

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE POSGRADO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**SIMULACIÓN DISCRETA PARA LA MEJORA DE PROCESOS Y
DESARROLLO DE NUEVOS ESCENARIOS EN UN CENTRO DE
DISTRIBUCIÓN DE PARABRISAS**

T E S I S

QUE PRESENTA PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

JESSIKA RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.C. JUAN CEBALLOS CORRAL

MEXICALI, B.C.

NOVIEMBRE DE 2016

RESUMEN

En este trabajo de investigación son aplicadas las técnicas de simulación y modelado en un centro de distribución de parabrisas. La función de los centros de distribución es almacenar producto terminado, colocarse en lugares estratégicos para poder abastecer la demanda y mejorar el servicio al cliente proporcionándole una entrega rápida, con la cantidad solicitada y buena calidad. Son un eslabón importante en la cadena de suministro.

El estudio se dividió en dos fases importantes. En la primera etapa se construyó el primer escenario de simulación utilizando el software ProModel® como herramienta, mostrando de manera detallada el desarrollo y análisis de un modelo de simulación discreta desde la construcción del modelo conceptual, pasando por la programación, hasta lograr la validación del programa para representar los procesos del centro de distribución de parabrisas y evaluar el comportamiento operativo del sistema real. En la segunda parte del estudio se propusieron cinco alternativas como posible solución, se modelaron y programaron, posteriormente para analizar los resultados que se obtuvieron de cada alternativa se aplicó un diseño de experimentos de un solo factor y se eligió la alternativa con el menor tiempo de ciclo. Pasando de 620.7 min del sistema original a 578.1895 min de la alternativa seleccionada, logrando una reducción en el tiempo de 42.5 min.

Con la investigación realizada se demuestra la utilidad de las técnicas de simulación y su flexibilidad de adaptación a proyectos de desarrollo en centros de distribución.

Palabras clave:

Simulación de eventos discretos, ProModel®, centros de distribución, redistribución de planta.

ABSTRACT

In this research work modeling and simulation techniques are applied in a windshield distribution center. The function of distribution centers is to store finished product placing it in strategic locations to meet demand and improve customer service providing fast delivery with the requested quality. Distribution centers are an important link in the supply chain.

The study was divided in two major phases. In the first phase an initial scenario was constructed using ProModel® simulation software as a tool, showing in detail the development and analysis of a discrete simulation model, from the construction of the conceptual model, through programming, to achieve the validation of the model to represent the process in the distribution center and evaluate the operating behavior of the real system. In the second part of the study, five alternatives were proposed as possible solutions. The proposals were modeled and programmed and then the results obtained for each alternative were analyzed using a single factor experimental design and the alternative with the shortest cycle time was chosen, going from 620.7 minutes to 578.1895 minutes, achieving a 42.5 minutes reduction in time.

With this research the usefulness of simulation techniques are demonstrated as well as their adaptability to develop projects in distribution centers.

Keywords:

Discrete Simulation, ProModel®, distribution centers, layout distribution

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres:

Por darme la vida, por educarme y enseñarme valores, por su exigencia que me enseñó a ser fuerte ante las adversidades. Les estaré eternamente agradecida.

A mis hermanas:

Que son mi mayor motor, me proporcionan la alegría, motivación y ánimo. Me impulsan a ser mejor y siempre busco ser el mejor ejemplo para ellas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarme el sustento económico para el desarrollo de mis estudios de maestría.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California y al programa de posgrado MYDCI por la formación profesional recibida durante mis estudios.

Agradezco a la empresa LOF de México, S.A de C.V. por su confianza y disposición otorgada para que este trabajo de investigación fuera concluido.

Agradezco a mi tutor de tesis M.C. Juan Ceballos Corral por la orientación durante el desarrollo de mi proyecto de tesis.

Agradezco a mis profesores de maestría Dra. Margarita Gil Samaniego Ramos, Dra. Silvia Vanessa Medina León, Dr. Víctor Nuño Moreno, Dr. Juan Pablo García Vázquez, Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo.

HIPÓTESIS

Por medio de la aplicación de la metodología de simulación discreta en el centro de distribución de parabrisas se logrará optimizar el proceso operativo comparando diferentes diseños de distribución de planta.

OBJETIVO

Optimizar el tiempo de ciclo del centro de distribución de parabrisas.

METAS

1. Construir el modelo conceptual del sistema que facilite la programación lógica del modelo de simulación.
2. Simular el modelo que represente el ambiente del centro de distribución de parabrisas.
3. Validar el modelo de simulación.
4. Proponer alternativas de solución.
5. Simular las alternativas propuestas.
6. Comparar las alternativas.
7. Elegir la solución.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Hacer un análisis visual del diseño de la distribución actual y los procesos que conforman el centro de distribución para entender el funcionamiento del sistema e identificar los elementos necesarios para la construcción del modelo conceptual.
2. Realizar una investigación de campo en el centro de distribución de parabrisas para obtener la información necesaria con la que se construirá el modelo de simulación.
3. Programar y desarrollar la animación del modelo de simulación en el software ProModel®.
4. Comprobar el correcto funcionamiento del modelo de simulación en base al diseño conceptual y demostrar que la animación se comporta igual que el sistema real.
5. Validar el modelo por medio de una prueba de hipótesis de diferencia de medias entre el modelo original real y el modelo de simulación.
6. Experimentar con el modelo de simulación original obtenido, proponiendo y construyendo alternativas de posible solución.
7. Realizar un diseño de experimento de un solo factor para seleccionar la mejor propuesta.

JUSTIFICACIÓN

Un centro de distribución (CEDIS) es una infraestructura logística en la cual se almacenan una variedad de productos ya terminados y se dan órdenes de salida para su distribución y venta al comercio minorista o mayorista. No sólo los centros de distribución pueden servir como un almacén, sino también pueden ofrecer servicios complementarios a sus clientes.

La implementación de centros de distribución dentro de la cadena de suministro surge de la necesidad de asegurar una capacidad de respuesta rápida al cliente.

La gestión del almacén debe dar respuesta al comportamiento real de la demanda, aparentemente impredecible y con las problemáticas derivadas de gestión del día a día, que es una característica de este tipo de centros.

Hoy en día los entornos industriales son altamente cambiantes, por lo que cada vez los proyectos de redistribución de planta son más comunes. Se hace necesario que las modificaciones que se les aplica a los diseños de planta tengan en cuenta la mayor cantidad de factores posible, para evitar que éstos se vuelvan obsoletos en un corto tiempo.

La incertidumbre y los cambios en los entornos industriales, generan en los centros de distribución la necesidad de reducir el tiempo de ciclo para aumentar la eficiencia y mejorar su desempeño.

Para lograr un funcionamiento óptimo en los centros de distribución, se utilizan con frecuencia nuevas tecnologías como medio para mejorar sus servicios. En este contexto, la simulación de procesos es el instrumento capaz de facilitar el desarrollo, siendo una herramienta eficaz que promueve la optimización y rediseño de los centros de distribución. Es útil para realizar correctas estimaciones de distintos parámetros de rendimiento, así como para facilitar la toma de decisiones sin afectar el sistema real y antes de comprometer inversiones.

Debido a que la solución no la aporta el sistema, es necesario recurrir a la teoría ya existente de los patrones estándar de flujo de materiales.

El centro de distribución de parabrisas del caso de estudio se dedica a almacenar producto terminado, su principal actividad es gestionar el flujo de materiales que consiste en recibir el material y almacenarlo, para posteriormente, recolectar el pedido, empacarlo y despacharlo. Actualmente el proceso es lento y se retrasan en las entregas debido a una mala configuración en el diseño de la distribución de planta en donde las distancias de recorrido son largas, por tal motivo la empresa está buscando reducir los tiempos de operación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Hipótesis	II
Objetivo	II
Metas	III
Objetivos específicos	III
Justificación	IV

CAPÍTULO 1

<i>ESTADO DEL ARTE</i>	1
-------------------------------------	----------

1. INTRODUCCIÓN	1
------------------------------	----------

1.1. CENTROS DE DISTRIBUCIÓN (CEDIS).....	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Descripción de las operaciones que se realizan en los centros de distribución.....	2
1.1.3. Estudios previos de simulación discreta y mejora de procesos en los centro de distribución	6
1.2. REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA	7
1.2.1. Definición.....	7
1.2.2. Causas por las cuáles una empresa necesita realizar una redistribución de planta y factores críticos a considerar.	8
1.2.3. Estudios previos de redistribución de planta para la mejora de procesos.....	11

CAPÍTULO 2

<i>MARCO TEÓRICO</i>	17
-----------------------------------	-----------

2. INTRODUCCIÓN	17
------------------------------	-----------

2.1. SIMULACIÓN	17
2.1.1. Antecedentes de la simulación	17
2.1.2 Definición de la simulación	19
2.1.3. Objetivo de la simulación	20
2.1.4 Aplicaciones de la simulación.....	20

2.1.5 Simulación de procesos industriales	21
2.1.6 ¿Qué es la simulación discreta?	22
2.1.7. ¿Cómo funciona y para qué sirve la simulación?.....	23
2.1.8. Ventajas y desventajas de la simulación.....	24
2.2. SOFTWARES PARA SIMULACIÓN	25
2.2.1. ProModel®	27
2.2.2. STAT-FIT	29
2.3. METODOLOGÍAS DE DIFERENTES AUTORES PARA CONDUCIR UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN	30
2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS PARA CONDUCIR UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN DISCRETA.....	32
2.4.1. Formulación del problema.....	32
2.4.2. Construcción del modelo conceptual.....	32
2.4.3. Colección y tratamiento de los datos.....	34
2.4.4. Construcción del modelo de simulación.....	38
2.4.5. Verificación del modelo de simulación.....	40
2.4.6. Validación del modelo de simulación.....	41
2.4.7. Análisis o diseño experimental	41
2.4.8. Documentación e implementación.....	42
2.5. ÁREAS DE CONOCIMIENTO APLICADAS EN EL DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN DISCRETA	42
2.5.1. Estudio de tiempos con cronómetro	42
2.5.2. Cálculo del tamaño de la muestra y error	43
2.5.3. Técnicas para evaluar la independencia de los valores de una muestra	45
2.5.4. Proceso para realizar una prueba de hipótesis de diferencia de medias.....	49
2.5.5. Patrones de flujo de materiales.....	49
2.5.6. Programación lineal (PL).....	51
2.5.7. Diseño de experimentos (DOE).....	53

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA, Y DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN ORIGINAL.....60

3. INTRODUCCIÓN.....60

3.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DEL CASO DE ESTUDIO	60
3.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE PARABRISAS	63
3.2.1. Distribución física de la empresa.....	63
3.2.2. Descripción de los subsistemas del centro de distribución de parabrasas	63
3.2.3. Entradas y salidas del sistema	74
3.3. COLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS	77
3.3.1. Toma de muestras.....	77
3.3.2. Cálculo del tamaño de la muestra y ajuste de datos a distribuciones de probabilidad	78
3.4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN ORIGINAL	81
3.4.1. Elementos del modelo de simulación del centro de distribución de parabrasas	81

3.4.2. Programación del modelo de simulación original.....	85
3.4.3. Animación del modelo de simulación original.....	89
3.4.4. Análisis de los resultados de salida del modelo de simulación original.....	90
3.5. VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN ORIGINAL.....	92
3.5.1. Aplicación de la prueba de hipótesis de diferencia de medias.....	95

CAPÍTULO 4

SIMULACIÓN EXPERIMENTAL Y DOE98

4. INTRODUCCIÓN.....98

4.1. DESARROLLO DE LAS ALTERNATIVAS DE POSIBLE SOLUCIÓN.....	98
4.1.1. Alternativa 1 (A1).....	98
4.1.2. Alternativa 2 (A2).....	107
4.1.3. Alternativa 3 (A3).....	116
4.1.4. Alternativa 4 (A4).....	126
4.1.5. Alternativa 5 (A5).....	135
4.2. EXPERIMENTACIÓN.....	144
4.2.1. Aplicación del principio de programación lineal.....	144
4.2.2. Aplicación del diseño de experimentos de un solo factor.....	148
4.3. RESULTADOS.....	154

CAPÍTULO 5

5.1. CONCLUSIONES.....	156
5.2. RECOMENDACIONES.....	158

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....161

ANEXO 1

PLANO DEL CEDIS CON MEDIDAS EN MTS	168
---	------------

ANEXO 2

DOCUMENTOS DEL CEDIS	169
-----------------------------------	------------

2.1. HOJA CON LA LISTA DE VERIFICACIÓN PARA CAMIONES	169
2.2. NOTA DE TRANSPORTE	170

ANEXO 3

COLECCIÓN DE DATOS EN INVESTIGACIÓN DE CAMPO	171
---	------------

3.1. TOMA DE TIEMPOS CON CRONÓMETRO PARA EL SUBSISTEMA DE RECIBO	171
3.2. TOMA DE TIEMPOS CON CRONÓMETRO PARA EL SUBSISTEMA DE RESURTIDO DE ESTANTES	174
3.3. TOMA DE TIEMPOS CON CRONÓMETRO PARA EL SUBSISTEMA DE PICKING.....	179
3.4. TOMA DE TIEMPOS CON CRONÓMETRO PARA EL SUBSISTEMA DE EMPAQUE.	182

ANEXO 4

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LAS MUESTRAS Y AJUSTE A DISTRIBUCION PARA CADA UNO DE LOS SUBSISTEMAS DEL CEDIS	184
--	------------

4.1. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA Y AJUSTE A DISTRIBUCIÓN PARA EL SUBSISTEMA DE RECIBO.	184
4.2. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA Y AJUSTE A DISTRIBUCIÓN PARA EL SUBSISTEMA DE RESURTIDO DE ESTANTES	188
4.3. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA Y AJUSTE A DISTRIBUCIÓN PARA EL SUBSISTEMA DE PICKING.	192
4.4. CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA Y AJUSTE A DISTRIBUCIÓN PARA EL SUBSISTEMA DE EMPAQUE. .	196

ANEXO 5

COLECCIÓN DE LOS DATOS DEL TIEMPO DE CICLO DE LOS SUBSISTEMAS DEL CEDIS TOMADOS DEL SISTEMA REAL O ARCHIVO HISTÓRICO	199
---	------------

5.1. MÉTRICOS PARA EL SUBSISTEMA DE RECIBO	199
5.2. MÉTRICOS PARA EL SUBSISTEMA DE RESURTIDO DE ESTANTES	200
5.3. MÉTRICOS PARA EL SUBSISTEMA DE PICKING.....	202
5.4. MÉTRICOS PARA EL SUBSISTEMA DE EMPAQUE.....	204

ANEXO 6

GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	206
----------------------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de las operaciones básicas de los CEDIS	2
Figura 2.1. Planteamiento de una simulación de eventos discretos	23
Figura 2.2. Metodología propuesta por Banks, Carson y Nelson	30
Figura 2.3. Metodología propuesta por Law & Kelton	31
Figura 2.4. Metodología propuesta por Antoni Guasch	31
Figura 2.5. Distribución para flujo en U	50
Figura 2.6. Distribución para flujo en T	50
Figura 2.7. Distribución para flujo en línea recta	51
Figura 2.8. Procedimiento para realizar un DOE	55
Figura 3.1. Áreas del centro de distribución de parabrisas	61
Figura 3.2. Caja de madera para recolectar producto	62
Figura 3.3. Distribución física actual del CEDIS	63
Figura 3.4. Subsistemas del CEDIS	64
Figura 3.5. Modelo conceptual general del sistema original	74
Figura 3.6. Descripción de los datos estadísticos del componente aleatorio recolección de producto en caja	79
Figura 3.7. Ajuste a distribución uniforme del componente aleatorio recolección de producto en caja	80
Figura 3.8. Pantalla de las entidades del sistema en ProModel®	82
Figura 3.9. Pantalla de las locaciones del sistema en ProModel®	83
Figura 3.10. Pantalla de los atributos del sistema en ProModel®	83
Figura 3.11. Pantalla de los arribos del sistema en ProModel®	84
Figura 3.12. Pantalla de los recursos del sistema en ProModel®	84
Figura 3.13. Vista de la animación del modelo original de simulación del CEDIS en ProModel®	89
Figura 3.14. Ejemplo de como introducir el número de réplicas en ProModel®	90
Figura 3.15. Validación indicadores del recibo, comportamiento entre datos reales y modelados	93
Figura 3.16. Validación indicadores del resurtido, comportamiento entre datos reales y modelados	93
Figura 3.17. Validación indicadores del picking, comportamiento entre datos reales y modelados	94
Figura 3.18. Validación indicadores del empaque, comportamiento entre datos reales y modelados	94
Figura 3.19. Gráficas de los valores críticos	97
Figura 4.1. Diseño del flujo en forma de U, alternativa 1	99
Figura 4.2. Modelo conceptual del sistema de la alternativa 1	100
Figura 4.3. Animación de la simulación de la alternativa 1	104
Figura 4.4. Diseño del flujo en forma de línea recta, alternativa 2	108
Figura 4.5. Modelo conceptual del sistema de la alternativa 2	109
Figura 4.6. Animación del modelo de simulación de la alternativa 2	113
Figura 4.7. Diseño de la distribución física para la alternativa 3	117
Figura 4.8. Modelo conceptual del sistema de la alternativa 3	118
Figura 4.9. Animación del modelo de simulación de la alternativa 3	123
Figura 4.10. Diseño del flujo en forma de U, alternativa 4	126
Figura 4.11. Modelo conceptual del sistema de la alternativa 4	128
Figura 4.12. Animación del modelo de simulación de la alternativa 4	132
Figura 4.13. Diseño del flujo en forma de U, alternativa 5	136
Figura 4.14. Modelo conceptual del sistema de la alternativa 5	137
Figura 4.15. Animación del modelo de simulación de la alternativa 5	141
Figura 4.16. Gráfica de distribución de probabilidad para obtener Fc	151
Figura 4.17. Gráfica de residuos para verificación de los supuestos	152
Figura 4.18. Gráfico de cajas de las alternativas	154
Figura 4.19. Gráfico de medias con el método LSD	154
Figura 4.20. Gráfica de resultados finales	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Softwares más populares para simular	25
Tabla 2.2. Notación de puntos	56
Tabla 2.3. Análisis de varianza.....	57
Tabla 3.1. Diagrama del proceso de recibo	66
Tabla 3.2. Diagrama de proceso de resurtido de estantes	68
Tabla.3.3. Diagrama del proceso de picking	71
Tabla.3.4. Diagrama del proceso de empaque.....	73
Tabla 3.5. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de recibo	75
Tabla 3.6. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de resurtido de estantes	75
Tabla 3.7. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de picking	75
Tabla 3.8. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de empaque.....	76
Tabla 3.9. Métricos del subsistema de recibo.....	76
Tabla 3.10. Métricos del subsistema de resurtido de estantes	76
Tabla 3.11. Métricos del subsistema de Picking.....	76
Tabla 3.12. Métricos del subsistema de empaque	76
Tabla 3.13. Captura de datos del componente aleatorio recolección de producto en caja.....	77
Tabla 3.14. Datos generales del muestreo.....	80
Tabla 3.15. Descripción de subsistemas del centro de distribución de parabrisas original	81
Tabla 3.16. Programación del proceso original del CEDIS en ProModel®	85
Tabla 3.17. Resultados en el software ProModel® del modelo de simulación original.....	90
Tabla 3.18. Réplicas necesarias para cada subsistema del CEDIS	91
Tabla 3.19. Intervalos de confianza de los subsistemas, dados en minutos	92
Tabla 3.20. Datos reales y modelados de los subsistemas del CEDIS.....	95
Tabla 3.21. Planteamiento de hipótesis para cada uno de los subsistemas del CEDIS	95
Tabla 3.22. Valor del estadístico de prueba de cada subsistema	96
Tabla 3.23. Distribución Normal	96
Tabla 4.1. Elementos del modelo de simulación de la alternativa 1	99
Tabla 4.2 Programación de la alternativa 1 en ProModel®	101
Tabla 4.3. Resultados de Salida de la simulación de la alternativa 1	105
Tabla 4.4. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 1	107
Tabla 4.5. Elementos del modelo de simulación de la alternativa 2.....	108
Tabla 4.6. Programación de la alternativa 2 en ProModel®	110
Tabla 4.7. Resultados de la simulación alternativa 2.....	114
Tabla 4.8. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 2	116
Tabla 4.9. Elementos del modelo de simulación de la alternativa 3.....	117
Tabla 4.10. Descripción de subsistemas del centro de distribución de parabrisas para la alternativa 3.....	118
Tabla 4.11. Programación de la alternativa 3 en ProModel®	119
Tabla 4.12. Resultados de la simulación alternativa 3.....	123
Tabla 4.13. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 3	125
Tabla 4.14. Elementos del modelo de simulación de la alternativa 4.....	126
Tabla 4.15. Programación del modelo de simulación en ProModel® de la alternativa 4.....	128
Tabla 4.16. Resultados del modelo de simulación de la alternativa 4	133
Tabla 4.17. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 4	135
Tabla 4.18. Elementos del modelo de simulación de la propuesta 5	136
Tabla 4.19. Programación del modelo de simulación en ProModel® de la alternativa 5.....	137
Tabla 4.20. Resultados del modelo de simulación de la alternativa 5	142
Tabla 4.21. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 5	144
Tabla 4.22. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 1	145
Tabla 4.23. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 2	146
Tabla 4.24. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 3	146
Tabla 4.25. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 4	147
Tabla 4.26. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 5	148
Tabla 4.27. Diseño completamente al azar, comparación de 5 alternativas (5 tratamientos).....	150

Tabla 4.28. Cuadrados de los tiempos de las alternativas propuestas (cuadrados de los tratamientos)	150
Tabla 4.29. ANOVA para las alternativas propuestas	152
Tabla 4.30. Aplicación de la prueba LSD, comparación de promedios.....	154

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE

1. Introducción

En el estado del arte se realiza una revisión bibliográfica sobre trabajos de investigación en los que se han llevado a cabo la redistribución de planta, incluyendo el uso de la simulación como herramienta para optimizar procesos operativos y logísticos en centros de distribución.

La finalidad de realizar una revisión a la literatura es enriquecer el conocimiento sobre las características de los centros de distribución, conocer sus métodos de trabajo, identificar variables de relevancia, sus ventajas tanto como sus limitaciones, lo anterior permitirá identificar los factores por los cuales las empresas se ven en la necesidad de mejorar sus procesos y en algunos casos se necesita una redistribución de planta. Y la metodología que otros investigadores han aplicado para el desarrollo de este tipo de proyectos y los resultados que han obtenido.

1.1. Centros de distribución (CEDIS)

1.1.1. Definición

Baker y Halim (2007) definen a los centros de distribución (CEDIS) como un proceso logístico en la cadena de suministro que permite consolidar productos, agregar servicios de valor y despachar a los consumidores de una manera eficiente.

