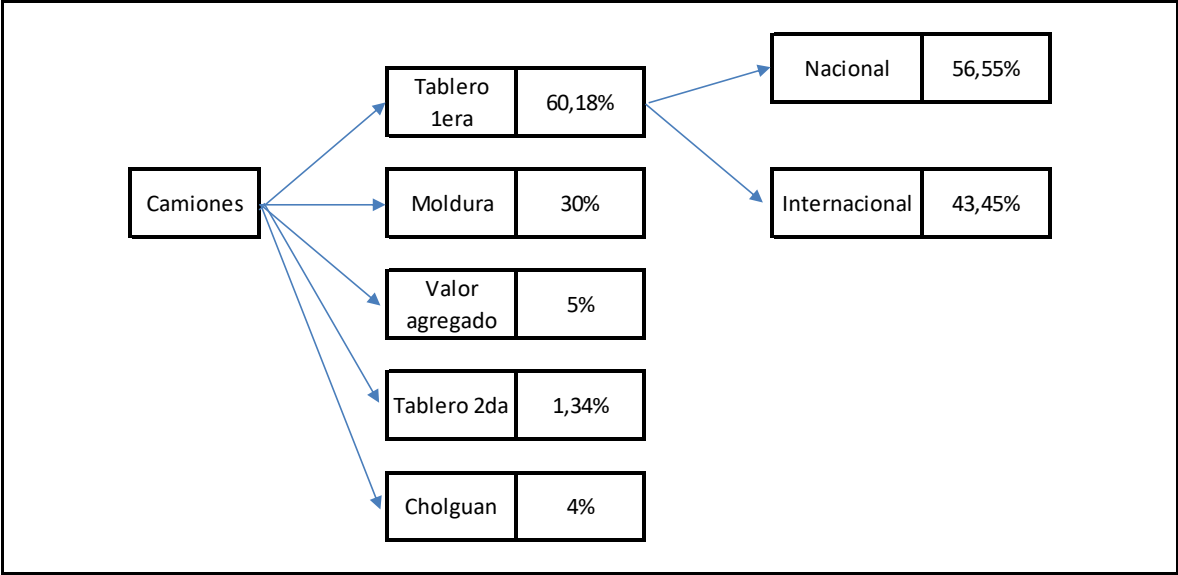
Pearson 6 [#44]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	480				
Statistic	0,02985				
P-Value	0,7743				
Rank	2				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,04898	0,05582	0,06198	0,06929	0,07435
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	480				
Statistic	0,48896				
Rank	5				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	No	No	No	No	No