Son un espacio logístico en el que se almacena mercancía y se embarcan órdenes de salida para que sean distribuidos en el comercio mayorista o minorista y en ocasiones a los consumidores finales. Los productos deben permanecer el menor tiempo posible y, cuando estén allí, moverlos lo mínimo que se pueda [1].

Edward Frazelle (2006) menciona que generalmente en los centros de distribución, se desarrollan las operaciones de recepción, acomodo y almacenamiento de productos

provenientes de los proveedores o de la fábrica, los cuales, posteriormente son preparados, despachados o consolidados para atender los pedidos de los clientes con el fin de satisfacer sus necesidades y garantizar una operación eficaz [2].

Correa, Gómez y Cano (2010) comentan que adicionalmente, se emplean recursos como: personal, equipo de manejo de materiales y tecnologías de información y comunicaciones (TICS) [3].

Gómez y Correa (2012) complementan diciendo que de las diferentes operaciones, la preparación de pedidos y el despacho suelen ser consideradas como críticas en CEDIS, ya que estas impactan en la satisfacción de los clientes, y en los costos logísticos del CEDIS y representan alrededor del 70% de estos [4].

1.1.2. Descripción de las Operaciones que se Realizan en los Centros de Distribución

Las operaciones básicas que se realizan en los centros de distribución se muestran en la figura 1.1.

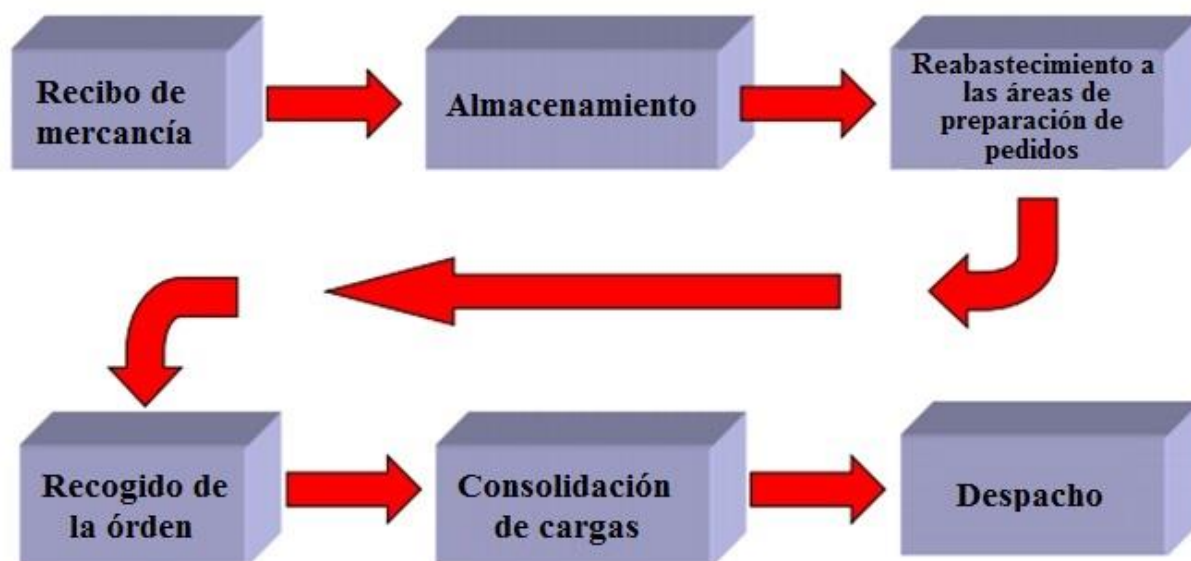


Figura 1.1. Diagrama de las operaciones básicas de los CEDIS.

Diego Saldarriga (2013) dice que otras labores son hechas en el entorno de operaciones de un centro de distribución, pesaje, etiquetado, embalaje, recepción y tratamiento a devoluciones, conteos de mercancía, operaciones de maquilas, son algunas de ellas. A continuación se describen en detalle cada uno de estos procesos.

Recepción: Es el proceso que recibe las mercancías que serán almacenadas; en este proceso se desarrollan actividades que están compuestas por las siguientes tareas:

- Recibir de forma ordenada todos los materiales que ingresan al almacén.
- Garantizar que la cantidad y la calidad de dichos artículos esté de acuerdo con la solicitud de la orden.
- Elaborar todos los registros respectivos en el sistema de información.
- Recibo de Mercancía.

Almacenamiento: Es guardar físicamente los productos mientras esperan por su demanda. La metodología de almacenamiento depende del tipo, tamaño y la cantidad de bienes que estén en el inventario y de las especificaciones de manejo de la carga o su empaque.

Es la labor de acomodo y guardado de los productos o tarimas, en sus diferentes posiciones de almacenamiento. Existe la posibilidad de hacer ubicaciones de tarimas fijas, variables o mixtas; la posición variable se refiere a la asignación del acomodo de manera caótica en el almacén, es decir que cualquier tarima puede ser ubicada en cualquier lugar del almacén o de las estanterías. Por el contrario en las asignaciones fijas una tarima sólo puede ser situada en las ubicaciones asignadas previamente en el sistema de información para ese tipo de producto. Una reconfiguración de las posiciones asignadas a productos o familias de productos debe ser reconfigurada al menos dos veces al año, pues éstas sufren cambios debido a la dinámica comercial.

Extracción (Picking): El alistamiento de las órdenes o preparación de pedido, es el proceso de extraer los artículos del almacenamiento para cubrir un pedido específico. El “picking” es el servicio básico que presta un centro de distribución, es el proceso donde se pueden cometer más errores; adicionalmente esta operación determina gran parte de los diseños de distribución de planta porque es la que consume al menos la mitad de los recursos de equipos y mano de obra del centro de distribución.

El proceso de picking, dentro de las actividades que se realizan en el almacén, es considerado sin duda el más costoso. Esta actividad, trata del conjunto de tareas y manipulaciones

destinadas a extraer y acondicionar aquellas cantidades de productos que satisfacen las necesidades de los clientes del almacén, manifestadas por medio de sus pedidos [5].

Bartholdi y Hackman (2008) mencionan que el proceso de picking está directamente relacionado con el tiempo de viaje que le toma a un operario en recoger los productos de una orden, y está en función creciente a la distancia que debe recorrer, por lo que se considera una actividad que "no crea valor" y es el primer candidato para mejorar en los procesos logísticos de un centro de distribución.

La variedad de artículos, parámetros y criterios, convierten al proceso de picking en una labor compleja, debido en parte al bajo nivel de automatización y a la complejidad de las tareas. También influye mucho el entorno cambiante en que deben prepararse los pedidos.

Por tal razón, cualquier acción encaminada a mejorar los procesos de manipulación obtiene elevadas tasas de beneficios, en especial con la adopción de una organización y planificación adecuada, con máquinas, equipos y sistemas idóneos. Las principales acciones que suelen constituir la operación de pedidos son:

- Recopilación de pedidos (recogida de datos).
- Gestión de los pedidos.
- Elaboración de los documentos de preparación.
- Extracción (picking).
- Traslado a la zona de expedición.
- Verificación y acondicionamiento de los pedidos.

Empaque: Muchos productos no se despachan en sus unidades originales y necesitan ser desagrupados, esta tarea puede realizarse como una fase adicional al concluir la tarea de picking; así como la labor de pre-empaque es posible hacer embalajes individuales de productos o de combinaciones de los mismos, dependiendo de los requerimientos de los clientes. Resulta mejor esperar hasta culminar el alistamiento para llevar a cabo esta operación porque así se genera una mayor flexibilidad a la hora de manejar el inventario físico.

Despacho: abarca la consolidación, el control y el empaque de la mercancía en un contenedor adecuado. Este proceso puede llevarse a cabo por medio de diferentes métodos de acuerdo con la clase de empaque que haya solicitado el usuario, y el tipo de producto, por ejemplo:

- Método por Cliente:
 - Cada equipo o empleado tiene una orden de un cliente, es decir que una orden es asignada para que un grupo simultáneamente haga la tarea de recolección.
 - Necesita más operarios y dispositivos de manejo de materiales.
 - Las entregas son más oportunas y el servicio mucho más ágil, debido a que el pedido puede ser recogido más rápidamente.
 - Es probable que se necesiten más recorridos al recoger el pedido.
 - Es idóneo para manejar un bajo volumen de productos por pedido.
- Método Consolidado:
 - Todos los productos iguales, y comunes en todos los pedidos de una fecha y hora de corte determinada, se consolidan en un solo bloque de recolección, es decir que se recoge una cantidad de un producto que pertenece a varias órdenes de pedido.
 - Sólo debe viajar una vez a hacer el despacho de cada producto.
 - Requiere un área adicional para la clasificación posterior de cada producto que debe ser asignada a cada orden.
 - Pueden presentarse errores por la manipulación.
 - El ciclo de entrega no es tan rápido debido a que el proceso de recogida de la orden abarca actividades que están compuestas por las siguientes tareas: Revisar todos los artículos que son entregados del área de preparación de pedidos, garantizar que la cantidad y la calidad de dichos artículos esté de acuerdo con la solicitud de la orden y elaborar todos los registros respectivos en el sistema de información.

Cruce de Andén (Cross Docking): práctica de descargar la mercancía desde un contenedor o tráiler de gran capacidad para ubicarlo posteriormente en uno o varios camiones de reparto de menor volumen. El objetivo principal es cambiar el modo de transporte, movilizar bienes con

diferentes destinos y consolidar los materiales que provienen de diferentes orígenes, todo esto sin que los productos sean ubicados en las estanterías o almacenados más de un día [6].

1.1.3. Estudios Previos de Simulación Discreta y Mejora de Procesos en los Centros de Distribución

Batero y Bañol (2014) elaboraron un modelo estratégico y sistemático para las buenas prácticas de picking en CEDIS, para lograr eficiencia en el proceso y disminuir los costos de operación para el cuál utilizaron el software ProModel® con el fin de sistematizar la información cualitativa y cuantitativa recolectada y analizar los resultados [7].

Baker y Canessa (2009); *Gu, Goetschalckx y McGinnis* (2010); *Gómez R.* (2011) describen que la simulación discreta puede ser utilizada para apoyar decisiones de diseño y mejoramiento de las operaciones y recursos de la gestión de almacenes o centros de distribución ofreciendo la capacidad de imitar diversos escenarios que contribuyan a que la empresa opere a menores costos y satisfaga las necesidades de los clientes [8], [9], [10].

Jean Gagliardi (2007) propone un modelo de simulación discreta desarrollado en el software Arena para el mejoramiento de las operaciones de la gestión de almacenes de una gran empresa de snacks en los Estados Unidos, incluyendo el despacho de los productos a los clientes [11].

Buil y Piera (2008) desarrollan una metodología y un modelo de simulación discreta en el software Arena para rediseñar las operaciones de la gestión de almacenes, consideran la preparación de pedidos y el despacho, y buscan gestionar adecuadamente restricciones de costos, calidad, tiempo de respuesta, entre otros [12].

Chiang et al. (2009) plantean un modelo combinado de simulación discreta y metaheurísticos para resolver el problema de integración de la producción y distribución en la administración de la cadena de suministro de una empresa de periódicos [13].

Potter, Yang y Lalwani (2007) describen la necesidad de mejorar la productividad del despacho como operación crítica de la cadena de suministro, debido a que es un vínculo entre el CEDIS y transporte. Como estrategia desarrollan un caso de estudio de mejora de esta

operación, utilizando simulación discreta que permitió reducir tiempo y asegurar la operación. También desarrollaron una metodología para mejorar la operación de despacho utilizando técnicas de Manufactura Esbelta como el mapa de flujo de valor (Value Stream Map, VSM) y estadística descriptiva para analizar los datos de funcionamiento e identificar oportunidades de mejora, y finalmente desarrollan un modelo de simulación discreta que permitió aumentar la productividad de la operación de despacho [14].

Wang y Tang (2010) desarrollan un modelo de optimización para maximizar la rentabilidad y el despacho de contendedores, y mejoran la eficiencia de la operación utilizando programación entera [15].

Ekren Banu et al. (2010) utilizan un modelo 2k para apoyar el diseño y medir el desempeño del sistema de almacenamiento automático, el cual tiene impacto en el adecuado funcionamiento del despacho [16].

Gómez y Correa (2011) emplean un modelo factorial completo de cuatro factores para mejorar la operación de recepción en un CEDIS buscando mejorar la eficiencia respecto a la reducción del tiempo y la utilización de los recursos [17].

1.2. Redistribución de planta

1.2.1. Definición

Sing y Sharma (2006); *Meller y Gau* (1996) mencionan que el problema de distribución de planta (Facilities Layout Problem, FLP) consiste en el establecimiento de la organización física de los departamentos, equipos y demás recursos dentro de las instalaciones [18], [19].

Lahamar y Benjaafar (2005); *Baykasoglu, Dereli y Sabuncu* (2006); *Afentakis, Miller y Solomon* (1990). La mayor parte de la literatura se ha enfocado en el objetivo de reducir los costos de manejo de materiales. El enfoque tradicional del problema de distribución de planta es estático, –sólo tiene en cuenta un período u horizonte de planeación– y determinístico– asume demandas, flujos y relaciones constantes–, dos supuestos que, por lo general, no se adaptan a la realidad de las empresas.

Ante esta falencia, en los últimos años ha surgido un mayor interés en generar modelos dinámicos (Dynamic Facilities Layout Problem, DFLP), que incluyan varios períodos de tiempo y permitan actualizar el diseño de las instalaciones, y modelos estocásticos (Stochastic Facilities Layout Problem, SFLP), que consideren la variabilidad de la demanda. Los proyectos de redistribución de planta (Facilities Relayout Problem, FRLP) consisten en reorganizar los equipos, departamentos y recursos existentes en la planta, con el fin de mejorar su desempeño. Estos proyectos son muy comunes hoy en día debido a la incertidumbre y los cambios en los entornos industriales, que generan en las empresas la necesidad de cambiar el tipo de sistema productivo, incorporar maquinaria, aumentar su capacidad, reevaluar su personal y las condiciones de trabajo, para lograr ser competitivas [20], [21], [22].

Wrennal (1997); *Braglia, Zanonni y Zavanella* (2005). Actualmente, para evaluar un diseño de planta se usan principalmente índices cuantitativos de eficiencia operativa. El más común de ellos es el costo de manejo de materiales [23], [24].

Benjaafar, Heragu e Irani (2002) proponen otros indicadores de desempeño como el trabajo en proceso (Work In Process, WIP) y los tiempos de ciclo [25]. Sin embargo *Ferrari* (2003) y *Salazar* (2010) mencionan que además de estas consideraciones técnicas, se deben mirar otros factores que en la práctica impactan la calidad de una distribución de planta, entre ellos la seguridad industrial, la congestión, la flexibilidad de expansión, las formas de los departamentos y los cuellos de botella [26], [27].

1.2.2. Causas por las Cuales una Empresa Necesita Realizar una Redistribución de Planta y Factores Críticos a Considerar

Rivera et al. (2012) mencionan que para identificar el tipo de proyecto de redistribución de planta que se quiere llevar a cabo en la empresa, primero se observa un conjunto de factores, tanto cualitativos como cuantitativos, esenciales para evaluar los diseños de planta, posteriormente se toman en cuenta los factores críticos por tipo de proyecto [28].

Redistribución para aumentar la capacidad: Conserva el mismo sistema productivo, los mismos productos y el tipo de maquinaria, pero implica un aumento de la cantidad de máquinas, o una ampliación de estaciones de trabajo actuales. Se va a generar una redistribución de planta siempre y cuando el hecho de traer nuevas máquinas, o de ampliar las

estaciones de trabajo, requiera una reorganización de varias entidades, y no se pueda lograr con solo poner las máquinas en un espacio libre existente, dado que en este último caso no habría una redistribución.

Factores críticos a considerar:

- Costo de adquisición de maquinaria de producción.
- Costo de adquisición de equipo de manejo de materiales.
- Flexibilidad en volumen.
- Flexibilidad de expansión del edificio.
- Condiciones del lugar natural.
- Espacios vacíos.
- Costo de levantamiento para paro en la producción.

Redistribución para incorporar un cambio al sistema productivo: Abarca la introducción de nuevas líneas de productos, de nuevos productos específicamente o de pasos adicionales dentro del proceso, como por ejemplo una nueva etapa de empaque. Las modificaciones anteriores corresponden a cambios del sistema productivo, puesto que varían los procesos y flujos ya establecidos o incorporan unos nuevos.

Factores críticos a considerar:

- Costo de adquisición de maquinaria de producción.
- Costo de nuevos requerimientos de software.
- Costo por la sincronización con los programas, el control del inventario, el papeleo.
- Flexibilidad de expansión del edificio.
- Referencias de proyectos o diseños similares.
- Espacios vacíos.
- Cumplimiento de normativas y legislaciones.
- Tiempo del proceso y de respuesta al cliente.
- Costo de levantamiento para paro en la producción.

Redistribución para aumentar eficiencia y reducir costos: Esta causa es la que se tomó en cuenta para el caso de estudio. Implica hacer unos cambios en la localización de los

departamentos, pero la estructura general se mantiene. Busca reducir los costos de manejo de materiales y de transporte, mejorar algunas características operativas como el tiempo del proceso, la congestión, los altos inventarios de producto en proceso y eliminar los flujos cruzados o en reversa. En la búsqueda de una mejora puede ser necesario involucrar a la gran mayoría de departamentos.

Factores críticos a considerar:

- Costo de adquisición de equipo de manejo de materiales.
- Costo anual de operación: mano de obra, utilidades, mantenimiento, manejo de materiales.
- Forma de la distribución.
- Adyacencia de departamentos.
- Número y ubicación de pasillos.
- Flexibilidad en las rutas.
- Tiempo de proceso y de respuesta al cliente.
- Densidad y volumen / Tiempo y distancia.
- Equipos de manejo de materiales externo.
- Acceso de vehículos y patrón de circulación.
- Complejidad del equipo de manejo de materiales y su complejidad con el edificio.
- Costo de levantamiento para paro en la producción.

Redistribución para implementar una filosofía o estrategia empresarial: Este tipo de proyectos tienen unos enfoques mucho más específicos. Un ejemplo consiste en la aplicación de la Manufactura Esbelta, filosofía que ya tiene unos principios, métodos y prácticas establecidos, y que deben ser aprendidos y aplicados por los precursores del proyecto para lograr adaptar las instalaciones a las características que plantea dicha metodología. Otro objetivo empresarial que podría buscarse es la integración de los proveedores a la planta de la empresa. También puede darse el caso en el que se requiera seguir alguna legislación, estrategia o parámetro establecido por empresas clientas, o por la empresa en conjunto con los proveedores.

Factores críticos a considerar:

- Grado de cumplimiento de los principios, características u objetivos de la filosofía, estrategia o legislación.
- Costo de nuevos requerimientos de software.
- Costo por la sincronización con los programas, el control del inventario y el papeleo.
- Grado en que se tiene en cuenta la seguridad industrial, la ergonomía, el impacto ambiental, y las actividades de apoyo con el mantenimiento y la seguridad del edificio.
- Costo de levantamiento para paro en la producción.

1.2.3. Estudios Previos de Redistribución de Planta para la Mejora de Procesos

Eva Marañon (2014) en su proyecto diseñó e implementó una distribución de planta para mejorar la productividad de la empresa Servicios Generales del Perú (SGP) de bordados y estampados. En donde identificó síntomas que ayudan a descubrir que existen problemas de distribución en una planta como son [29]:

- Congestión de materiales.
- Demora en los despachos.
- Áreas congestionadas.
- Control de inventarios insuficientes.
- Tiempo de movimiento de materiales elevado.
- Máquinas paradas en espera de material a procesar.
- Muchos accidentes.
- Rotación de personal.
- Necesidad de horas extras, etc.

Flórez y Parrado (2010) buscaron lograr una mejora necesaria acerca de la eficiencia de múltiples variables a nivel productivo, a través de la ejecución de un plan de mejora que giró en torno a la distribución de planta actual de Metálicas JEP S.A, específicamente en las áreas cuyo diagnóstico así lo indicó.

Además, plantearon que el problema se debió a la creciente demanda y gran aceptación de sus productos que se vieron en la necesidad de realizar cambios y ajustes que le aseguraran su estabilidad en el medio nacional e internacional. Así pues, la empresa requirió del rediseño de la distribución de planta para mejorar varios factores que afectaban directamente el proceso productivo de algunas de sus áreas [30].

Para el desarrollo ellos consideraron la siguiente metodología:

- I. Realizar un diagnóstico de la distribución de planta actual de metálicas JEP S.A.
- II. Analizar las áreas, su relación y el flujo de material a lo largo del proceso.
- III. Identificar y analizar el aprovechamiento de espacio y funcionamiento actual de las áreas críticas.
- IV. Plantear alternativas de mejora para la distribución de planta actual.
- V. Evaluar y escoger una distribución de planta viable, confiable y eficiente para la empresa.
- VI. Modelar la nueva distribución de planta y realizar la propuesta de mejoramiento definitiva.

Arango, Zapata y Pemberthyd (2010) presentan una propuesta orientada al mejoramiento de los procesos de distribución y picking en la bodega de una empresa del sector industrial. En donde mencionan que las actividades relacionadas con el almacenamiento de materiales son las que más interfieren en los costos logísticos totales en una empresa o cadena de suministro. También indican que una de las actividades primordiales para intentar reducir los costos operativos es la optimización de los espacios requeridos en el almacenamiento.

La finalidad del estudio radicó principalmente en la disminución de los tiempos de preparación de pedido para lograr una mejora en el servicio y en la reducción del área destinada al almacenamiento para mitigar los costos de operación. Aplicando el modelo proporcionado por Bassan. Para lo cual la propuesta de distribución aplicando el modelo de Bassan y la distribución actual del almacén de picking se simularon para determinar el tiempo de recogida de órdenes en dicho almacén. Inicialmente, con el modelo de simulación, se buscó la distribución de probabilidad de generación de pedidos, luego se realizó la simulación con las dos distribuciones propuestas (distribución actual y distribución propuesta), por medio del

software Arena. Los resultados que obtuvieron en las dos distribuciones donde el tiempo de recorrido calculado con la distribución óptima se disminuyó en 13.2 segundos y el tiempo de recogida de orden utilizando la distribución actual, lo cual significó un ahorro del 12.3%, resultado conforme con el ahorro físico, producto del modelo de Bassan [31].

Bartholdi y Hackman (2009) mencionan que los objetivos que a menudo son tenidos en cuenta en el diseño y optimización del almacén son los siguientes:

- Minimizar el tiempo de operación.
- Minimizar los gastos de tiempo en la realización de una orden.
- Maximizar el uso del espacio.
- Maximizar el uso de los equipos.
- Maximizar el uso de la mano de obra.
- Maximizar la accesibilidad a todos los artículos.

En el contexto del picking, para el diseño de la distribución del almacén, se deben abarcar dos sub-problemas: el diseño de las instalaciones para el proceso de picking y el diseño del sistema de picking. El primero se suele denominar el problema de diseño de la instalación, que se refiere a la decisión de dónde ubicar físicamente los distintos departamentos (recepción, picking, almacenamiento, clasificación) y el segundo trata sobre lo que también se puede llamar el diseño interior o problema de los pasillos de configuración [32].

John Vergel (2009) genera una propuesta de una distribución de planta que permite optimizar la disposición de elementos en el área de producción, enfocándose en elementos tales como maquinas, recursos humanos y materiales, haciendo que la propuesta realizada incremente los niveles de eficiencia del departamento.

Además, el autor justifica la necesidad de un estudio detallado de las necesidades de la empresa, identificó las características de su proceso productivo, del mercado, y en general de todos los aspectos necesarios para desarrollar un correcto diseño y distribución de planta y logró con esto la optimización de los procesos que se llevaron a cabo en esta.

A partir de los resultados de este estudio se obtuvo para la empresa una distribución de planta a largo plazo que trata de evitar redistribuciones que representen costos, también

distribuciones fácilmente adaptables a las variaciones en la demanda del producto fabricado, o de los procesos productivos [33].

Díaz, Jarufe y Noriega (2008) Identifican 4 causas frecuentes que llevan a la realización de estudios de distribución de planta, los cuales son:

- Proyecto de una planta completamente nueva.
- Expansión o traslado a una planta ya existente.
- Reordenación de una distribución ya existente.
- Ajustes menores en una distribución ya existente.

También mencionan que existen cuatro fases o niveles de distribución en planta, las cuáles son:

Fase I Localización

Aquí se indica el lugar donde estará el área que va a ser organizada, es en donde se define el proyecto en cuanto alcance, requerimientos y ubicación física

Fase II Distribución general de conjunto (DGC)

En esta fase se plantea en forma general la organización completa. Se realiza el flujo para el área que va a ser organizada y se indica también el tamaño y la interrelación de las áreas.

Como resultado tendrá el diagrama a escala de la futura planta.

Solución inicial: disposición de áreas funcionales, métodos generales de manejo y comunicación y planos preliminares del edificio.

Fase III Plan detallado de distribución (PDD)

Se prepara el plan de la organización a detalle, se deben de incluir los lugares donde se van a localizar los puestos de trabajo, los equipos y las maquinarias utilizadas en el proceso.

Solución detallada: disposición detallada de la máquina y equipos, manejo de un lugar de trabajo a otro.

Fase IV Instalación de la distribución

Esta última fase implica el plan de planeación, es decir planear los pasos específicos para construir, modificar, instalar y poner en marcha las áreas [34].

Martín Muñoz (2004) diseñó una distribución de planta que optimizó la disposición de los elementos del ciclo productivo: maquinas, recursos humanos y materiales, en una planta nueva, de manera que el valor creado por el sistema de producción elevó los niveles de productividad de la empresa.

También estableció algunas recomendaciones importantes en su proyecto para tener en cuenta en el desarrollo de proyectos similares las cuales se citan a continuación [35]:

- En la realización de una distribución en planta no se deben seguir pasos improvisados, por el contrario, se debe contar con modelos y técnicas adecuadas, como el método de planeación sistémica de la distribución; para lograr una eficaz y eficiente organización de cada uno de los factores que intervienen en ella y de esta manera optimizar tanto herramientas, como espacio y dinero.
- La responsabilidad de una buena distribución no es sólo del ingeniero o diseñador encargado, sino de toda la empresa en su conjunto. Desde el desarrollo del diagrama general de conjunto hasta la elaboración de los planos detallados de distribución, el compromiso y la participación de los miembros de la empresa se hace necesaria e imprescindible para llegar a los resultados óptimos esperados.
- El equipo del proyecto de distribución debe estar conformado por lo menos por tres personas ajenas a la empresa, que puedan aportar ideas nuevas e innovadoras a los métodos y procesos de la empresa. A menudo el personal de la empresa llega tanto a acostumbrarse a la forma de trabajo, que es muy difícil distinguir tareas que se están haciendo mal y percibir mejoras a los métodos de trabajo.
- No se debe caer en el error de considerar únicamente como objetivo de la distribución el incremento de productividad y la reducción de costos. Es también importante enfocar el diseño que hagamos al factor hombre, una correcta distribución en planta mejorará el nivel de vida de los trabajadores y sus condiciones de trabajo.
- Un proyecto de distribución es una buena oportunidad para realizar cambios y eliminar costumbres arraigadas en los métodos de trabajo, que perjudican las operaciones. El principal obstáculo para el cambio lo constituyen los propios trabajadores; éste es un momento inmejorable para que junto con la nueva ubicación del área y su ordenamiento físico, se termine con hábitos de prácticas ineficientes.

- La mejor forma de conseguir el apoyo y participación de todos los trabajadores de la empresa, es hacerlos sentir parte del proyecto. Se debe pedir la opinión e ideas de quienes quieran aportar algo a la nueva distribución. Un método recomendable es disponer de buzones y hojas para recabar sugerencias.
- Para presentar el diseño de la distribución y convencer a la dirección se debe hacer uso de los mejores medios y tecnología que se disponga. A las clásicas maquetas se pueden agregar simulaciones por computador o planos en tres dimensiones, elaborados en programas como Autocad o Architectural Desktop. No se debe escatimar recursos en la presentación de la distribución, ya que en realidad lo que estamos haciendo es vender el nuevo diseño a los directivos de la empresa.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2. Introducción

En el marco teórico se mencionan las herramientas teóricas, bases, normas o principios concernientes a la solución del problema. Entre los que se encuentran simulación discreta, estudio de tiempos con cronómetro, programación lineal, diseño de experimentos, etc.

2.1. Simulación

2.1.1. Antecedentes de la Simulación

Omar Bolaños (2004) hace una recopilación de los antecedentes de la simulación, donde expresa que la simulación se desarrolla con la teoría de muestreo estadístico y análisis de sistemas físicos probabilísticos complejos. El aspecto común de ambos es el uso de números y muestras aleatorias para aproximar soluciones.

Los orígenes de la simulación se remontan a la segunda Guerra Mundial cuando los matemáticos, J.V Neumann y S. Ulam, tenían el reto de resolver un problema complejo relacionado con el comportamiento de los neutrones. Los experimentos basados en prueba y error eran muy caros y el problema era demasiado complicado para ser abordado mediante técnicas analíticas. La aproximación que eligieron se basa en la utilización de números aleatorios y distribuciones de probabilidad. El método desarrollado fue llamado "Método de Montecarlo" por la generación de números aleatorios y el juego de la ruleta.

Durante la Guerra Fría se intensificó el uso de la simulación para resolver problemas de interés militar; trayectorias y dinámicas de satélites artificiales, guiar misiles, etc. Muchos de estos problemas exigen la resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales. Para abordar estos problemas se utilizaron computadoras analógicas que usaban elementos electrónicos para resolver operaciones matemáticas: integración, suma, multiplicación, generación de funciones, etc.

A partir de la década de los 60 aparecen en el mercado programas de simulación de sistemas de acontecimientos discretos que poco a poco se empezaron a utilizar para resolver problemas del ámbito civil. Los más destacados fueron el GPSS de IBM (General Purpose System Simulator) y el SIMSCRIPT. Los modelos de acontecimientos discretos son muy utilizados en la actualidad para estudiar problemas de fabricación, logística, transporte, comunicaciones y servicios. Estos problemas se caracterizan por centrar su interés en los cambios que hay en el sistema como consecuencia de los acontecimientos y en su capacidad para modelar los aspectos aleatorios del sistema.

Fue en los 70 y principios de los 80 cuando el uso de la simulación, se expandió gracias a que la velocidad de las computadoras aumentó y los costos disminuyeron. Comenzó a enseñarse en las universidades y se dio a conocer a un mayor número de empresas. Principalmente se utilizaba para averiguar las causas de accidentes de gravedad ocurridos en empresas.

En la segunda mitad de los 80 la simulación se asentó definitivamente gracias en gran parte a la aparición de las computadoras personales y la animación. Además del análisis de accidentes se empezó a utilizar también como herramienta previa al comienzo de la producción. El uso de simuladores se generalizó en prácticamente todos los ámbitos de la ciencia y la ingeniería, por ejemplo: en la predicción del tiempo y el entrenamiento de pilotos.

La madurez llegó en los 90, cuando muchas pequeñas empresas comenzaron a usar la simulación en etapas tempranas de sus proyectos, donde realmente podía tener mayor impacto. La llegada de los procesadores de alta velocidad amplió el número de aplicaciones, y con ello, el número de problemas teóricos y prácticos abordables.

Hoy en día, la simulación se realiza mediante computadoras y software específicos, siendo una poderosa técnica de resolución de problemas reales, se experimenta con un modelo numérico, de tal forma que con los resultados se puede obtener una estimación de las características del sistema.

El uso de la simulación se ha ampliado al sector del ocio y ha entrado en el ámbito familiar con productos de software sofisticado, que utilizan muchos de los recursos de la computadora: gráficos potentes, bases de datos, computación intensiva, etc.

Para añadir problemas reales se realiza una serie de simplificaciones que toman la forma de relaciones matemáticas o lógicas, constituyendo un modelo que se usa para comprender el comportamiento del sistema real. Se trata de trasladar la realidad a reglas matemáticas que lo representen de la forma más fidedigna posible.

Si las relaciones matemáticas que componen el modelo son suficientemente simples, es posible usar métodos matemáticos (tales como álgebra, cálculo o teoría de la probabilidad), para obtener una información exacta de las cuestiones de interés; a esto se le llama solución analítica. Sin embargo, la mayoría de los sistemas del mundo real no pueden evaluarse analíticamente, y lo que se puede hacer, es estudiar dichos modelos mediante la simulación [36].

2.1.2. Definición de la Simulación

Gerardo Villamizar (2005) menciona que la simulación es una representación ficticia de una situación real, que se experimenta mediante modelos que son abstracciones de la realidad. Es una herramienta de análisis de sistemas complejos, que bien utilizados pueden generar ahorros considerables de dinero hasta el mejoramiento de la planeación y control de los sistemas productivos, pasando por el descubrimiento de muchas de las restricciones reales del sistema.

Simular es la construcción de un modelo abstracto que representa algún sistema de la vida real, con la subsiguiente descripción a través del tiempo de los pertinentes al sistema como una serie de ecuaciones y relaciones, generalmente a través de un programa de computadora.

La simulación es la representación de un proceso o fenómeno mediante otro más simple. La simulación intenta reproducir la realidad a partir de resolución numérica mediante ordenador, de las ecuaciones matemáticas que describen dicha realidad. Por lo tanto hay que asumir que la simulación es tan exacta como lo son las ecuaciones de partida y la capacidad de los ordenadores para resolverlas, lo cual fija límites para su utilización [37].

Robert E. Shannon (2003) definió a la simulación como el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema y evaluar varias estrategias con las cuáles se puede operar el sistema [38].

2.1.3. Objetivo de la Simulación

Carlos Maxera (2005) establece que el objetivo fundamental de la simulación es el analizar las condiciones del sistema real. Para lo cual se debe de tener un buen conocimiento del sistema real, ya que cuanto mayor sea el grado de aproximación de la simulación a la realidad, mayor será su utilidad [39].

Otros propósitos generales de la simulación de procesos son:

- Minimizar actividades costosas en tiempo y dinero.
- Disminuir riesgos en la toma de decisiones anticipadas.
- Hacer de los modelos de simulación herramientas fiables.
- Cuantificación de parámetros y valores correspondientes a cada función y modos de fallo asociados.
- Optimización e integración entre la simulación, el diseño y la experimentación del producto final.

2.1.4. Aplicaciones de la Simulación

Alonso Revenga y Juana M. (2008) identifican que en el campo de la logística, las principales aplicaciones de la simulación se centran en:

- Fenómenos de espera.
- Gestión de inventarios.
- Fiabilidad, mantenimiento y verificación de la calidad.
- Planificación, programación y control de proyectos.

La simulación de sistemas más popular es la de simuladores vuelo, combate, etc., o cualquier videojuego que esté programado para brindarle al usuario una sensación de realidad, como si fueran ellos mismos los que estuvieran en una misión real [40].

Ferreiro y Azcárate (2011) complementan que en general, se puede hablar de tres tipos de aplicaciones [41]:

- Experimentación: Es un modelo de simulación que es necesario cuando la experimentación directa sobre el sistema real es muy costosa o imposible y cuando el

objetivo es diseñar un nuevo sistema, dado que el modelo puede ir modificándose fácilmente hasta obtener el comportamiento deseado.

- **Predicción:** El modelo se puede usar para pronosticar el comportamiento del sistema real bajo ciertos estímulos. Se puede hacer así una evaluación de diferentes estrategias de acción.
- **Enseñanza:** adiestramiento de astronautas, en los juegos de negocios, etc.

2.1.5. Simulación de Procesos Industriales

Fundación Pro dintec (2010). La simulación de procesos industriales, basada en la técnica de simulación de eventos discretos, es una técnica informática que permite crear modelos dinámicos de una fábrica o de un sistema logístico, que posteriormente servirán para analizar el comportamiento de ese modelo en diferentes circunstancias, analizando los posibles cambios y sus consecuencias, de tal manera que permite comprobar las hipótesis antes de implementarlas en la realidad.

A continuación, se definen los principales conceptos que permiten comprender el concepto teórico de la simulación de eventos discretos.

Sistema: conjunto de elementos que interactúan para la consecución de un determinado fin.

Variables de estado: conjunto de variables necesarias para definir un sistema en un momento dado. En función de la evolución temporal de estas variables, se pueden distinguir dos tipos de sistemas:

- **Sistemas discretos:** aquellos en los que las variables de estado cambian en un conjunto de instantes de tiempo concretos.
- **Sistemas continuos:** Aquellos sistemas en los que las variables de estado cambian de manera continua a lo largo del tiempo.

Modelo de simulación: consiste en la representación de un sistema mediante un conjunto de relaciones cuantitativas y lógicas entre sus componentes, permitiendo estudiar cómo se comporta el modelo del sistema cuando cambia alguno de sus componentes. Los modelos de simulación se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios.

- Según el instante temporal que representan:
 - Estáticos: representan a un sistema en un determinado estado de tiempo.
 - Dinámicos: representan a un sistema que evoluciona a lo largo del tiempo o según la aleatoriedad de sus variables de estado.
 - Deterministas: el sistema no contiene ninguna variable de estado aleatoria.
 - Estocásticos: el sistema contiene al menos una variable de estado no determinista.
- Según el modo en el que evolucionan las variables de estado:
 - Discretos o de eventos discretos: si las variables de estado del modelo varían en un conjunto contable de instantes de tiempo.
 - Continuos: si las variables de estado varían de modo continuo en función del tiempo.

Los procesos industriales están constituidos por moldes dinámicos, aleatorios y discretos, por lo que para su representación se requiere la denominada simulación de eventos discretos, con la cual se representan y analizan este tipo de modelos [42].

2.1.6. ¿Qué es la Simulación Discreta?

Eduardo García (2006) dice que la simulación de eventos discretos es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado.

Un sistema discreto es aquel que es observado en momentos de tiempo prefijados, como por ejemplo en aquellos casos en que se inspecciona un proceso una vez semanalmente, o en una serie de visitas como es el caso de los ensayos clínicos [43].

Barceló (1996); *Monleón* (2005) mencionan que la principal característica de un sistema de eventos discretos es que el sistema está determinado por una secuencia de eventos que ocurren en puntos temporales aleatorios t_1, t_2, \dots y el cambio de estado del sistema tiene lugar en esos instantes.

Cuando se escribe un programa de simulación para un modelo de eventos discretos se puede realizar una aproximación del esquema temporal de funcionamiento o de modificación de las

entidades en el sistema. Así deberán describirse la secuencia de eventos y actividades que realizarán las entidades durante su estancia en el sistema y cómo se modificarán. Algunos de los sistemas más estudiados de simulación de eventos discretos son los problemas de colas.

En general, en la simulación de eventos discretos existen N diferentes eventos y a cada uno le corresponde una actividad: A_1, \dots, A_N . En la lista de eventos de la metodología de simulación puede indicar los puntos temporales: T_1, \dots, T_n en los que ocurren los diferentes eventos. La simulación consistirá en encontrar el menor T_i , dado el momento actual, hasta un evento concreto y ejecutar las actividades correspondientes. El planteamiento de una simulación de eventos discretos se muestra en la figura 2.1 [44], [45]:

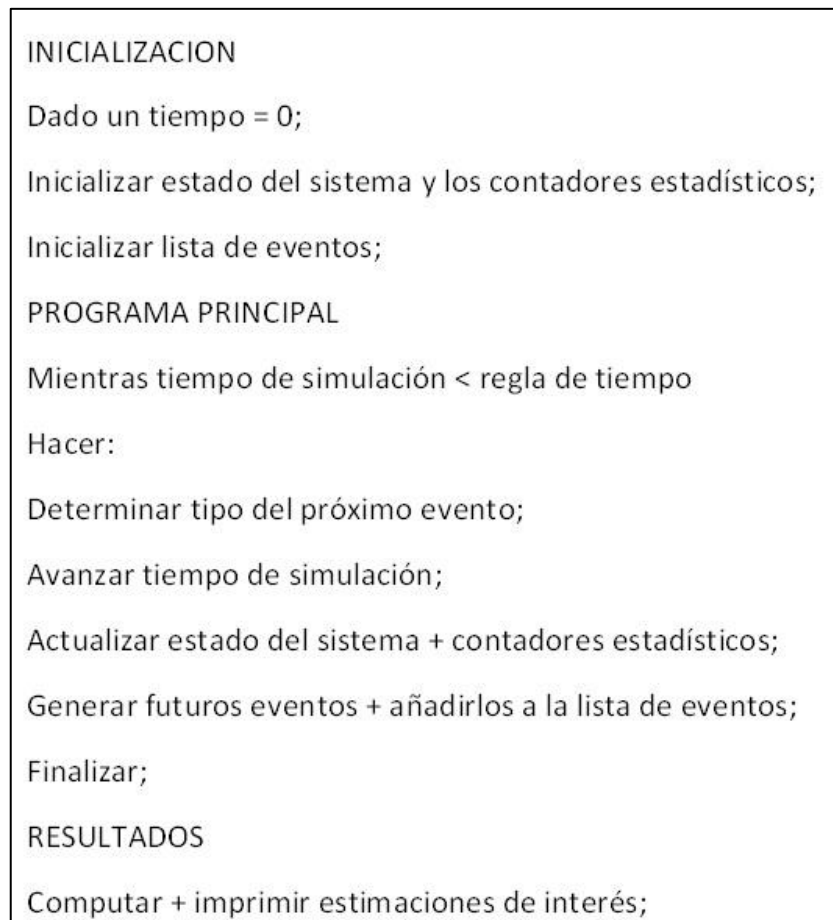


Figura 2.1. Planteamiento de una simulación de eventos discretos.

2.1.7. ¿Cómo Funciona y Para Qué Sirve la Simulación?

Obaidat y Papadimitriou (2003). La simulación discreta permite la imitación o representación de procesos y recursos logísticos, en modelos computacionales considerando incertidumbre

sobre los cuales se realizan experimentos con el fin de evaluar el desempeño, diseños u oportunidades de mejora que permitan operaciones eficientes y eficaces [46].

Francisco Pérez (2007). El modelo adquiere normalmente la forma de un conjunto de representaciones de la operación del sistema, expresadas como relaciones matemáticas, lógicas o simbólicas, entre las entidades. Los sistemas que conviene simular son los de alta complejidad. Sirve como herramienta poderosa de gran alcance, que ofrece a las personas que tienen la responsabilidad de tomar decisiones y a los analistas la capacidad de probar escenarios de tipo “que pasaría si...” de cualquier proceso. El modelo de simulación puede ser utilizado para predecir el impacto en medidas de desempeño clave [47].

2.1.8. Ventajas y Desventajas de la Simulación

Ventajas:

- A partir de datos reales se puede obtener información que permitirá el análisis, la síntesis y la optimización, además no se requiere una gran cantidad de experimentos ya que si el modelo utilizado es el adecuado, la reproducibilidad de resultados es excelente.
- Adicionalmente, la utilización de la simulación discreta permite reducir potencialmente los tiempos y costos de análisis, diseño y mejora de procesos, ya que no se requiere experimentar con el sistema real, sino con el modelo computacional cuando se garantice que este sea válido.
- Ayuda a mejorar los procesos y los resultados: decidir correctamente, diagnosticar problemas, estudiar fácilmente diferentes posibilidades, visualizaciones 3D, formación de equipos de trabajo, predecir nuevas situaciones ante cambios, asegurar inversiones.
- Permite la búsqueda del proceso óptimo: equilibrado de líneas, estudio de stocks (necesidades, dimensionamiento de espacios), reparto de cargas de trabajo, identificación de cuellos de botella, dimensionamiento de cintas transportadoras.
- Permite realizar planificaciones apoyadas en modelos predictivos.

Desventajas:

- Las simulaciones pueden ser costosas tanto en tiempo como en dinero.
- La adquisición de los datos, en ocasiones pueden requerir más tiempo del planificado, debido principalmente a que un gran número de empresas no tiene controlados los tiempos de ciclo, de cambio y otros datos de sus procesos productivos o que la información del ERP no es la requerida para poder analizar la situación que se pretende estudiar.
- Las simulaciones pueden ser usadas inadecuadamente, los datos presentados deben estar siempre ligados a las hipótesis y datos de partida [48].

2.2. Softwares para simulación

A continuación en la tabla 2.1 se describen algunos de los paquetes de simulación más usados, sus características, sus ventajas y desventajas a la hora de usarlos, además de que algunos son más complejos que otros y ayuda a identificar a qué tipo de simulaciones están más enfocados.

Tabla 2.1. Softwares más populares para simular.

NOMBRE DEL SOFTWARE	AÑO EN QUE FUÉ DESARROLLADO	QUIÉN LO DESARROLLÓ	CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES
GASP IV	1973	Alan B. Pristkery y N. Hurst	<ul style="list-style-type: none">- Lenguaje de simulación basado en FORTAN.- Lenguaje híbrido, puede ser usado para programadores de simulación discretos, continuos y combinados; siendo el primero en integrar completamente estos dos ambientes de función del tiempo.
SIMSCRIPT II.5	Inicio de los 60's	H. Markowitz	<ul style="list-style-type: none">- Desarrollada para apoyar un proyecto de la Fuerza Aérea RAND.- Indicado para simular:<ul style="list-style-type: none">• Aplicaciones militares.• Redes de comunicación.• Transporte y fabricación.• Control de inventario y planificación logística.• Mercados financieros.
SIMAN	1984	Dennis Pegden	<ul style="list-style-type: none">- Modela un sistema discreto usando la orientación al proceso; es decir, en un modelo de sistema particular, se estudian

Tabla 2.1. Continuación.