2. ANEXO 2: PORCENTAJES

I. Porcentaje de tableros producidos por cada línea productiva

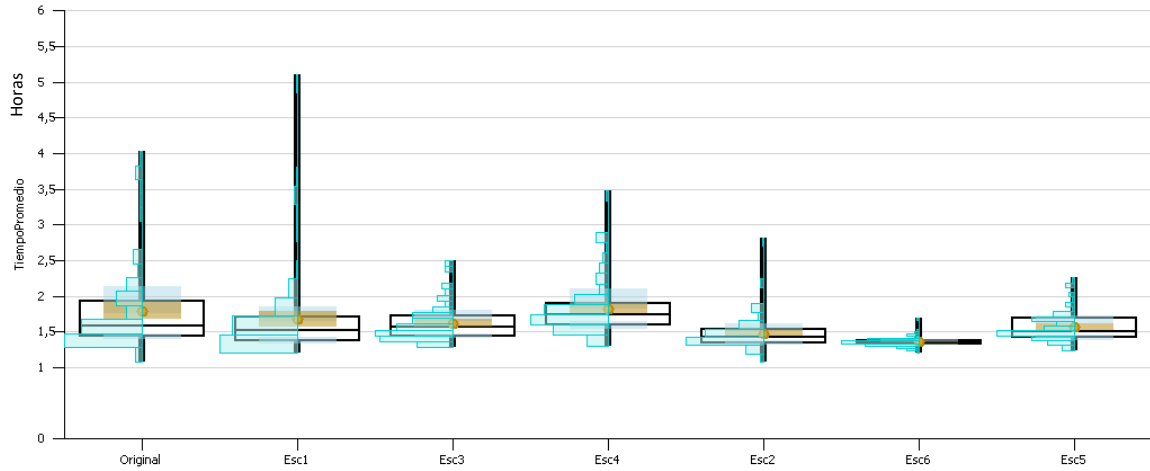


II. Porcentaje de camión según tablero a despachar

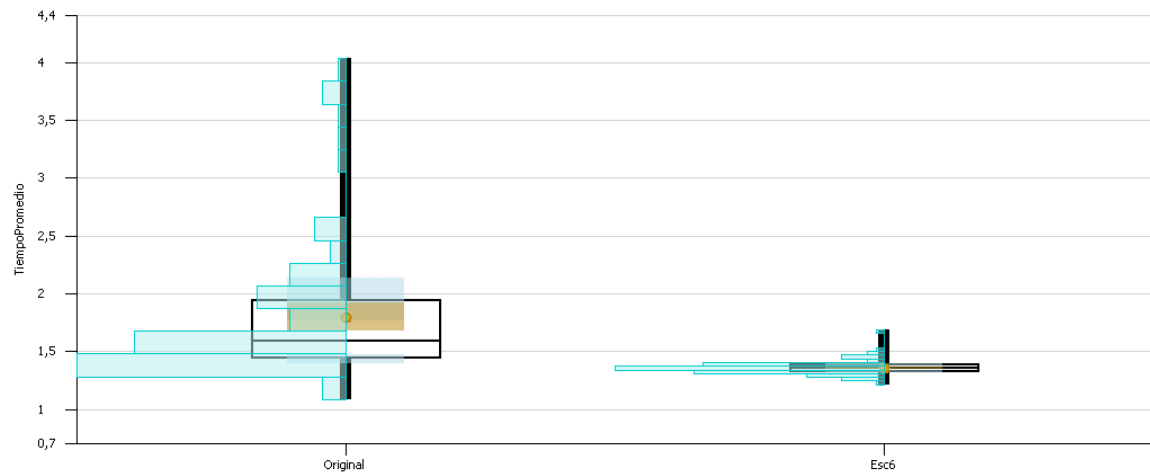


3. ANEXO 3: VARIABLES DE SALIDAS ADICIONALES (SIMIO)

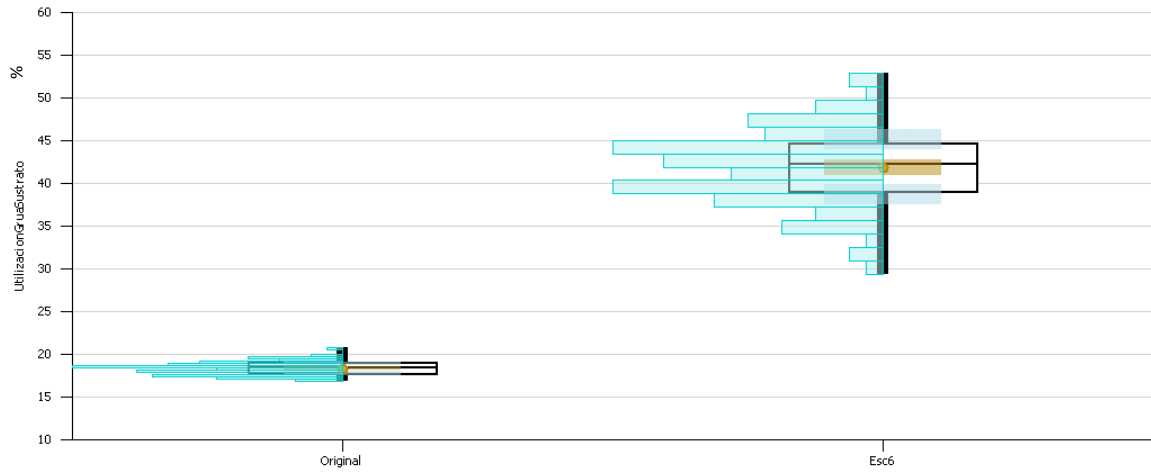
- a. Tiempos promedio de permanencia en planta de los camiones de cada escenario (Histograma + diagrama de caja)



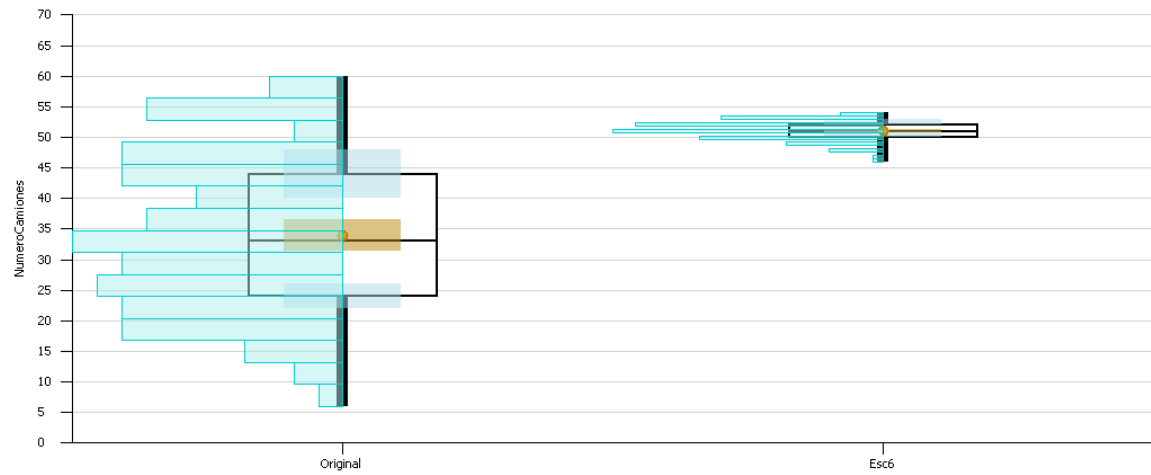
- b. Tiempos promedio de permanencia en planta de los camiones entre Escenario original y Escenario 6 (Histograma + diagrama de caja)



- c. Porcentaje de utilización de grúa sustrato entre Escenario original y Escenario 6 (Histograma + diagrama de caja)



- d. Cantidad de camiones diarios entre Escenario original y Escenario 6 (Histograma + diagrama de caja)



e. Cantidad de tableros que salen del área BPT entre el Escenario original y Escenario 6 (Histograma + diagrama de caja)