NOMBRE DEL SOFTWARE	AÑO EN QUE FUÉ DESARROLLADO	QUIÉN LO DESARROLLÓ	CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES
SIMAN	1984	Dennis Pegden	<p>las entidades que se mueven a través del sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lenguaje útil para realizar modelos complejos de manufactura. - Tiempo de programación corto.
SLAM II	1979	Dennis Pedge y Alan Pritsker	<ul style="list-style-type: none"> - Se pueden construir modelos con orientación al proceso o al evento. - La parte orientada a los eventos permite incluir rutinas en FORTRAN para las relaciones lógicas y matemáticas que describen los cambios en los eventos. - Simplifica el modelamiento de sistemas complejos, combinando el uso fácil de lenguaje de proceso como GPSS y Q-GERT con la potencia y flexibilidad del lenguaje de eventos GASP IV.
CRYSTAL BALL	2008	ORACLE	<ul style="list-style-type: none"> - Es una aplicación basada en hojas de cálculo, líder para modelaje predictivo, previsión, simulación y optimización. - Utiliza la técnica de simulación Monte Carlo que muestra los resultados posibles, mostrando los niveles de confianza.
ARENA	2000	Desarrollado por Modelado de Sistemas y adquirida por Rockwell Automation	<ul style="list-style-type: none"> - Se construye un experimento de un modelo mediante la colocación de módulos que representan procesos o lógica. - Los datos estadísticos, como el tiempo de ciclo y los niveles de WIP, se pueden grabar y emiten los informes. - Puede ser integrado con las tecnologías de Microsoft, Incluye Visual Basic para aplicaciones para los modelos pueden ser aún más automatizado si se necesitan algoritmos específicos. -También es compatible con la importación de Microsoft Visio diagramas de flujo, así como la lectura de salida o de hojas de cálculo Excel y bases de datos de acceso, Hosting controles ActiveX también es compatible.

Tabla 2.1. Continuación.

NOMBRE DEL SOFTWARE	AÑO EN QUE FUÉ DESARROLLADO	QUIÉN LO DESARROLLÓ	CARACTERÍSTICAS MÁS RELEVANTES
TECNOMATIX PLANT	2005	Siemens PLM Software	<ul style="list-style-type: none"> - Herramienta de simulación de eventos discretos. - Ayuda a crear modelos digitales de sistemas de logística, que permite la exploración de las características de los sistemas y la optimización de su rendimiento. - Permiten llevar a cabo experimentos y trabajar con escenarios hipotéticos sin afectar a los sistemas de producción existentes mucho antes de instalar los sistemas de producción en sí.

2.2.1. ProModel®

Este es el software que se utilizará para la construcción del modelo de estudio ya que es un software de simulación de gran flexibilidad, especializado en evaluar procesos de producción. Permite modelar cualquier tipo de proceso. Ofrece las facilidades necesarias para que las empresas modernicen y agilicen sus procesos de evaluación o planes pilotos. Su amigable ambiente gráfico permite al usuario construir modelos y escenarios sin necesidad de conocimientos específicos de lenguajes de programación, ni de modelamiento matemático. Para el tratamiento inicial de ajuste de curva de datos a distribuciones de probabilidades posee un módulo propio llamado STAT-FIT.

Además dentro de un modelo construido podemos realizar optimización mediante diseño factorial de experimentos (FED). Con el software Simrunner, módulo de ProModel®, podemos indicar para un modelo dado ciertas condiciones de configuración. Indicamos las variables que pueden tener distintos parámetros de entrada. A su vez, las variables de importancia que quisiéramos minimizar o maximizar con su respectiva ponderación, vale decir nuestra función objetivo. Todo esto va a generar distintas corridas de escenarios automáticos de What-If, que Simrunner optimizara de acuerdo a la función objetivo ingresada.

ProModel® es una herramienta software basado en simulación para evaluación, planeación y/o rediseño de sistemas de producción, logísticos y de servicios. La herramienta permite a los usuarios construir una representación, en computadora, de sus sistemas y evaluarlos en una

variedad de escenarios. La animación y reporte gráfico de salidas, con información estadística, muestra la conducta de un sistema bajo cualquier conjunto de parámetros operacionales.

ProModel® ha sido usado exitosamente en una variedad de aplicaciones incluyendo call centers, flujo documentario, área de servicio al cliente y procesamiento de transacciones. Compañías como Chase Bank, UNUM, Delta Airlines, y UPS lo han utilizado para optimizar un modelo de sus sistemas antes de hacer cambios en la vida real de las operaciones [48].

La versión estudiantil de ProModel®, cuenta con los siguientes módulos:

- ProModel®: simulación de manufactura y servicio.
- Sim Runner: módulo de optimización básico en el simulador.
- STAT-FIT: software estadístico ajustador de curvas.
- Un ejemplar del libro System Improvement Using Simulation.
- Incluye instaladores y un juego de manuales de ProModel®.

Algunas características de ProModel® son:

- Los modelos son creados de manera gráfica. Proporciona interfaces intuitivas, diálogo interactivo y ayuda en línea. Un apoyo de programación automática guía al usuario a lo largo del proceso de construcción del modelo.
- El software opera en ambiente Windows, beneficiándose de la sincronía entre ventanas y del intercambio de datos. Se aprovechan los recursos como los tipos de letra, la impresión, la graficación y la importación de datos desde hojas de cálculo.
- Se ofrece un tamaño del modelo virtualmente ilimitado.
- Ofrece un editor gráfico bidimensional con escalamiento y rotación. Los íconos pueden definirse ya sea vectorialmente o con pixeles. La característica de mapa de bits de los íconos permite una velocidad rápida de la animación durante las corridas de simulación.
- Se permite la importación de dibujos de CAD, así como informaciones y programas de operación del proceso. Pueden generarse los reportes de salida y archivos en hojas de cálculo, definidos por el usuario.

- Los elementos estáticos y dinámicos de la animación se desarrollan mientras se define el modelo, de forma integrada.
- Solo se requiere de hardware estándar sin necesidad de tarjetas, monitores o procesadores especiales.
- Proporciona la posibilidad de construcción pre-programada. Esto permite una modelación rápida de recursos de procesamientos múltiples, compartidos o móviles, así como tiempos de falla y turnos de trabajo.
- Se dispone de un paquete estadístico avanzado (STAT-FIT).
- Se proporciona la capacidad de corridas de simulación de escenarios múltiples (SimRunner), facilitando el diseño de experimentos.

2.2.2. STAT-FIT

Es un software estadístico de ajuste de distribución, STAT-FIT estadísticamente se ajusta a la distribución de análisis de datos de usuario. El método STAT-FIT se adapta automáticamente a distribuciones continuas y discretas, establece comparaciones relativas establece entre los tipos de distribución y da una medida absoluta de la aceptabilidad de cada distribución.

El analizador de datos de entrada está diseñado para ajustar muestras a distribuciones de probabilidad para los datos observados, proporcionar estimados de sus parámetros y medir que tan bien se ajustan a los datos.

STAT-FIT puede ser usado para generar tablas de variables aleatorias usando su generador de números aleatorios.

Las características adicionales incluyen la estadística descriptiva, las estimaciones de parámetros, pruebas de bondad de ajuste, análisis gráficos y más. Ejemplos de aplicación incluyen la simulación y la modelación, evaluación de riesgos, la ingeniería y la gestión financiera.

2.3. Metodologías de diferentes autores para conducir un estudio de simulación

Diversos autores que exponen sus puntos de vista sobre temas de modelado definen diferentes metodologías para desarrollar un estudio de simulación y estas propuestas difieren en menor a gran medida unas de otras. Por ello, se concluye, que no existe un método determinado, sólo aproximaciones hechas por diversos investigadores.

En las figuras 2.2 a la 2.4 se muestra por medio de diagramas las metodologías propuestas por *Banks, Carson y Nelson (2005)*, *Law & Kelton (1991)* y *Antoni Guasch (2005)*, cada una contiene las etapas para guiar la construcción de un modelo de simulación de manera exhaustiva, [49], [50], [51].

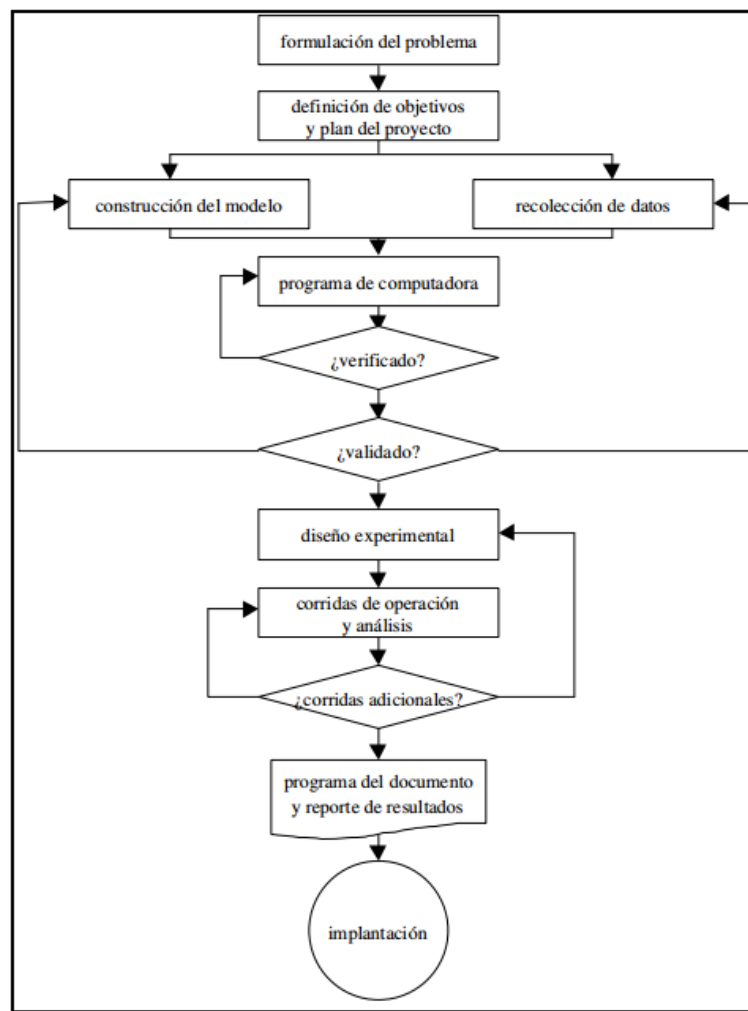


Figura 2.2. Metodología propuesta por Banks, Carson y Nelson.

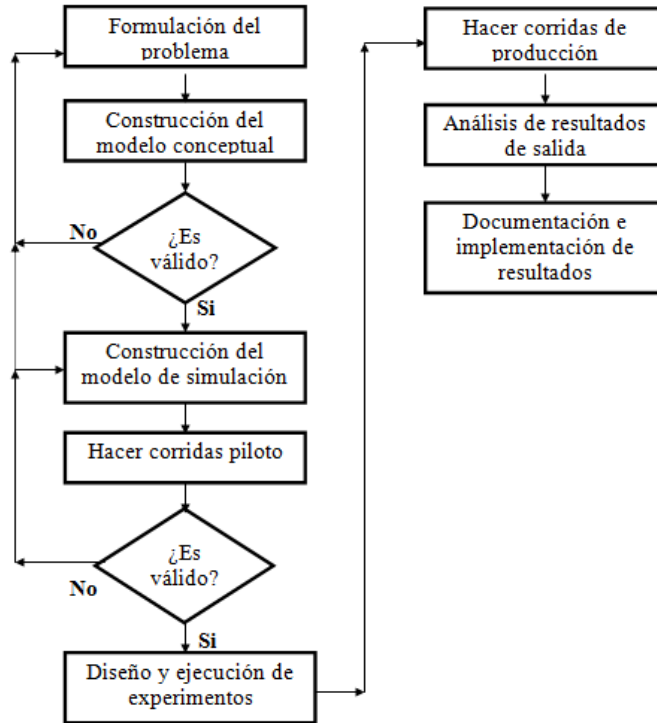


Figura 2.3. Metodología propuesta por Law & Kelton.

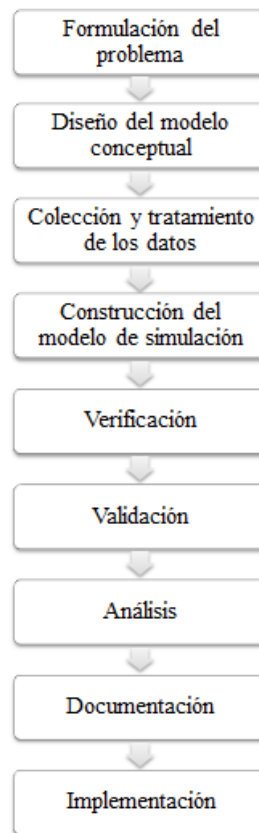


Figura 2.4. Metodología propuesta por Antoni Guasch.

2.4. Descripción de las etapas para conducir un estudio de simulación discreta

Al observar las metodologías mencionadas en el punto anterior se pudieron identificar las etapas en las que coinciden, las cuales se describen a continuación.

2.4.1. Formulación del Problema

Incluye la descripción del problema y la definición de los objetivos del proyecto de simulación.

2.4.2. Construcción del Modelo Conceptual

Debe incluir una distribución física del sistema, diagramas de flujo de los procesos a simular con la descripción y listar los datos de entrada requeridos. Diferentes autores coinciden en que el modelo conceptual es un resumen apropiado de la simplificación real del sistema, esto proporciona una idea del modelo en términos generales.

López A. (2012) menciona que antes de iniciar con la etapa de diseño conceptual es fundamental entender cada una de las actividades de recibo, almacenamiento, resurtido de estantes, picking y empaque o al menos los procesos que se desean simular de un centro de distribución. Una vez comprendido es importante realizar un análisis de las operaciones, sobre todo para entender el impacto que tienen los CEDIS [52].

Shannon R. (1977) argumenta que desarrollar un buen modelo conceptual es tan eficaz para un proyecto que puede llevar al investigador a identificar soluciones en el sistema de estudio sin la necesidad de continuar con un trabajo de simulación adicional [53].

Ward (1989) describe al modelo conceptual como una etapa fundamental en un estudio de simulación, un modelo correctamente diseñado respalda las posibilidades de éxito y la eficacia del proyecto, cumpliendo los objetivos establecidos en los tiempos de trabajo [54].

Shannon R. (1998) menciona que existen varios tipos diferentes de metodologías de simulación, él se enfoca en una simulación estocástica, discreta, orientado a los procesos de enfoque. En este enfoque, modela un sistema en particular mediante el estudio del flujo de

entidades que se mueven a través de dicho sistema. Las entidades pueden ser clientes, órdenes de trabajo, piezas especiales, paquetes de información, etc. Una entidad puede ser cualquier objeto que entra en el sistema, se mueve a través de una serie de procesos y luego sale del sistema. Estas entidades pueden tener características individuales llamadas atributos.

Un atributo está asociado con la entidad específica, individual. Los atributos son las características que posee una entidad tales como el nombre, prioridad, fecha de vencimiento, enfermedad, número de cuenta, etc. Como la entidad fluye a través del sistema, serán procesados por una serie de recursos. Los recursos satisfacen las necesidades que tienen las entidades de ser procesadas. Por ejemplo, los recursos pueden ser trabajadores, equipo de manejo de materiales, herramientas especiales, una cama de hospital, el acceso a una computadora, una máquina, espacio de almacenamiento, etc. Pueden ser fijados en un lugar (por ejemplo, una báscula, cajero de banco, cama de hospital) o en movimiento sobre el sistema (por ejemplo, grúa, doctor, carretilla elevadora).

Un modelo de simulación es por lo tanto una programación por computadora que representa la lógica del sistema como entidades con atributos de llegada, se unen a las colas de espera para la asignación de recursos requeridos, son procesados por los recursos, salen del sistema y son publicados los resultados. Además de la lógica de cómo una entidad fluye a través del sistema, el programa mantiene un registro de tiempo y avances, así como un seguimiento a la utilización de los recursos, el tiempo transcurrido en las colas, tiempo en el sistema (tiempo de tratamiento) y otras estadísticas deseadas [55].

Robinson S. (2004) define que el modelo conceptual no es una descripción del software que se utilizará para desarrollar la simulación. Es una descripción específica de los objetivos, de las entradas, salidas, contenidos, supuestos y simplificaciones del modelo. Separando el modelo conceptual del software de simulación. El propósito del modelo conceptual es establecer la base sobre la simulación para el modelo por computadora que se va a desarrollar, es en efecto una especificación funcional para el software. Una característica clave del modelado conceptual es la definición de sus componentes, que son los siguientes [56]:

- Objetivos: propósito del modelo.

- Entradas: son los elementos del modelo que pueden ser alterados para conseguir una mejora en, o una mejor comprensión de la realidad.
- Salidas: reporte de los resultados de ciclos de simulación.
- Contenido: los componentes que se representan en el modelo y sus interconexiones y creencias sobre el mundo real en el modelo.
- Supuestos: son formas de incorporación de incertidumbres y creencias sobre el mundo real en el modelo.
- Simplificaciones: son formas de reducir la complejidad del modelo.

Entradas y Salidas del sistema

Pidd (1999) presenta un enfoque eficaz para diseñar la simulación, se refiere a comenzar con un modelo lo más sencillo posible y poco a poco añadir todos sus alcances y nivel de detalle. Es recomendable construir tablas de los datos de entrada e indicadores que serán analizados y utilizados en el estudio de simulación para definir comportamientos de las entidades, atributos, recursos, variables globales y demás componentes de simulación que faciliten tomar decisiones sobre el alcance del modelo. Estas ayudas deben mostrar en una forma de cómo el modelo base (la lista completa de los detalles) se convierte en un modelo globalizado, resumiendo lo que se va a incluir en el modelo y cómo se va a representar.

La importancia de recolectar datos radica en que a través de tales elementos se podrán analizar problemas en la empresa, apoyando a su interpretación y posteriormente a la toma de decisiones basados en los criterios estudiados. Los datos a investigar se basan en la identificación de información en registros históricos, en la toma de tiempos con cronómetro de los procesos, entre otros [57].

Robinson S. (2004) menciona que la declaración de las entradas y salidas en el sistema son los medios por los que se propone que los objetivos han de ser alcanzados.

2.4.3. Colección y Tratamiento de los Datos

Se deben de tomar muestras de los datos y se determina un tamaño de muestra necesario para no sobrepasar el error permitido. Se realizan pruebas de independencia de los datos (diagramas de dispersión, auto correlación, proporción de llegadas) para los datos de llegada y procesos.

Los datos son fundamentales para el desarrollo y el uso de modelos de simulación. Puede requerir mucho esfuerzo la etapa de diseño del modelo conceptual y la codificación del modelo de computadora. Sin embargo, si los datos que se utilizan para diseñar y llenar el modelo son inexactos entonces los resultados del modelo también serán inexactos. Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener la información. Algunos ejemplos de técnicas son: la observación directa, el análisis documental, etc.

Los instrumentos son los medios que se emplean para recoger y almacenar la información. Ejemplo: fichas, formatos, cronometraje, cuestionarios, guías, etc. Las técnicas de procesamiento y análisis de datos se refiere a las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan como: clasificación, registro, tabulación, etc.

En lo referente al análisis, se definen las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis, síntesis), o estadísticas (descriptivas o inferenciales), que serán empleadas para descifrar lo que revelan los datos que sean recaudados.

Michael Pidd (2003) menciona que todos los modelos de simulación son simplificaciones de la realidad de un sistema y la cuestión conceptual de modelado es un resumen apropiado de la simplificación de la realidad.

Por lo general en simulación, la frase información cuantitativa se entiende como los datos de entrada o información numérica. Ciertamente los datos numéricos son muy importantes en el modelo de simulación y en algunos casos grandes cantidades de datos son requeridos. Se necesitan datos sobre los ciclos y procesos de servicio, las frecuencias de los tiempos, patrones de llegadas y así sucesivamente. La concentración en los datos cuantitativos, sin embargo, ignora la importancia de los datos cualitativos. En términos generales, estos no son hechos numéricos, podrían considerarse como los hechos de un sistema que se expresan en imágenes o palabras. Un modelista a menudo tiene que analizar datos para proporcionar información útil para la simulación [58].

En simulación como cualquier ejercicio de modelado, los requisitos de datos se pueden dividir en tres tipos. La primera información preliminar o contextual. Para que el modelador y los clientes desarrollen un conocimiento profundo de la situación del problema, algunos datos se

encontrarán disponibles, por ejemplo, un diagrama de diseño, datos básicos sobre la capacidad del proceso y las creencias sobre la causa de los problemas que están siendo experimentados. En esta etapa una gran colección de datos debe ser evitado si es posible, ya que los datos solo son necesarios para el desarrollo del conocimiento y generalmente no son necesarios para un análisis detallado. Estos datos en mayor parte caen dentro del modelo conceptual, ya que son necesarios para este propósito.

Los segundos datos requeridos son datos para la realización del modelo. Al pasar del modelo conceptual a un modelo informático se requieren muchos datos, por ejemplo, datos detallados sobre los tiempos del ciclo y las averías, patrones de llegada de los clientes, y descripciones de los tipos de clientes, normas de programación y procesamiento. Puede ser necesario llevar a cabo un ejercicio de recopilación detallado para obtener dicha información. Estos datos son directamente identificados a partir del modelo conceptual, ya que en estos se describen todos los componentes del modelo y el detalle asociado con ellos. Finalmente, son necesarios para la validación del modelo. Es importante asegurarse que cada parte del modelo, representa el sistema real con suficiente precisión. Suponiendo que el sistema del mundo real existe, entonces la manera obvia de hacer esto es comparar los resultados del modelo en contra de los datos del sistema real.

Una vez identificadas las necesidades de datos, estos deben obtenerse. Algunos de los datos están disponibles de inmediato, otros necesitan ser recolectados directamente del sistema. Al modelar un sistema extenso y complejo esta tarea llevara un largo periodo de tiempo.

Investigación de campo y muestreo del trabajo

La colección es importante para asegurar que los datos son tan exactos como sea posible. El muestreo del trabajo es una técnica usada para investigar las proporciones del tiempo total dedicadas a las diversas actividades que constituyen una tarea o una situación de trabajo. Los resultados del muestreo del trabajo son efectivos para determinar: la utilización de máquinas y personal; los suplementos aplicables a la tarea, y los estándares de producción. Antes de tomar las observaciones reales del estudio de muestreo del trabajo debe realizarse una planeación detallada.

Benjamin Nibbel (2009) menciona, los planes inician con una estimación preliminar de las actividades para las que se busca información. Esta estimación puede incluir una o más actividades y a menudo se hace a partir de datos históricos. La información que no se encuentre en datos históricos se deberá muestrear de las áreas de trabajo, el muestreo puede tomar mucho tiempo dependiendo de las dimensiones de los procesos. El análisis debe diseñar una forma de observación para registrar los datos recolectados durante el estudio. La mejor forma se hace a la medida de los objetos del estudio [59].

Jerry Banks (1998) menciona que la recolección de datos es una de las etapas más laboriosas en la construcción de un modelo de simulación estocástico [60].

La fase de colección y tratamiento de los datos de entrada consiste en identificar, recoger y analizar la información necesaria para desarrollar el estudio de simulación. Identificar se refiere a reconocer la información que se obtendrá de registros históricos y cuáles son los datos faltantes en registros. Recolectar consiste en hacer un muestreo de diferentes procesos directamente del sistema real. Por último el análisis refleja estadísticamente el comportamiento de la información recolectada. Esta fase incluye:

- Determinar el tamaño de muestra de los datos a coleccionar.
- Realizar las pruebas de independencia y estabilidad.
- Ajustar los datos a distribuciones de probabilidad.
- Validar los ajustes de los datos a las distribuciones de probabilidad.

Una vez concluida la fase de recolección de datos para los diferentes procesos y subsistemas, se continúa con el análisis o tratamiento de los datos de entrada.

Análisis de Datos de Entrada

Se inicia comprobando que los datos son independientes e idénticamente distribuidos (IID), por medio de diagramas de dispersión, auto correlación y en los casos donde se presenten llegadas (ej. Proceso de llegadas de cajas al CEDIS) se procede con la construcción de gráficos de proporción de llegadas.

2.4.4. Construcción del Modelo de Simulación

Se refiere a programar en computadora el modelo de simulación, desarrollar la animación del modelo. Determinar el número y duración de las corridas. Esta etapa inicia con la descripción del modelo construido en el software de simulación.

Elementos de un modelo de simulación

La descripción de los elementos, características, alcances, limitaciones, que se documentarán serán representados en el modelo de simulación por computadora del centro de distribución de parabrisas, se hacen siguiendo la metodología propuesta por el autor *David Kelton* (2008), estos son [61]:

- Entidades: la entidad es la materia prima de un producto o servicio que va a ser procesada en una locación. Las entidades se pueden transformar durante la simulación. Por ejemplo, en un centro de distribución, la entidad principal es una caja, pero las cajas se pueden agrupar en bultos, lotes o paquetes, que son otra entidad. Cada entidad tiene sus propiedades.
- Locaciones: las locaciones representan el lugar donde la entidad realizará un proceso o algún otro tipo de actividad.
- Atributos: el atributo es un tipo de variable del sistema que solo guarda información en memoria de una locación o entidad particular. Con los atributos se pueden diferenciar entidades. El atributo es una condición inicial, una marca, que se puede dar a una entidad o a una locación y después no se puede modificar.
- Arribos: todo sistema tiene un punto de partida a donde llega material, información o personas para que el proceso pueda empezar a desarrollarse.
- Variables globales: las variables globales se refieren a la información que refleja alguna característica del sistema en conjunto.
- Recursos: un recurso puede ser una persona, un equipo o un vehículo que puede desempeñar o realizar diferentes operaciones a las entidades, como transporte de un nodo a otro y operaciones puntuales a la entidad. Para utilizar los recursos, se debe definir previamente una red.

- Colas: las filas o colas, se refieren a que una entidad se detiene, las posibles causas son la necesidad de recursos, los recursos no están disponibles por fallas, recursos ocupados, en estos casos se generan colas, son lugares de espera para las entidades.
- Eventos: los eventos, son situaciones que suceden en un instante de tiempo (simulado) que puede cambiar atributos, variables o acumuladores estadísticos.

Animación del modelo de simulación

La animación en simulación tiene por objetivo proporcionar una visión gráfica del modelo desarrollado, bajo condiciones dinámicas, dicho de otra manera, es una representación visual del sistema dentro del software de simulación, tiene por finalidad analizar el comportamiento lógico del modelo desde el punto de vista de la animación, son a menudo útiles para realizar las etapas de verificación. Es muy utilizada en la construcción de muchos proyectos ya que proporciona a través de indicadores en la pantalla la ejecución de procesos y operaciones. Para desarrollar la animación del primer modelo del centro de distribución de parabrisas, la empresa proporcionó al investigador un plano de sus instalaciones.

La animación podría ser también llamada como la etapa que concluye a la investigación de campo o para el caso del estudio de recolección de datos de entrada. Si bien, los datos de entrada son utilizados para programar el modelo lógico de simulación, siendo además útiles para la construcción de la animación ya que buena parte de esos datos son requeridos. Desde un punto de vista, la animación que se plasma en un proyecto puede entenderse como el grado de conocimiento que posee el modelador sobre el sistema analizado.

Análisis de los resultados de salida del modelo de simulación

Harrell, Ghosh y Bowden (2004) proponen los siguientes pasos para analizar los resultados de salida del modelo de simulación y con ello obtener el número de réplicas necesarias [62].

- I. Establecer datos (número inicial de réplicas “n”, nivel de significancia α , porcentaje de error %e).
- II. Correr el sistema con “n” réplicas
- III. Obtener la media y la desviación estándar del tiempo de ciclo de cada proceso que se está analizando del CEDIS.

- IV. Calcular el número de réplicas necesarias para cada proceso con la fórmula que se muestra a continuación.

$$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2 \quad 2.1$$

- V. Obtener el intervalo de confianza para cada uno de los procesos del CEDIS.

$$E = t_{n-1} \frac{\alpha}{2} * \frac{S}{\sqrt{n}} \quad 2.2$$

$$IC = \bar{X} \pm E \quad 2.3$$

2.4.5. Verificación del Modelo de Simulación

Consiste en que el modelo se ejecute correctamente según las especificaciones del modelo conceptual. En éste paso se hacen corridas piloto para verificar y determinar si un modelo de simulación trabaja como se espera.

Existen cinco técnicas de verificación que se mencionan a continuación:

- Escribir y correr el programa de simulación en módulos o subprogramas. Siempre es mejor empezar con un modelo simple, el cual se va haciendo gradualmente tan complejo como sea necesario, que desarrollar inmediatamente un modelo complejo que sea muy difícil analizarlo.
- Hacer que más de una persona lea el programa de simulación partiendo del hecho que la persona que escribe un subprograma particular, tiene su propia estructura mental que hace que no sea el mejor evaluador del programa.
- Seguir la pista del proceso de simulación (trace). El estado del sistema, el contenido de la lista de eventos, las variables de estado, ciertos contadores estadísticos, etc., son impresos justo después de que cada evento ocurre, con el fin de ver si el programa está operando de acuerdo a como se estructuró.
- Con el fin de determinar si el modelo de simulación está operando de acuerdo como se diseñó, el modelo debe ser corrido bajo suposiciones reales simples o que puedan ser fácilmente computadas.

- Con algunos tipos de modelos de simulación, puede ser útil mostrar la salida de la simulación en forma gráfica, conforme la simulación va progresando.

2.4.6. Validación del Modelo de Simulación

Consiste en comprobar estadísticamente que el modelo de simulación se comporta como el sistema real. Se entiende que un modelo de simulación es una representación abstracta de un sistema real, específicamente para este caso se refiere al sistema del centro de distribución de parabrisas.

En la sección de validación se concluye en base a una comparación de los resultados obtenidos del modelo contra los indicadores de procesos reales del centro de distribución de parabrisas, si la simulación es aceptada o rechazada. Es decir, se realiza una prueba de hipótesis para diferencia de medias y se determina si el modelo se comporta lo más parecido a la realidad.

2.4.7. Análisis o Diseño Experimental

Consiste en experimentar en el modelo con el objetivo de efectuar inferencias que permitan tomar decisiones con mayor seguridad.

Se mencionó que las técnicas de simulación y modelado son una alternativa eficiente para desarrollar, evaluar y medir el impacto de nuevos proyectos de mejora o para optimizar los ya existentes. Una de las principales fortalezas de la simulación es la posibilidad de experimentar con distintas configuraciones en diversidad de procesos industriales, hasta el punto de obtener los resultados que satisfacen o mejor se adaptan a nuestras necesidades, en la actualidad la simulación se ha convertido en una importante herramienta, ya que es utilizada antes que el desarrollo de un proyecto se lleve a cabo.

En este punto emerge la simulación de procesos siendo una herramienta capaz de desarrollar y evaluar dichos proyectos sin que las inversiones se vean comprometidas, por lo tanto la simulación puede llegar a ser el impulsor para el desarrollo de grandes proyectos, por estas razones es importante su investigación.

Para pensar en las alternativas de solución se deben de hacer experimentos en el modelo original para analizar el desempeño. Para esto tenemos tres formas de realizarlas y que se enumeran según el costo que genera.

- a) Trabajar con lo que se tiene.
- b) Cambiar equipo.
- c) Agregar instalaciones.

Sebastián Obando (2013) menciona que en general el diseño de la distribución en los CEDIS son guiados a partir del uso de patrones de flujo de materiales para minimizar los movimientos, como en forma de U, T o en línea recta [63].

2.4.8. Documentación e Implementación

Se refiere a plasmar en documento todo el proceso de simulación y modelado para finalmente implementar los resultados obtenidos en el sistema real.

2.5. Áreas de conocimiento aplicadas en el desarrollo de la simulación discreta

2.5.1. Estudio de Tiempos con Cronómetro

Alfredo Caso (2006). El estudio de tiempos es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea determinada con arreglo a una norma de rendimiento preestablecido [64].

Un estudio de tiempos se realiza cuando:

- Se quiere analizar información sobre el rendimiento y el tiempo de ejecución de alguna actividad.
- Se va a implementar una nueva operación.
- Se encuentran demoras causadas por una operación lenta, que ocasiona retrasos en las demás operaciones.
- Se pretenden fijar los tiempos estándar de un sistema de incentivos.
- Se encuentran bajos rendimientos o excesivos tiempos muertos de alguna máquina.

Los pasos para realizar un estudio de tiempos son los siguientes:

- I. Preparación
 - Se selecciona la operación.
 - Se selecciona al operador.
- II. Ejecución
 - Se obtiene y registra la información.
 - Se descompone la tarea en elementos.
 - Se cronometra.
 - Se calcula el tiempo observado.
- III. Valoración
 - Se valora el ritmo normal del trabajador promedio.
 - Se aplican las técnicas de valoración.
 - Se calcula el tiempo base o el tiempo normal para la operación.
- IV. Suplementos
 - Análisis de demoras.
 - Cálculos de suplementos y sus tolerancias.
- V. Tiempo estándar
 - Determinación de tiempos de interferencia.
 - Cálculo de tiempo estándar.

2.5.2. Cálculo del Tamaño de la Muestra y Error

Para determinar el número de observaciones para datos de entrada seguimos los siguientes pasos:

- I. Definir % de error permitido (%EP) o margen de error con el que se trabajará en el estudio. Un valor entre 2 y 15% son usualmente utilizados.
- II. Obtener una muestra inicial de 30 observaciones $n = 30$ para todos los procesos que serán analizados. La extensión de n depende de la variación presente en los procesos.
- III. Calcular el error de la muestra (también llamado intervalo de confianza). Los valores del grado de confianza que suelen usarse son el 90% (con $\alpha = 0.10$), el 95 % (con $\alpha = 0.05$) y 99% ($\alpha = 0.01$). Utilizando la siguiente ecuación se realiza el cálculo:

$$E = t_{n-1} \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad 2.4$$

Dónde:

- E = Es el error de la muestra.
- S = Es la desviación estándar de la muestra.
- t = Es el valor de tablas t-student.
- n = Es el tamaño de la muestra.
- α = Es el nivel de significancia entre 5%.

IV. Calcular el error de la muestra (también llamado intervalo de confianza) utilizando la siguiente ecuación:

$$\%E = \frac{E}{\bar{X}} \cdot 100 \quad 2.5$$

Dónde:

- \bar{X} = media de la muestra.

V. En los casos en que el % de error excede el % de error permitido, (si: $\%E > \%EP$) se calcula el error permitido con respecto a la media.

$$EP = \frac{\%EP \cdot \bar{X}}{100} \quad 2.6$$

VI. Se utilizará la siguiente ecuación para calcular el tamaño de muestra requerido.

$$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2 \quad 2.7$$

David Kelton (2008) Obteniendo el tamaño de muestra requerido se concluye con la colección de datos.

VII. Determinar el intervalo de confianza de la muestra con la siguiente ecuación.

$$IC = \bar{X} \pm E \quad 2.8$$

Dónde:

- IC = Intervalo de confianza.

2.5.3. Técnicas para Evaluar la Independencia de los Valores de una Muestra

Autores como *Guasch* (2005) y *Banks* (1998) describen la aplicación de estas técnicas en simulación y su utilidad para demostrar que los datos son independientes e idénticamente distribuidos (IID).

La hipótesis de que una muestra de datos es IID implica:

- Todos los valores aleatorios de la muestra son independientes entre sí. Es decir, el conjunto de valores no está correlacionado. Existen dos técnicas para evaluar la independencia de los valores: las gráficas de auto correlación y los diagramas de dispersión.
- Todos los valores aleatorios de la muestra siguen la misma distribución de probabilidad y, por tanto, están idénticamente distribuidos. En procesos no estacionarios, los parámetros de la distribución de probabilidad son función del tiempo y por lo tanto, los valores de la muestra no están idénticamente distribuidos. Un método empleado para el proceso de llegadas es representar en una gráfica la proporción de llegadas hasta el instante T en función de T.

Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión de las observaciones X_1, X_2, \dots, X_n es una gráfica de los pares (X_i, X_{i+1}) para $i=1, 2, \dots, n-1$. Si los valores X_i son independientes, los puntos (X_i, X_{i+1}) estarán distribuidos aleatoriamente en el plano. No obstante, la naturaleza de la distribución en el plano depende fundamentalmente de la distribución de probabilidad de los valores X_i . Si los valores X_i están correlacionados positivamente, los puntos de la gráfica tendrán a formar una línea dependiente positiva en el primer cuadrante si los valores X_i son positivos. Se recomienda un mínimo de 50 pares para sacar conclusiones.

Gráfica de auto correlación

La independencia se determina calculando los valores de auto correlación para diferentes valores de retardo. La auto correlación de retardo k es la correlación entre muestras separadas por k valores. Por ejemplo la auto correlación de retardo 1 se aplica a todos los pares de valores x_i consecutivos $(x_1, x_2), (x_2, x_3), (x_3, x_4), \dots$, sucesivamente. Para una muestra de

tamaño n , la auto correlación de retardo k se calcula empleando $n - k$ pares de muestras. Por tanto es necesario que n sea mayor que k .

Las correlaciones determinadas con muestras pequeñas son un poco fiables debido a la variabilidad inherente a la propia estimación. Los valores obtenidos para retardos entre $k = 1$ y $k = 10$ son los que aportan mayor información sobre la independencia de la muestra, mientras que retardos superiores a $k = 20$ no aportan ninguna información. Para muestras independientes se espera que los valores obtenidos estén centrados en el 0 y sean de pequeña magnitud. Para muestras dependientes, y por tanto no aleatorias, los valores de auto correlación serán significativamente diferentes de 0 (los valores de auto correlación límite son -1 y 1).

La gráfica de auto correlación está formada por:

Un eje vertical: el coeficiente de auto correlación.

$$R_k = \frac{C_k}{S^2(n)} \quad 2.9$$

Dónde: C_k es la función de auto covarianza.

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X}_{(n)})(X_{i+k} - \bar{X}_{(n)})}{n - k} \quad 2.10$$

Dónde: $S^2(n)$ es la varianza de la muestra.

Eje horizontal: retardo temporal k ($k = 1, 2, 3, \dots, n$)

Técnicas para evaluar la estabilidad de la distribución

Muchas distribuciones de probabilidad relacionadas con actividades humanas no son estables en el tiempo, incluso en cortos intervalos de tiempo. No obstante, esta falta de estabilidad puede no ser relevante en el contexto del estudio.

Detectar inestabilidades en las distribuciones probabilísticas puede ser complicado. Para procesos de llegada una opción recomendada es representar en una gráfica la proporción de llegadas hasta el tiempo T en función del tiempo T . Si la frecuencia de la llegada es

relativamente constante a lo largo del tiempo considerado, la gráfica será aproximadamente lineal *Guasch* (2005).

Ajuste de Datos a Distribuciones de Probabilidad

Las distribuciones de probabilidad caen dentro de dos tipos: teóricas y empíricas. Las distribuciones teóricas como la exponencial, triangular, weibull y gamma, generan muestras con base en la formulación matemática. Las distribuciones empíricas simplemente dividen los datos reales en grupos y calculan la proporción de valores en cada grupo, posiblemente interpolando entre puntos para conseguir mayor precisión.

Cada tipo de distribución se subdivide en continua y discreta. Las distribuciones teóricas continuas que ProModel® usa en su modelo exponencial, triangular, lognormal, uniforme. Se les llaman distribuciones continuas porque pueden regresar cualquier cantidad de valor real. Por lo general se usan para representar duraciones de tiempo en un modelo de simulación.

La distribución Poisson es discreta; solo puede regresar cantidad de valores enteros. A menudo se usa para describir el número de eventos que ocurren en un intervalo de tiempo o la distribución de variar aleatoriamente el tamaño de los lotes.

También se pueden usar una o dos distribuciones empíricas: las distribuciones de probabilidad discreta y continua. Cada una se define al usar una serie de pares probabilidad / valor que representan un histograma de los valores dados de ellos mismos, al usar las probabilidades de escoger de entre los valores individuales. Se usa comúnmente para tipos de entidad probabilísticamente asignados. La distribución empírica continua usa las probabilidades y valores para regresar una cantidad realmente evaluada. Se puede usar en el lugar de una distribución teórica en casos donde los datos tengan características inusuales o donde ninguna de las distribuciones teóricas proporcione un buen ajuste.

El analizador de datos de entrada proporciona tres medidas numéricas de la calidad de ajuste de una distribución a los datos para ayudarle a decidir:

- Error cuadrático medio. Es el promedio de los términos de error cuadrático para cada clase del histograma, que son los cuadrados de las diferencias entre las frecuencias observadas y las frecuencias de la función de la distribución de probabilidad ajustada.

- A mayor valor de error cuadrático más lejana esta la distribución ajustada a los datos verdaderos (y por lo tanto se tiene un peor ajuste).
- Prueba de hipótesis de bondad de ajuste Chi cuadrada.
- Prueba de hipótesis de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Las pruebas de hipótesis de bondad de ajuste y Kolmogorov-Smirnov son pruebas estándar de hipótesis estadísticas que se pueden usar para evaluar si una distribución teórica ajustada es un buen ajuste de los datos. El analizador de entrada reporta información acerca de las pruebas con interés particular en el valor p.

El valor p es la probabilidad de obtener un conjunto de datos que es más inconsistente con la distribución ajustada que el conjunto de datos que de hecho tiene, si la distribución de ajuste es en realidad “verdadera”.

Jerry Banks (2001) menciona que para aplicar un nivel de bondad de ajuste importante es necesario elegir una prueba de ajuste. Recordemos que el nivel de significación es la probabilidad falsa de rechazar H_0 (hipótesis nula): la variable aleatoria se ajusta a la hipótesis de distribución. Los niveles del valor p (p-value) importantes tradicionalmente usados en simulación son de 0.1, 0.05 y 0.01.

Valores de p más grandes indican mejores ajustes. Los valores de $p < 0.05$ indican que no hay un muy buen ajuste de la distribución. Como cualquier prueba de hipótesis estadística, un valor de p alto no constituye una prueba de un buen ajuste, solo una falta de evidencia contra el ajuste.

La primera decisión crítica es si usar una distribución teórica o empírica. Si los valores de p de las pruebas K-S y Chi cuadrada para una o más distribuciones son bastante altos (por ejemplo > 0.10), entonces se puede usar una distribución teórica y tener un buen grado de confianza de que se está obteniendo una buena representación de los datos (a menos que la muestra sea muy pequeña, en cuyo caso el poder de discriminación de las pruebas de bondad de ajuste es muy débil). Si los valores de p son bajos, se puede usar una distribución empírica para representar mejor los datos *David Kelton* (2008).

2.5.4. Proceso para Realizar una Prueba de Hipótesis de Diferencia de Medias

Badii y Guillen (2010) describen los pasos para desarrollar una prueba de hipótesis de diferencia de medias [65]:

- I. Establecer el parámetro a analizar.
- II. Plantear la hipótesis nula y la alternativa para cada uno de los procesos a analizar.
- III. Establecer el nivel de significancia: Es el riesgo máximo que el experimentador está dispuesto a correr por rechazar H_0 indebidamente (error tipo 1).
- IV. Calcular el valor estadístico de prueba con la fórmula que se muestra.

$$Z = \frac{(\mu_1 - \mu_2) - d_0}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right) + \left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)}} \quad 2.11$$

- V. Determinar la región crítica, para lo cual se buscan los valores críticos en la tabla de distribución normal y posteriormente se elabora la gráfica y se ubica el valor estadístico encontrado.

2.5.5. Patrones de Flujo de Materiales

Se describen los patrones de flujo de materiales que propone *Sebastián Obando* (2013)

Distribución para flujo en forma de “U”

El producto ingresa por uno de los lados del almacén, se almacena, después pasa al área de preparación de pedidos (picking) y sale por una puerta ubicada al costado de la puerta de acceso (ver figura 2.5).

Ventajas: facilita el cross-docking, mejor uso del espacio de los muelles (la recepción y la expedición pueden compartir las puertas de los muelles). *Cakmak E.* (2012) menciona que se han diseñado modelos matemáticos, para optimizar las trayectorias entre los puntos de entrada y salida y el punto de preparación de pedidos, para este tipo de flujo de materiales puesto que el hecho de que los muelles estén juntos implica una gran flexibilidad en la carga y descarga de los vehículos así se permite que el personal trabaje de una manera más apropiada y no tengan que realizar un recorrido demasiado extenso que implica aumento de los tiempos en el proceso de distribución y almacenamiento y por ende, aumento en los costos [66].

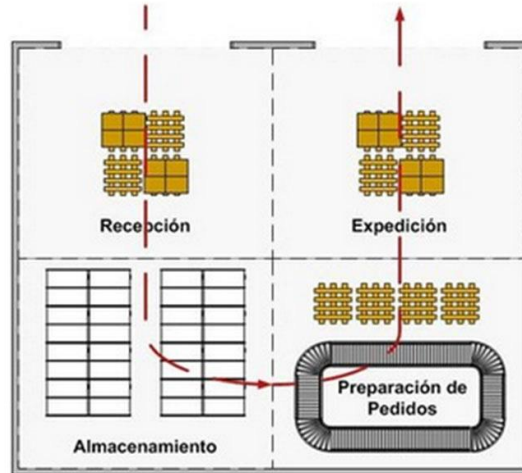


Figura 2.5. Distribución para flujo en U.

Distribución para un flujo en forma de “T”

Este tipo de diseño es una modificación realizada al diseño en “U”, lo que lo diferencia principalmente es que los muelles están debidamente separados y esto permite utilizarlos independientemente (ver figura 2.6).

Ventajas: aplicable para instalaciones con vías laterales de acceso y bodegas cuyo alto sea mayor que su ancho.

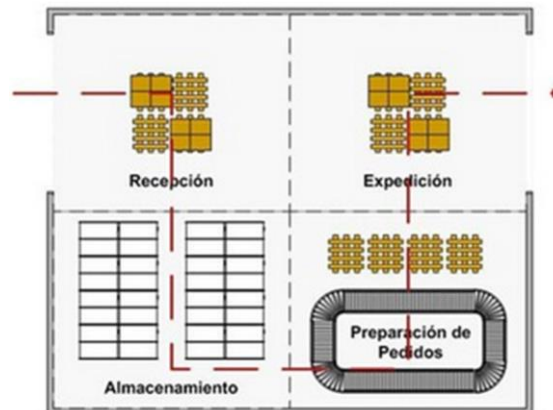


Figura 2.6. Distribución para flujo en T.

Distribución para un flujo en forma de línea recta

La mercancía sigue una ruta sin regresar a la parte frontal del almacén., teniendo como resultado una menor flexibilidad, dada la falta de acceso inmediato a los puntos de entrada y salida de mercancías (ver figura 2.7).

Ventajas: este tipo de distribución se usa cuando las dimensiones física de los ítems son pequeñas y uniformes (computadores, tabletas) y existe un acceso en concordancia con la vía de transporte.

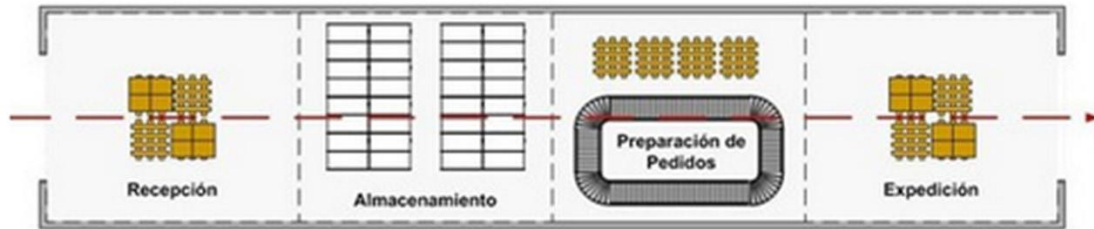


Figura 2.7. Distribución para flujo en línea recta.

Para las alternativas propuestas en esta investigación sólo se usarán los patrones en forma de línea recta, y una combinación entre el patrón U y T en donde los muelles estarán separados pero no en los laterales del CEDIS puesto que hay otras construcciones y no sería posible.

También las propuestas serán referentes a trabajar con lo que se tiene, buscando modificar el proceso o cambiando las áreas de lugar y agregar instalaciones, ya sea contratando más personal o haciendo modificaciones físicas a las instalaciones. El cambiar equipo no está considerado por la empresa.

Con las alternativas propuestas se espera que la disposición de distribución sea tan uniforme que demuestre orden, flexibilidad, cuidado y seguridad en la conservación de la mercancía.

2.5.6. Programación Lineal (PL)

Marcos Moya (2003). La programación lineal es una de las técnicas de investigación de operaciones (IO) más usada en la resolución de problemas de toma de decisiones. Su nombre se deriva del hecho de que, tanto la ecuación matemática que representa el objetivo, como las funciones que representan las restricciones del sistema, son de primer grado, es decir, funciones lineales [67].

Elementos fundamentales de un modelo de PL

- Un conjunto de variables no negativas que representan a las actividades que van a programarse.

- Una función objetivo, que es una ecuación de primer grado, que representa la meta que se desea alcanzar.
- Un conjunto de funciones lineales que representan las restricciones del sistema.

Procedimiento para formular un modelo de PL

- I. Identificar las variables (a las que se llamará variables de decisión o estructurales) que representarán a las actividades que deben ser programadas. Normalmente se usa una X para representarlas.
- II. Identificar el objetivo y representarlo como una ecuación lineal de las variables de decisión. Esta función objetivo puede ser de maximización o minimización.
- III. Identificar todas las restricciones y expresarlas como funciones lineales de las variables involucradas.

Forma estándar del modelo de programación lineal

Maximizar:
$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad 2.12$$

Sujeta a las restricciones:

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n &\leq b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n &\leq b_2 \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n &\leq b_m \\ X_1 \geq 0, X_2 \geq 0 \end{aligned}$$

Dónde:

- Z = Valor de la medida global de efectividad
- xj = Nivel de la actividad j (para j=1,2,...n)
- cj = Incremento en Z que se obtiene al aumentar una unidad en el nivel de la actividad j.
- bi = Cantidad de recurso i disponible para asignar a las actividades (para i=1, 2,..., m)
- aij = Cantidad del recurso i consumido por cada unidad de la actividad j.

2.5.7. Diseño de Experimentos (DOE)

Menphis R. y José T. (2009) dicen que mediante la utilización de las herramientas estadísticas existentes se puede valorar de forma significativa el funcionamiento de los datos experimentales obtenidos, consiguiendo de esta manera la consistencia de las experimentaciones y la fundamentación de los postulados comprobados [68].

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso. Consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación.

El diseño de experimentos (DOE) es una técnica que consiste en realizar una serie de experimentos en los que se inducen cambios deliberados en las variables de un proceso, de manera que es posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

El DOE es un conjunto de técnicas activas, en el sentido de que no esperan que el proceso mande las señales útiles, sino que éste se “manipula” para que proporcione la información que se requiere para su mejoría.

La estadística es una herramienta fundamental e indispensable para garantizar todas las investigaciones experimentales.

Gutiérrez y Salazar (2008). En general, cuando se quiere mejorar un proceso existen dos maneras básicas de obtener la información necesaria para ello: una es observar o monitorear vía herramientas estadísticas, hasta obtener señales útiles que permitan mejorarlo; se dice que ésta es una estrategia pasiva.

La otra manera consiste en experimentar, es decir, hacer cambios estratégicos y deliberados al proceso para provocar dichas señales útiles. Al analizar los resultados del experimento se obtienen las pautas a seguir, que muchas veces se concretan en mejoras sustanciales del

proceso. En este sentido, experimentar es mejor que sentarse a esperar a que el proceso nos indique por sí solo cómo mejorarlo [69].

Problemas típicos que pueden resolverse con el diseño de experimentos

- Comparar a dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos. Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
- Determinar los factores (las X vitales) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
- Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
- Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
- Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
- Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.
- Ayudar a conocer y caracterizar nuevos materiales.

Procedimiento para realizar un diseño de experimento.

Laura Ilzarbe (2007). Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor situaciones complejas de relación causa-efecto [70].

El procedimiento para la realización de un diseño de experimento es el que se muestra en la figura 2.8.

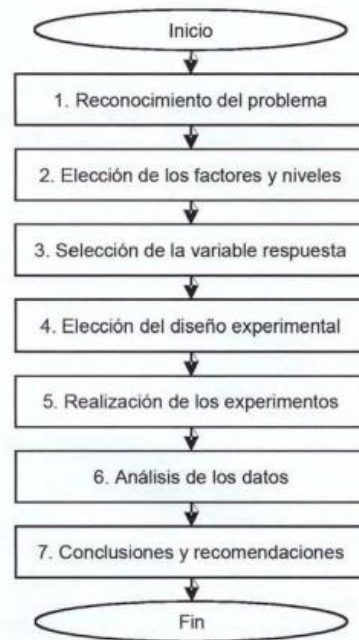


Figura 2.8. Procedimiento para realizar un DOE.

Experimentos de un solo factor, diseño completamente al azar

Gutiérrez y Salazar (2008) mencionan que por lo general, el interés del experimentador está centrado en comparar los tratamientos en cuanto a sus medias poblacionales, sin olvidar que también es importante compararlos con respecto a sus varianzas. Así, desde el punto de vista estadístico, la hipótesis fundamental a probar cuando se comparan varios tratamientos es:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$
- $H_i: \mu_i \neq \mu_j$ para al menos, $i \neq j$

Con la cual se quiere decir si los tratamientos son iguales estadísticamente en cuanto a sus medias, frente a la alternativa de que al menos dos de ellas son diferentes. La estrategia natural para resolver este problema es obtener una muestra representativa de mediciones en cada uno de los tratamientos, y construir un estadístico de prueba para decidir el resultado de dicha comparación.

Comparaciones como la antes mencionada, se hace con base en el diseño completamente al azar (DCA), que es el más simple de todos los diseños que se utilizan para comparar dos o

más tratamientos, dado que solo consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio.

Este diseño se llama completamente al azar porque todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo. De esta manera, si durante el estudio se hacen en total N pruebas, éstas se corren al azar, de manera que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos.

El análisis de varianza (ANOVA) para el diseño completamente al azar (DCA) es la técnica central en el análisis de datos experimentales. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con las que contribuye cada fuente de variación en el experimento. En el caso del DCA se separan la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina claramente sobre la segunda, es cuando se concluye que los tratamientos tienen efecto, o dicho de otra manera, las medias son diferentes. Cuando los tratamientos no dominan contribuyen igual o menos que el error, por lo que se concluye que las medias son iguales.

En la tabla 2.2 se muestra la notación de puntos, sirve para representar de manera abreviada cantidades numéricas que se pueden calcular a partir de los datos experimentales. Supóngase que se tienen k tratamientos de un solo factor que deseamos comparar. La respuesta observada para cada uno de los k tratamientos es una variable aleatoria (Y_{ij}) y en la tabla 2.3 se muestra el ANOVA.

Tabla 2.2. Notación de puntos.

TRATAMIENTO	OBSERVACIONES	TOTALES	PROMEDIOS
	Y_{ij}	$Y_{i.}$	$\hat{y}_{i.}$
1	$Y_{11}Y_{12} \dots Y_{1n}$	$Y_{1.}$	$\hat{Y}_{1.}$
2	$Y_{21}Y_{22} \dots Y_{2n}$	$Y_{2.}$	$\hat{Y}_{2.}$
...
K	$Y_{k1}Y_{k2} \dots Y_{kn}$	$Y_{K.}$	$\hat{Y}_{K.}$
Total		$Y_{..}$	$\hat{Y}_{..}$

Dónde:

- Y_{ij} es un dato de la tabla y representa la observación j-ésima tomada bajo el tratamiento i-ésimo.
- n es el no. de observaciones (o réplicas) en cada tratamiento.
- N es el no. total de observaciones (kn).
- Y_i . Es la suma de las observaciones del tratamiento i .
- $Y_{..}$. Es la suma total de las N observaciones.
- \hat{Y}_i . Es el promedio de las observaciones del tratamiento i .
- $\hat{Y}_{..}$ Es la media o promedio global de todas las observaciones.

Tabla 2.3. Análisis de varianza.

TABLA DE ANOVA					
FV	SC	GL	CM	Fo	Fc
Tratamientos	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$k - 1$	$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{K - 1}$	$\frac{CM_{Trat}}{CM_E}$	$F_{\alpha}, GL_{Trat}, GL_E$
Error	$SC_E = SC_T - SC_{Trat}$	$N - k$	$CM_E = \frac{SC_E}{N-k}$		
Total	$SC_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$N - 1$			

Interpretación de los resultados

- Si las medias de los tratamientos están cercanas en valor, su varianza tiende a ser σ^2 , al igual que la varianza debida al error aleatorio, por lo que el estadístico de prueba estará cercano a 1.
- Si las medias de los tratamientos difieren mucho entre sí, tendremos valores de F_o grandes, concluyendo que las medias no son iguales.
- Para un nivel de significancia α predeterminado, se rechaza H_o si $F_o > F_{\alpha} (k-1), (N-k)$.
- También se rechaza H_o si el valor- $p < \alpha$, donde el valor- p es el área bajo la curva de la distribución $F_{\alpha}, (k-1), (N-k)$ a la derecha de F_o .

Cuando no se rechaza la hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_k = \mu$, el objetivo del experimento está cubierto y la conclusión es que los tratamientos son iguales. Si por el contrario se rechaza H_0 , y por consiguiente se acepta la hipótesis alternativa $H_i: \mu_i \neq \mu_j$ para algún $i \neq j$, es necesario investigar cuáles tratamientos resultaron diferentes, o cuáles provocan la diferencia. Para lo que se ha propuesto el método LSD (diferencia mínima significativa)

Una vez que se rechazó H_0 en el ANOVA, el problema es probar la igualdad de todos los posibles pares de medias con la hipótesis:

- $H_0: \mu_i = \mu_j$
- $H_i: \mu_i \neq \mu_j$

Para toda $i \neq j$. Para k tratamientos se tienen en total $k(k - 1) / 2$ pares de medias. Por ejemplo, si $k = 4$ existen $4 \times 3 / 2 = 6$ posibles pares de medias. El estadístico de prueba para cada una de las hipótesis dadas en (2.13) es la correspondiente diferencia en valor absoluto entre sus medias muestrales $|\hat{Y}_i - \hat{Y}_j|$. Se rechaza la hipótesis $H_0: \mu_i = \mu_j$ si ocurre que:

$$|\hat{Y}_i - \hat{Y}_j| > t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{CM_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} = LSD \quad 2.13$$

Donde el valor de $t_{\alpha/2, N-k}$ se lee en las tablas de la distribución T de Student con $N - k$ grados de libertad que corresponden al error, el CM_E es el cuadrado medio del error y se obtiene de la tabla de ANOVA, n_i y n_j son el número de observaciones para los tratamientos i y j , respectivamente. La cantidad LSD se llama diferencia mínima significativa (least significant difference), ya que es la diferencia mínima que debe existir entre dos medias muestrales para considerar que los tratamientos correspondientes son significativamente diferentes. Así, cada diferencia de medias muestrales en valor absoluto que sea mayor que el número LSD se declara significativa. Note que si el diseño es balanceado, es decir, si $n_1 = n_2 = \dots = n_k = n$, la diferencia mínima significativa se reduce a:

$$LSD = t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{CM_E/n} \quad 2.14$$

En caso de rechazar H_0 se acepta la hipótesis alternativa $H_1: \mu_i \neq \mu_j$, la cual nos dice que las medias de los tratamientos i y j son diferentes. El método LSD tiene una potencia importante, por lo que en ocasiones declara significativas aun pequeñas diferencias. Estos supuestos son:

- Normalidad: se grafican los residuos. Esta gráfica del tipo X - Y tiene las escalas de tal manera que si los residuos siguen una distribución normal, al graficarlos tienden a quedar alineados en una línea recta; por lo tanto, si claramente no se alinean se concluye que el supuesto de normalidad no es correcto.
- Varianza constante: una forma de verificar el supuesto de varianza constante (o que los tratamientos tienen la misma varianza) es graficando los predichos contra los residuos (\hat{Y}_{ij} vs. e_i), por lo general \hat{Y}_{ij} va en el eje horizontal y los residuos en el eje vertical. Si los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal (sin ningún patrón claro y contundente), entonces es señal de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza. Por el contrario, si se distribuyen con algún patrón claro y contundente, entonces es señal de que no se está cumpliendo el supuesto.
- Independencia: la suposición de independencia en los residuos puede verificarse si se grafica el orden en que se colectó un dato contra el residuo correspondiente. De esta manera, si al graficar en el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) y en el eje vertical los residuos, se detecta una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, esto es evidencia de que existe una correlación entre los errores y, por lo tanto, el supuesto de independencia no se cumple. Si el comportamiento de los puntos es aleatorio dentro de una banda horizontal, el supuesto se está cumpliendo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN ORIGINAL

3. Introducción

Aquí se establece la metodología y se desarrolla. Se plantea el problema, se obtiene la información requerida, se construye y valida el modelo de simulación original del caso de estudio. Para este estudio se emplea la metodología propuesta por *Antoni Guasch* (2005).

3.1. Formulación del problema del caso de estudio

La presente investigación se realiza en un centro de distribución de parabrisas que se encuentra ubicado en Mexicali, Baja California. Este es la principal sede en México, que abastece a los centros del interior del país. Aquí sólo se almacena producto ya terminado, se reciben órdenes de pedido, se recolecta el pedido (picking), se empaca, se embarca y se envía.

El proceso de recolección de órdenes o pedidos en los CEDIS de parabrisas es complejo. Debido a la fragilidad del producto se debe de tener mucho cuidado al manipularlo para lo cual se sigue rigurosamente un procedimiento, que también toma en cuenta la seguridad del operador con la finalidad de evitar accidentes. Lo antes mencionado si no se hace con eficiencia, vuelve a la operación compleja y tardada, generando cuellos de botella, obstrucción de pasillos, tráfico de montacargas, mala distribución del almacén etc. Todo esto retrasa la salida del pedido y una mala maniobra, un mal empaque o un mal acomodo en el camión puede ocasionar que el producto llegue quebrado a su destino, lo cual implica una mala calidad en el servicio y pérdida de la confianza de los clientes.

La forma en la que actualmente están acomodados los estantes dentro del centro de distribución, es de la siguiente manera:

- Open picks (P1): En estos estantes se almacenan los parabrisas más demandados por los clientes.

- Side Load (P2): En estos estantes se almacenan los parabrisas que casi no tienen movimiento, debido a la poca demanda.
- Templados (P3): En estos estantes se almacenan los parabrisas laterales de los automóviles, son los más frágiles.
- Almacén de bultos (P4): Está es un área donde se almacenan las cajas que van arribando al CEDIS. Son cajas cerradas provenientes de la fábrica y contienen un solo modelo de vidrio.

A continuación en la figura 3.1 se muestra una imagen de los diferentes tipos de estantes con los que cuenta el centro de distribución de parabrisas del caso de estudio.



Figura 3.1. Áreas del centro de distribución de parabrisas.

El producto se recolecta en cajas de madera que son reutilizables. Hay tres tamaños de cajas para elegir según las dimensiones y curvatura de los parabrisas solicitados, la forma correcta de recolectar los parabrisas dentro de la caja es colocando los más curvos hasta atrás y los menos curvos al frente, adicionalmente cada vidrio debe de ir separado por una tira de unicel y

una hoja de cartón, para conservar una ligera separación entre cada vidrio y evitar los roces durante la transportación (ver figura 3.2).

- Cajas 180 x 145 x 80 (cm): son cajas más altas, para parabrisas más altos.
- Cajas 180 x 120 x 80 (cm): son las cajas estándar y las más usadas.
- Cajas 210 x 130 x 80 (cm): son cajas más anchas, para parabrisas más anchos.

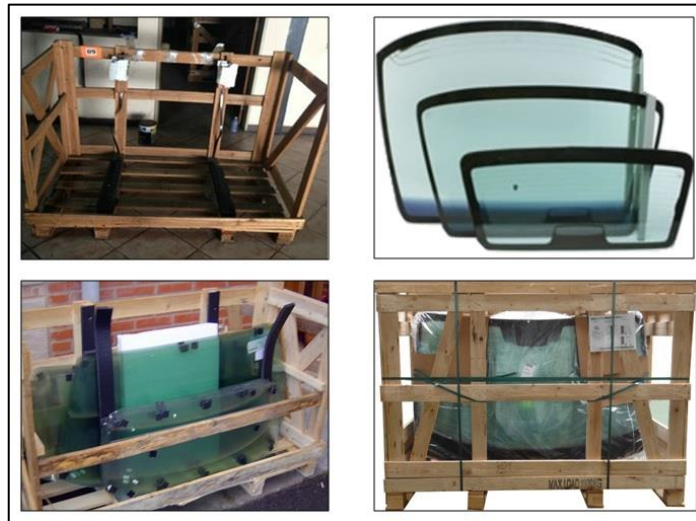


Figura 3.2. Caja de madera para recolectar producto.

En el proceso de picking, las órdenes se programan con anticipación y se envían en camiones a otros centros de distribución que se encuentran en el interior de la república algunos de los destinos son: Culiacán, León, Hermosillo, Villahermosa, México, Naucalpan, Chihuahua y Monterrey, etc. Por lo general son pedidos grandes, y se busca que el camión vaya consolidado de órdenes de 2 o 3 destinos para llenar el camión a su máxima capacidad que es de 48 cajas por camión.

En la empresa bajo estudio se presenta la necesidad de contar con herramientas que faciliten la toma de decisiones operativas, antes, durante y después de sus actividades, que sean de fácil comprensión y pueda llegar a ser el motor para el desarrollo de nuevos proyectos. En base a lo anterior se optó por realizar un modelo de simulación por computadora del centro de distribución de parabrisas para simular sus procesos, planteando distintos escenarios los cuales resuelven problemáticas actualmente presentes como la reducción del tiempo de ciclo de los procesos y un diseño de instalaciones eficiente y flexible, ya que se considera que el CEDIS no tiene una distribución adecuada puesto que las distancias y recorridos son largos, esto hace

que no haya un buen flujo de materiales y a la vez el tiempo de ciclo de los procesos se aumenta.

3.2. Construcción del modelo conceptual del centro de distribución de parabrisas

3.2.1. Distribución Física de la Empresa

En el anexo 1 se muestra una imagen del plano del CEDIS con medidas en metros y en la figura 3.3 se muestra una imagen de la distribución física actual del centro de distribución de parabrisas donde se observa la ubicación de cada una de las áreas. En total cuenta con una superficie es de $4,345 m^2$.

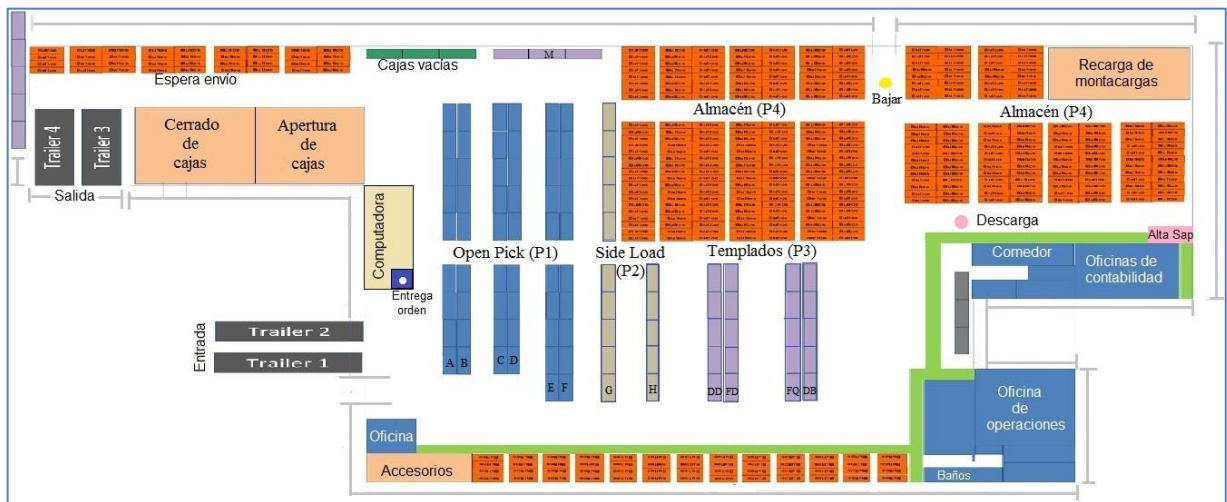


Figura 3.3 Distribución física actual del CEDIS.

3.2.2. Descripción de los Subsistemas del Centro de Distribución de Parabrisas

Dada la complejidad de procesos y decisiones que se generan en un centro de distribución de parabrisas, es preciso realizar una distinción para analizar cada uno de los sistemas que lo componen. Permitiendo analizarlos por separado.

En la figura 3.4 se le asignó un color diferente a cada subsistema para identificarlo y observar con mayor claridad las distancias que tiene que recorrer cada recurso (operador, montacargas) para ejecutar cada actividad del proceso.

- Subsistema de recibo (morado).

- Subsistema de resurtido de estantes (verde).
- Subsistema de picking (anaranjado).
- Subsistema de empaque (rojo).

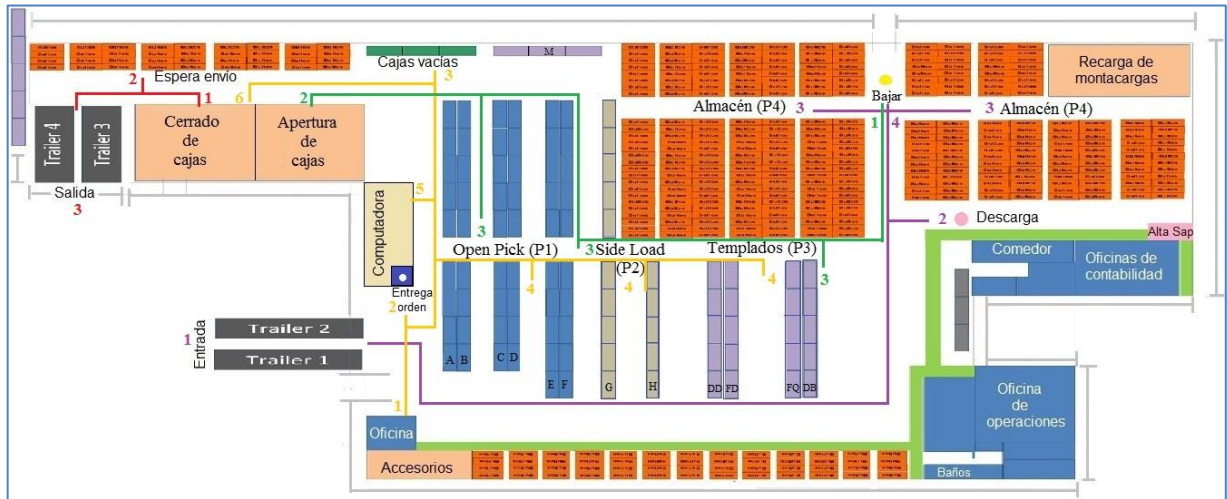


Figura 3.4. Subsistemas del CEDIS.

Con el objetivo de comprender las actividades de los centros de distribución se realiza una descripción de los diferentes subsistemas que contiene y que serán modelados en el estudio de simulación para facilitar su comprensión.

Subsistema de recibo

Es el primer subsistema, donde arriba el producto proveniente de la fábrica, aquí se dan de alta las existencias en el programa SAP, posteriormente se descarga el producto y finalmente se almacena en el área P4. El camión arriba con 40 cajas.

- *Paquete:* son 4 cajas unidas con fleje de plástico (dos abajo y dos arriba).
- *Bulto:* son 2 cajas unidas con fleje de plástico (horizontalmente).

Esta actividad actualmente le corresponde a un sólo operador.

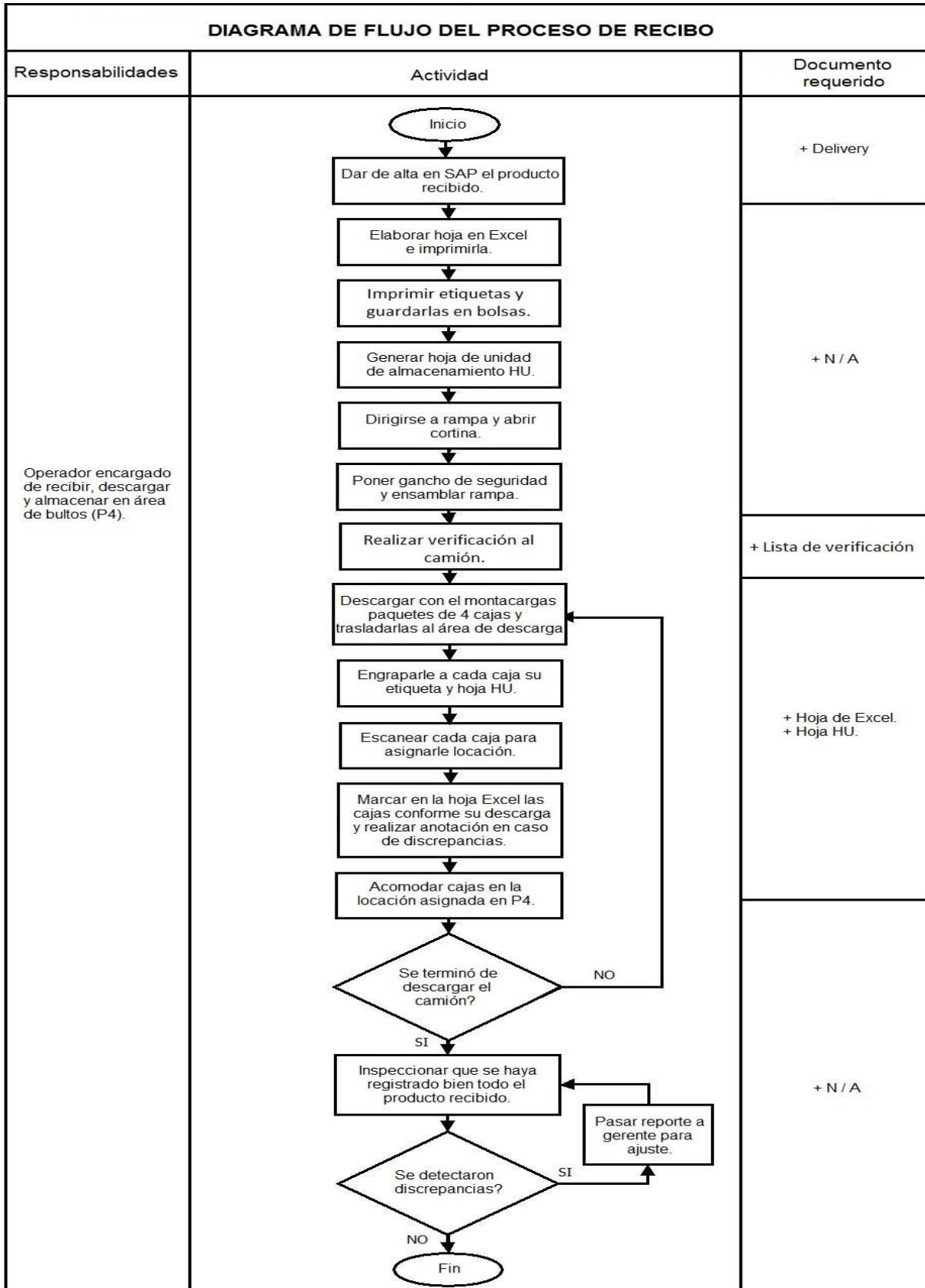
Procedimiento para el recibo:

- I. Antes de empezar, el operador debe de haber recibido el número de reparto (delivery) que es solicitado por el programa SAP para empezar a hacer movimientos.

- II. El operador registra todo el producto que llegó en el programa SAP para recibirlo y que quede registrado en existencia.
- III. El operador elabora una hoja en Excel extrayendo solo los datos que necesita del programa SAP e imprime la hoja de Excel para llevar un control físico, que se usará para realizar la verificación en el paso X del proceso.
- IV. El operador elabora etiquetas, las imprime y las guarda en bolsas de plástico.
- V. El operador genera la hoja de unidad de almacenamiento HU (Es el código que se le asigna a la caja para poder identificarla).
- VI. El operador se dirige a la rampa y llena la lista de verificación para valorar las condiciones del camión (ver figura 2.1 del anexo 2).
- VII. El operador descarga un paquete del camión con el montacargas y lo traslada momentáneamente a un pasillo dentro del área P4 llamado descarga.
- VIII. El operador comienza a procesar el paquete que descargó, quita el fleje de plástico para separar el paquete, con el montacargas baja las dos cajas de arriba dejándolas en bultos. Después el operador engrapa a un costado de cada una de las cuatro cajas, la bolsa que contiene las etiquetas y la hoja HU según corresponda.
- IX. El operador escanea el código de la etiqueta que viene de fábrica para asignarle una locación nueva a cada caja, dentro del área P4 en donde haya espacio.
- X. El operador va marcando en la hoja de Excel la caja que está procesando para verificar que lo que se está recibiendo está correcto. En caso de que surja alguna discrepancia como a) No llego producto, b) Llego producto de más o c) Llego un producto por otro, el operador debe realizar la anotación en la hoja de Excel.
- XI. El operador acomoda con el montacargas las cajas en la locación que les fue asignada dentro del área P4.
- XII. El operador repite el procedimiento paquete por paquete y una vez que se terminó de descargar y acomodar todo el material, revisa nuevamente la hoja de Excel, si se detecta que se hicieron anotaciones de discrepancia, se le pasa el reporte al gerente de operaciones para que realice los ajustes necesarios.

En la tabla 3.1 se describe el proceso de recibo del centro de distribución.

Tabla 3.1. Diagrama del proceso de recibo.



Subsistema de resurtido de estantes

Cuando se vacía una caja que está colocada en alguno de los estantes P1, ésta se retira y se reemplaza por una nueva caja tomada del área P4 que esté llena.

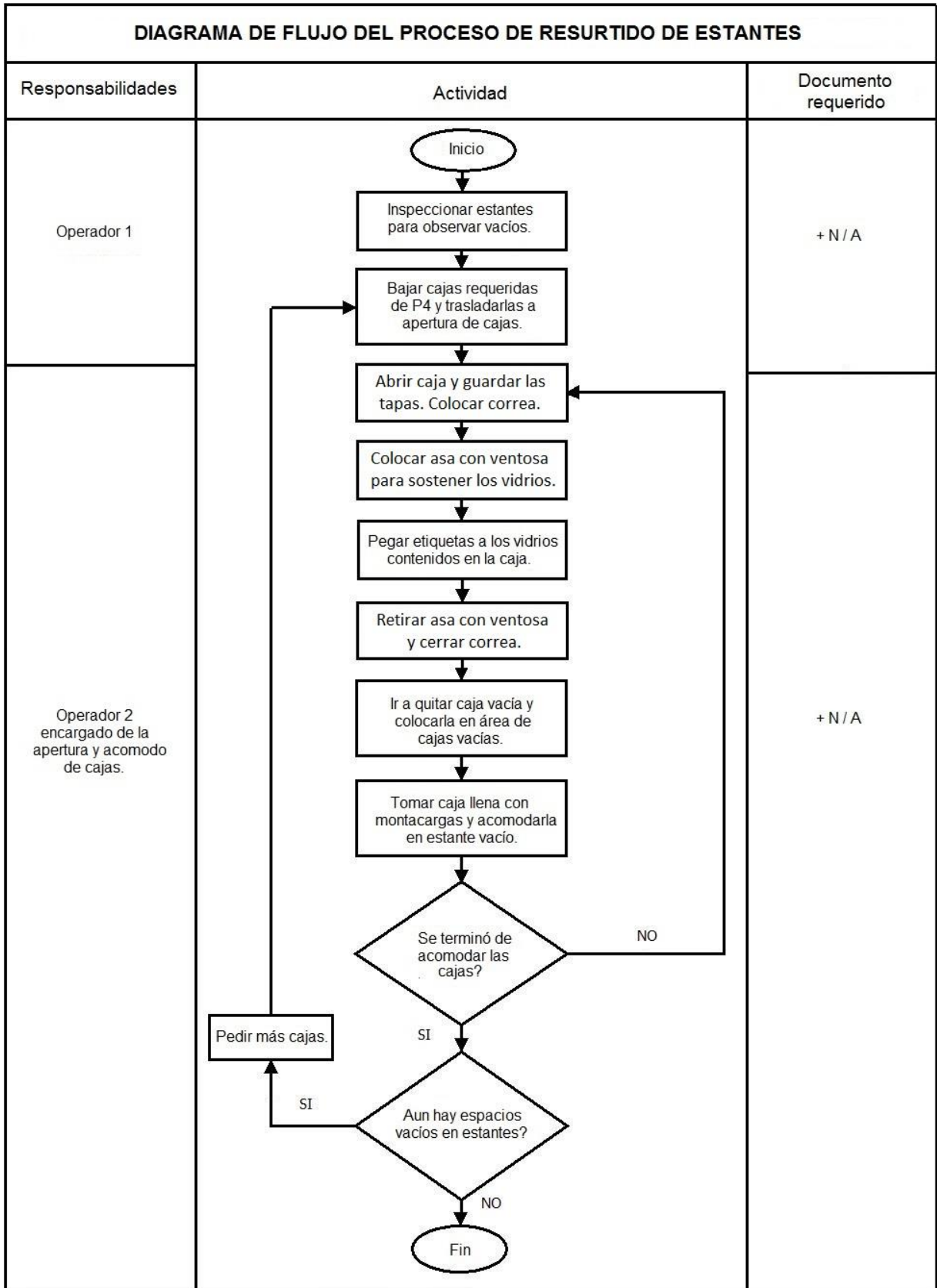
Para esta actividad actualmente están asignados dos operadores.

Procedimiento para el resurtido de estantes:

- I. El operador 1 hace un recorrido por los estantes P1, para detectar espacios vacíos.
- II. El operador 1 toma las cajas faltantes del área P4 y las lleva al área de apertura de cajas. Estas cajas no permanecen en esta área más de 24 o 48 horas.
- III. El operador 2 corta los flejes de plástico con navaja para abrir la caja, los tira al bote de basura, posteriormente quita las tapas (superior y la tapa frontal) y las guarda en el lugar correspondiente.
- IV. El operador 2 coloca una correa de ajuste a la caja en la parte superior e inferior y la deja abierta.
- V. El operador 2 coloca el asa con ventosa para sostener los parabrisas y poderlos manipular de una forma segura, arranca la bolsa que contiene las etiquetas que están colocadas a un costado de la caja y pega una etiqueta a cada vidrio que contiene la caja, de uno por uno, ya que terminó cierra y ajusta la correa para asegurar los parabrisas y retira el asa con ventosa.
- VI. El operador 2 toma la caja con el montacargas y acomoda la caja completa en la locación correspondiente dentro de P1.
- VII. En caso de ser material que se requiera acomodar en P2 o P3 es el mismo procedimiento solo que en vez de poner la caja completa en la locación, se toma y se coloca vidrio por vidrio en la locación correspondiente.

En la tabla 3.2 se describe el proceso de resurtido de estantes del centro de distribución.

Tabla 1.2. Diagrama del proceso de resurtido de estantes.



Subsistema de picking

Es la actividad más crítica del CEDIS, donde el producto tiene más movimiento y riesgo de dañarse. Los operadores recolectan los pedidos, tomando los parabrisas solicitados de los estantes P1, P2 o P3. Su actividad comienza al recibir la orden por parte del supervisor de operaciones y concluye al dejar la caja surtida de producto en el área de cerrado de cajas.

Actualmente hay un sólo operador que se dedica a la recolección de órdenes

Procedimiento para el picking:

- I. El supervisor entrega la hoja física de la orden de pedido llamada “nota de transporte” al operador asignado a ésta actividad (ver imagen 2.2 del anexo 2).
- II. El operador se dirige al montacargas.
- III. El operador revisa la nota de transporte, para saber de qué áreas va a recolectar producto y qué cantidad.
- IV. El operador toma el escáner y accede a su sesión.
- V. El operador toma la nota de transporte y escanea el código de barras llamado “Master UM” el cuál le indica los modelos a recolectar y en base a esto el operador decide el tamaño de caja que va a necesitar, una vez que el operador tomó la decisión introduce manualmente en el escáner el tipo de caja, ya que éste es un dato solicitado por el escáner para poder continuar.
- VI. El operador escanea de la nota de transporte el código de barras llamado “Número de transporte”, el cual indica el camión en el que va a ser embarcado y el destino al que va dirigido.
- VII. Una vez que el operador ha terminado de introducir toda la información que le solicita el escáner, éste le indica la locación a la que debe dirigirse y la cantidad de parabrisas que debe tomar.
- VIII. El operador se dirige al área de cajas vacías y comienza con la preparación de la caja que consiste en lo siguiente:
 - Seleccionar la caja del tamaño correspondiente y subirla en una base con inclinación.

- Verificar que la caja traiga el respaldo, correa de ajuste y la base de cartón, en caso de que le falte alguna de estas cosas a la caja, el operador debe colocársela.
- IX. Una vez que la caja está correctamente preparada, el operador toma un manojo de hojas de cartón y las coloca en la parte superior del montacargas.
- X. Una vez que se concluyó el paso anterior, el operador comienza la recolección.
- XI. El operador se dirige a la locación indicada por el escáner, estando en la locación el operador debe realizar lo siguiente:
- Abrir la correa de la caja que está en el estante (solo si es estante P1, si no, saltarse al siguiente punto).
 - Escanear la etiqueta de la locación.
 - Escanear la etiqueta del modelo del vidrio.
 - Abrir la correa de la caja que trae en el montacargas.
 - Tomar los parabrisas requeridos de la locación y ponerlos en la caja que trae en el montacargas.
 - Colocar una hoja de cartón después de cada vidrio colocado en la caja que trae en el montacargas para mantener una separación.
 - Cerrar la correa de la caja que trae en el montacargas.
 - Cerrar y ajustar la correa de la caja que está en el estante de la cual se tomaron los parabrisas (solo si es estante P1, si no, saltarse al siguiente punto).
 - Así sucesivamente se dirige a las locaciones necesarias hasta llenar la caja.
- XII. Una vez que se terminó de surtir la caja, el operador se dirige a la computadora, ahí imprime la hoja del informe de contenido de los parabrisas que se recolectaron en la caja y realiza una inspección para verificar que estén todos los parabrisas y que todos tengan su etiqueta correspondiente.
- XIII. El operador traslada y deja la caja en el área de cerrado de cajas.

En la tabla 3.3 se describe el proceso de picking del centro de distribución.

Tabla 3.3. Diagrama del proceso de picking.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PICKING		
Responsabilidades	Actividad	Documento requerido
Supervisor de operaciones.	<pre> graph TD Inicio([Inicio]) --> A[Entrega de nota de transporte.] A --> B[Revisar nota de transporte.] B --> C[Escanear código UM y No. de transporte de la nota.] C --> D[Preparar caja vacía.] D --> E[Recolectar pedido en caja.] E --> F[Imprimir hoja del informe del contenido de la caja.] F --> G[Trasladar caja al área de cerrado y empacado.] G --> Fin([Fin]) </pre>	+ N/A
Operador (es) encargados de la recolección de órdenes.		+ Nota de transporte
		+ Hoja de informe de contenido.
		+ N/A

Subsistema de empaque

Esta es una actividad de suma importancia, se le debe invertir tiempo en el empaqueo para evitar que el producto se dañe durante el transporte o llegue al lugar equivocado o en cantidades distintas a las solicitadas. La actividad consiste en cerrar correctamente la caja y verificar que traiga la documentación completa.

Actualmente solo un operador desempeña esta actividad.

Procedimiento para el empaque:

- I. El operador verifica que la caja traiga la documentación completa:
 - Hoja HU.
 - Nota de transporte.
 - Hoja de informe de contenido.
- II. El operador realiza una revisión de la hoja de contenido para verificar que realmente trae físicamente las piezas que dice la hoja.
- III. El operador inspecciona el acomodo de los parabrisas para verificar que estén acomodados de acuerdo a su tamaño y curvatura, en caso de que los parabrisas no estén bien acomodados se cambian todos los parabrisas a otra caja que sea adecuada.
- IV. Una vez que ya están bien acomodados los parabrisas en la caja, el operador pone separadores de cartón a los lados de la caja y en la parte superior para evitar que se muevan durante el trayecto de envío y se dañen.
- V. El operador coloca 2 flejes por dentro de la caja.
- VI. El operador va por la tapa superior y la tapa frontal al estante donde se encuentran guardadas.
- VII. El operador coloca debidamente las tapas a la caja para cerrarla.
- VIII. El operador coloca 3 flejes a la caja por fuera con las tapas ya puestas, para terminar de sellarla.
- IX. Ya que la caja está cerrada correctamente, se traslada al área de espera para ser enviada.

En la tabla 3.4 se describe el proceso de empaque del centro de distribución.

Tabla 3.4. Diagrama del proceso de empaque.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE EMPAQUE		
Responsabilidades	Actividad	Documento requerido
Operador encargado del cerrado de cajas.	<pre> graph TD Inicio([Inicio]) --> A[Revisar documentación de la caja.] A --> B[Comparar hoja de contenido con piezas físicas.] B --> C[Inspección de caja.] C --> D[Poner los separadores de cartón necesarios.] D --> E{Están bien acomodados los vidrios?} E -- NO --> F[Acomodarlos] F --> C E -- SI --> G[Ir por tapas de la caja.] G --> H[Poner tapas a la caja para cerrarla.] H --> I[Colocar flejes a la caja para sellarla.] I --> J[Colocar caja en destino.] J --> Fin([Fin]) </pre>	<p>+ Hoja HU (unidad de almacenamiento).</p> <p>+ Nota de transporte.</p> <p>+Informe de contenido.</p>
	+ N / A	

Los cuatro subsistemas (recibo y almacenamiento, resurtido de estantes, picking y empaque) se encargan de desarrollar las operaciones del centro de distribución de parabrisas, cada proceso tiene un comportamiento propio pero todos dan servicio y trabajan como un sistema completo. Es importante entender que las fallas o retrasos en alguno de los subsistemas afectan a todo el sistema.

En la figura 3.5 se muestra un diagrama de cajas del flujo global del centro de distribución de parabrisas donde son representados cada uno de los cuatro subsistemas. Estos diagramas servirán como una importante guía conceptual y en la lógica para desarrollar el modelo de simulación en el software ProModel®.

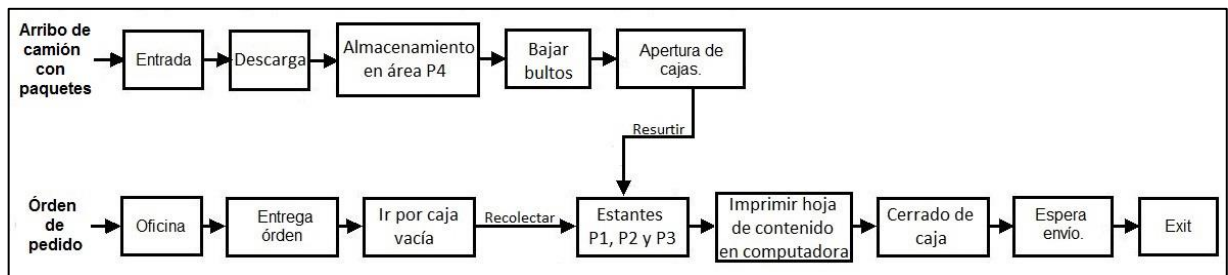


Figura 3.5. Modelo conceptual general del sistema original.

3.2.3. Entradas y Salidas del Sistema

Se procede a realizar listas de datos de entrada necesarios para tomar muestras de los diferentes subsistemas del centro de distribución que serán examinados, estos son: proceso de recibo, proceso de resurtido de estantes, proceso de picking, proceso de empaque.

En las tablas 3.5 a la 3.8 se muestran los datos de entrada que serán coleccionados en el estudio. Se indica el elemento que se analiza, se explica su importancia y se menciona las unidades con que será medido el correspondiente elemento.

Los métricos o indicadores son los parámetros utilizados para realizar la validación del estudio. Se utilizarán los métricos o indicadores que se muestran en las tablas 3.9 a la 3.12 con los que se medirán los resultados del proyecto, posterior a ello es necesario compararlos con datos históricos del sistema real y analizarlos contra los del modelo de simulación.

Tabla 3.5. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de recibo.

SUBSISTEMA DE RECIBO			
No.	COMPONENTE ALEATORIO	EXPLICACIÓN	UNIDAD
1	Alta en SAP	Tiempo que tarda el operador en dar de alta todo el producto que llego en el camión en el programa SAP e imprimir las etiquetas y la hoja HU correspondientes.	Minutos
2	Procesamiento de un paquete	Tiempo que tarda el operador en desagrupar el paquete, engrapar en cada caja una bolsa que contiene etiquetas y la hoja HU correspondientes, escanear el código de barras que se encuentra en la hoja HU que se acaba de colocar y escanear el código de la locación donde se ubicará la caja.	Minutos
3	Acomodo de cajas en P4	Tiempo que el operador tarda en acomodar con el montacargas las 4 cajas en la locación asignada.	Minutos

Tabla 3.6. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de resurtido de estantes.

SUBSISTEMA DE RESURTIDO DE ESTANTES			
No.	COMPONENTE ALEATORIO	EXPLICACIÓN	UNIDAD
1	Bajar cajas	Tiempo que tarda el operador 1 en bajar con el montacargas una caja del área P4 (almacén de bultos).	Minutos
2	Apertura de cajas	Tiempo que el operador 2 tarda en abrir manualmente una sola caja.	Minutos
3	Acomodo de cajas en estante	Tiempo que el operador 2 tarda en acomodar la caja previamente abierta con el montacargas en el estante.	Minutos

Tabla 3.7. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de picking.

SUBSISTEMA DE PICKING			
No.	COMPONENTE ALEATORIO	EXPLICACIÓN	UNIDAD
1	Preparación de la caja	Tiempo que el operador tarda en tomar la caja vacía, ponerla en una base y subirla al montacargas, verificar que traiga respaldo, correa y tomar hojas de cartón.	Minutos
2	Recolección de producto en caja	Tiempo que el operador tarda en recolectar el pedido en la caja, dirigiéndose a las locaciones correspondientes y tomando los parabrisas requeridos.	Minutos
3	Impresión de hoja de contenido	Tiempo que el operador tarda en la computadora imprimiendo la hoja del contenido de los parabrisas recolectados en la caja y realizando una inspección para verificar el contenido de la hoja con el producto físico.	Minutos

Tabla 3.8 Datos de entrada a recolectar en el subsistema de empaque.

SUBSISTEMA DE EMPAQUE			
No.	COMPONENTE ALEATORIO	EXPLICACIÓN	UNIDAD
1	Cerrar cajas	Tiempo que el operador tarda en inspeccionar que los parabrisas estén acomodados correctamente, que la caja traiga toda la documentación requerida y cerrar la caja correctamente.	Minutos

Tabla 3.9. Métricos del subsistema de recibo.

MÉTRICOS PARA EL SUBSISTEMA DE RECIBO			
No.	DATOS	EXPLICACIÓN	UNIDAD
1	Tiempo total de operación	Tiempo desde que inicia, hasta que termina las siguientes actividades: dar de alta el producto que llego en el programa SAP, descargar y acomodar en P4 todo el producto que llegó en el camión.	Minutos
2	Total de cajas recibidas	Cantidad de cajas que son recibidas y almacenadas.	Piezas

Tabla 3.10. Métricos del subsistema de resurtido de estantes.

MÉTRICOS PARA EL SUBSISTEMA DE RESURTIDO DE ESTANTES			
No.	DATOS	EXPLICACIÓN	UNIDAD
1	Tiempo total de la operación	Tiempo que tarda el operador 1 bajando una caja del área P4 y trasladarla al área apertura cajas, más el tiempo que tarda el operador 2 en abrir y acomodar una caja en el estante.	Minutos
2	Total de cajas resurtidas	Cantidad de cajas resurtidas en los estantes.	Piezas

Tabla 3.11. Métricos del subsistema de picking.

MÉTRICOS PARA EL SUBSISTEMA DE PICKING			
No.	DATOS	EXPLICACIÓN	UNIDAD
1	Tiempo total de la operación	Tiempo que tarda el operador en surtir una caja desde que recibe la orden, hasta que imprime la hoja de contenido.	Minutos
2	Total de cajas surtidas	Cantidad de cajas surtidas.	Piezas

Tabla 3.12. Métricos del subsistema de empaque.

MÉTRICOS PARA EL SUBSISTEMA DE EMPAQUE			
No.	DATOS	EXPLICACIÓN	UNIDAD
1	Tiempo total de la operación	Tiempo total que el operador tarda en cerrar la caja y trasladarla al área de espera envío.	Minutos

Tabla 3.12. Continuación.

No.	DATOS	EXPLICACIÓN	UNIDAD
2	Total de cajas cerradas	Cantidad de cajas cerradas.	Piezas

3.3. Colección y tratamiento de los datos

En este punto de la investigación del centro de distribución de parabrisas ya se han establecido listados de datos de entrada y de métricos, información correspondiente a la estructura de diseño del modelo conceptual, que podrá ser utilizada en la etapa de validación una de las siguientes fases del proceso de simulación, entre otras.

La siguiente etapa del estudio se refiere a la colección y tratamiento de los datos. Se procede a revisar los datos históricos de la empresa para conocer la información disponible en registros del CEDIS y determinar los datos que se obtendrán haciendo un muestreo al sistema directamente.

3.3.1. Toma de Muestras

Utilizando el cronómetro se muestrean directamente los procesos del centro de distribución de parabrisas. Posteriormente los datos colectados se introdujeron en el software STAT-FIT, dónde se obtuvieron sus datos como media, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar.

En la tabla 3.13 se expone un ejemplo de la forma en que se capturaron los datos del muestreo, para lo cual se eligió el componente aleatorio recolección de producto en caja del subsistema de picking (Para ver la información completa ir al anexo 3).

Tabla 3.13. Captura de datos del componente aleatorio recolección de producto en caja.

RECOLECCION DE PRODUCTO EN CAJA		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	21-sep-15	23.51
2	21-sep-15	7.59
3	21-sep-15	27.92
4	23-sep-15	34.74
5	29-sep-15	20.89
6	29-sep-15	30.19
7	01-oct-15	21.39
8	01-oct-15	9.03

Tabla 3.13. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
9	01-oct-15	10.86
10	13-oct-15	23.41
11	13-oct-15	14.44
12	14-oct-15	23.95
13	14-oct-15	18.47
14	14-oct-15	15.15
15	19-oct-15	28.7
16	19-oct-15	18.39
17	21-oct-15	13.5
18	22-oct-15	10.9
19	22-oct-15	20.32
20	22-oct-15	21.5
21	22-oct-15	21.91
22	23-oct-15	26.49
23	23-oct-15	21.2
24	23-oct-15	6.52
25	23-oct-15	4.23
26	27-oct-15	18.09
27	27-oct-15	21.85
28	27-oct-15	15.71
29	03-nov-15	29.39
30	11-nov-15	15.24

3.3.2. Cálculo del Tamaño de la Muestra y Ajuste de Datos a Distribuciones de Probabilidad

Una vez concluida la fase de recolección de datos para los diferentes procesos y subsistemas en el centro de distribución de parabrisas, se continúa con la etapa de análisis o tratamiento de los datos de entrada que consiste en determinar el número de muestras necesario y se prosigue con la etapa de ajuste de los datos a distribuciones de probabilidad. El ajuste de datos se realiza por medio del analizador de datos de entrada STAT-FIT una de las múltiples herramientas que acompañan al software ProModel®.

Ejemplo: Se continúa con el componente aleatorio recolectar producto en caja del subsistema de picking para mostrar el desarrollo de esta etapa (Para ver la información completa ir al anexo 4).

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 3.6).

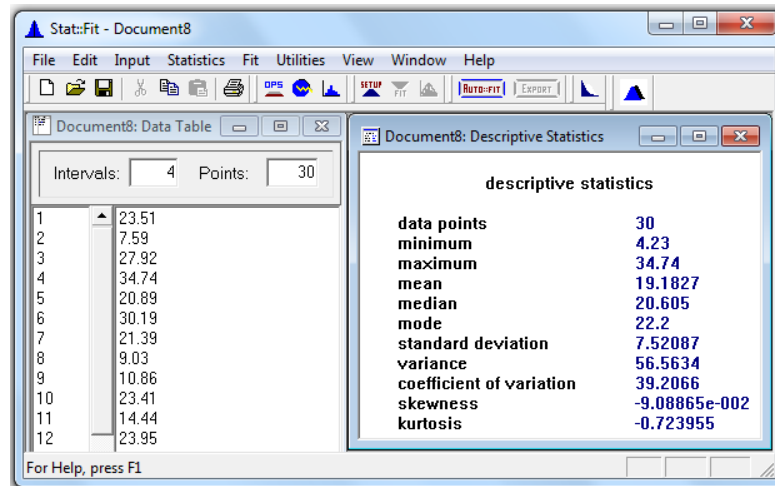


Figura 3.6. Descripción de los datos estadísticos del componente aleatorio recolección de producto en caja.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 19.1827$
- $S = 7.52087$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(19.1827) = 2.877405$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(7.52087)}{2.877405} \right)^2 = 29$$

Esto indica que se necesitan 29 muestras. Por lo tanto como inicialmente se tenían 30, para este caso es suficiente, si de lo contrario hubiera salido (n) con una cantidad mayor, solo se regresa al campo y se capturan las muestras faltantes. Sabiendo esto se toman los datos de 29 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución para la recolección de producto en caja del subsistema de picking (ver figura 3.7).

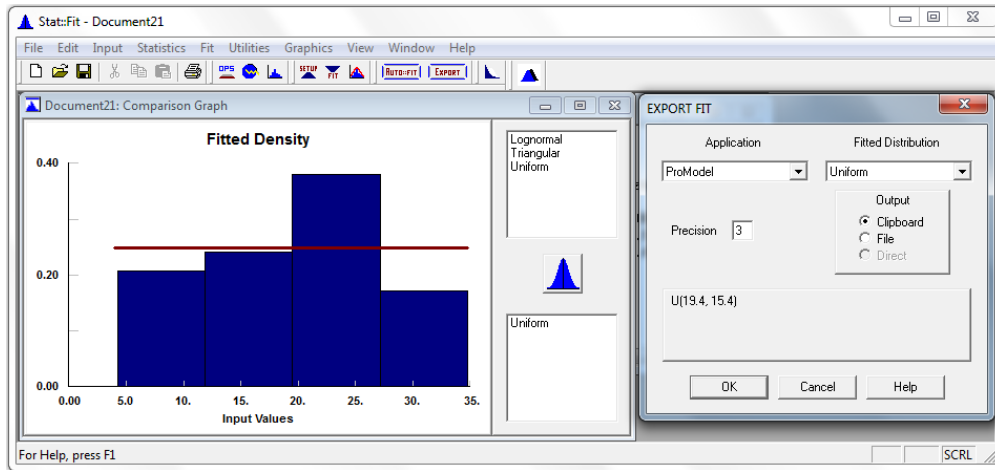


Figura 3.7. Ajuste a distribución uniforme del componente aleatorio recolección de producto en caja.

En la tabla 3.14. Se muestra la información más relevante y sintetizada de todos los datos recolectados en la investigación de campo.

Tabla 3.14. Datos generales del muestreo.

Subsistema	Componente aleatorio	Muestras Iniciales	\bar{x}	S	N	Distribución
Recibo	Alta SAP	30	117.5	24.95	8	Lognormal 78+L(42.8,35.3)
	Procesamiento de un paquete	30	10.82	4.06	26	Lognormal 5+L(6.24,5.57)
	Acomodo de cajas en P4	30	3.29	1.92	63	Lognormal L(4.14,2.15)
Resurtido	Bajar cajas	30	11.04	8.08	99	Lognormal 1+L(12.3,13.7)
	Apertura de cajas	30	6.36	3.04	43	Lognormal 2+L(4.09,2.56)
	Acomodo de cajas en estante	30	3.86	1.95	48	Lognormal 1+L(2.96,2.48)
Picking	Preparación de la caja	30	2.11	1.30	58	Triangular (0.,0.352,6.8)
	Recolección de producto en caja	30	19.18	7.52	30	Uniforme (19.4,15.4)
	Impresión de hoja de contenido	30	1.97	0.70	30	Lognormal (2.,0.879)
Empaque	Cerrar cajas	30	6.01	2.71	36	Lognormal 3+L(3.02,2.56)

3.4. Construcción del modelo de simulación original

Se identificaron los subsistemas principales con los que se desarrollan las operaciones del centro de distribución. Es importante mencionar que un centro de distribución de parabrisas es un sistema complejo, debido a la gran cantidad de elementos que intervienen en el desarrollo de sus actividades, todos ellos importantes para su correcto funcionamiento, una mala organización o errores en alguno de los subsistemas tiene repercusiones en el sistema completo. En la tabla 3.15 se describen los subsistemas del centro de distribución de parabrisas, en cada uno se mencionan los principales recursos para realizar las operaciones.

Tabla 3.15. Descripción de subsistemas del centro de distribución de parabrisas original.

SUBSISTEMA	RECURSOS	PROCESOS RELACIONADOS
Recibo	<ul style="list-style-type: none"> Montacargas #2 (Mont2) 	<ul style="list-style-type: none"> Dar de alta el material que arribó, en sistema SAP. Descarga y procesamiento. Acomodo en almacén P4.
Resurtido de estantes	<ul style="list-style-type: none"> Montacargas #2 (Mont2) 	<ul style="list-style-type: none"> Bajar cajas de P4. Trasladar cajas de P4 a área apertura de cajas.
	<ul style="list-style-type: none"> Montacargas #3 (Mont3) 	<ul style="list-style-type: none"> Abrir caja. Acomodar caja en estante.
Picking	<ul style="list-style-type: none"> Supervisor Montacargas (Picker1) 	<ul style="list-style-type: none"> Entregar orden. Ir por caja vacía. Recolectar producto en caja. Imprimir hoja de contenido.
Empaque	<ul style="list-style-type: none"> Montacargas #1 (Mont1) 	<ul style="list-style-type: none"> Cerrar caja. Trasladar caja a área de espera para envío.

3.4.1. Elementos del Modelo de Simulación del Centro de Distribución de Parabrisas

Entidades:

- Caja
- Orden
- Paquete
- Bulto

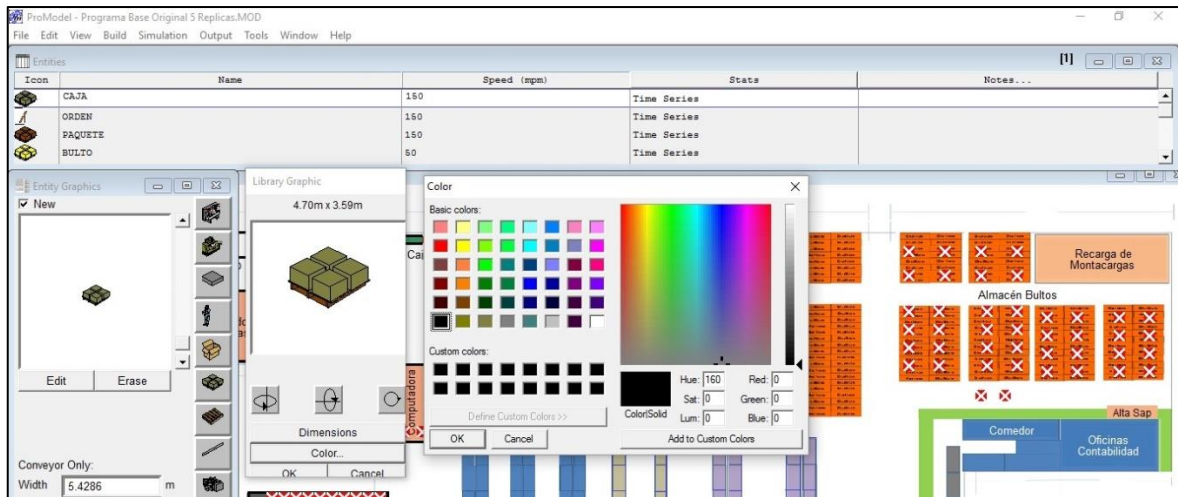


Figura 3.8. Pantalla de las entidades del sistema en ProModel®.

Locaciones:

- Entrada
- Descarga
- Almacén_Bultos
- Bajar
- Apertura_Cajas
- Open_pick
- Side_load
- Templados
- Oficina
- Entrega_Orden
- Cajas_Vacías
- Cerrado_Cajas
- Espera_Envío
- Computadora

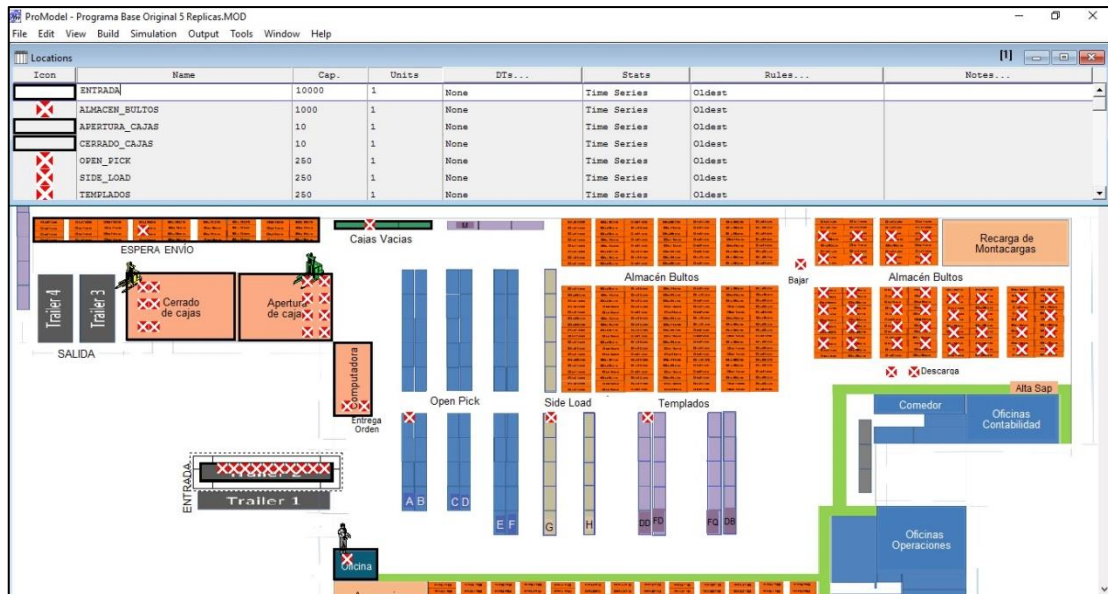


Figura 3.9. Pantalla de las locaciones del sistema en ProModel®.

Atributos:

- A1 (máximo atributo para el recurso picker1).
- A2 (máximo atributo para el recurso mont2).
- TC1 (Tiempo de ciclo del subsistema de recibo).
- TC2 (Tiempo de ciclo del subsistema de resurtido de estantes).
- TC3 (Tiempo de ciclo del subsistema de picking).
- TC4 (Tiempo de ciclo del subsistema de empaque).

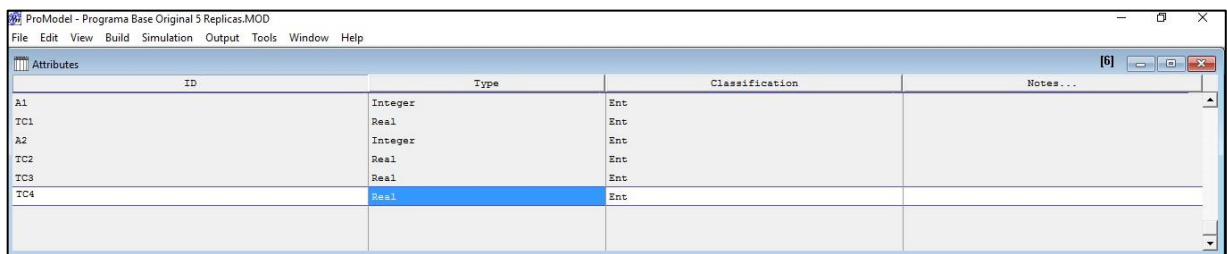


Figura 3.10. Pantalla de los atributos del sistema en ProModel®.

Arribos:

- Paquete – Entrada
- Orden – Oficina
- Caja – Apertura_cajas

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...	Disable
PAQUETE	ENTRADA	10	0	1	32 HR		No
ORDEN	OFICINA	U(92.1, 21.1)	0	1	24 HR		No
CAJA	APERTURA_CAJAS	4	0	1	24 HR		No

Figura 3.11. Pantalla de los arribos del sistema en ProModel®.

Variable de rendimiento:

- Tiempo de ciclo

Recursos:

- Equipo: Montacargas 1, montacargas 2, montacargas 3 y picker 1
- Personas: Supervisor

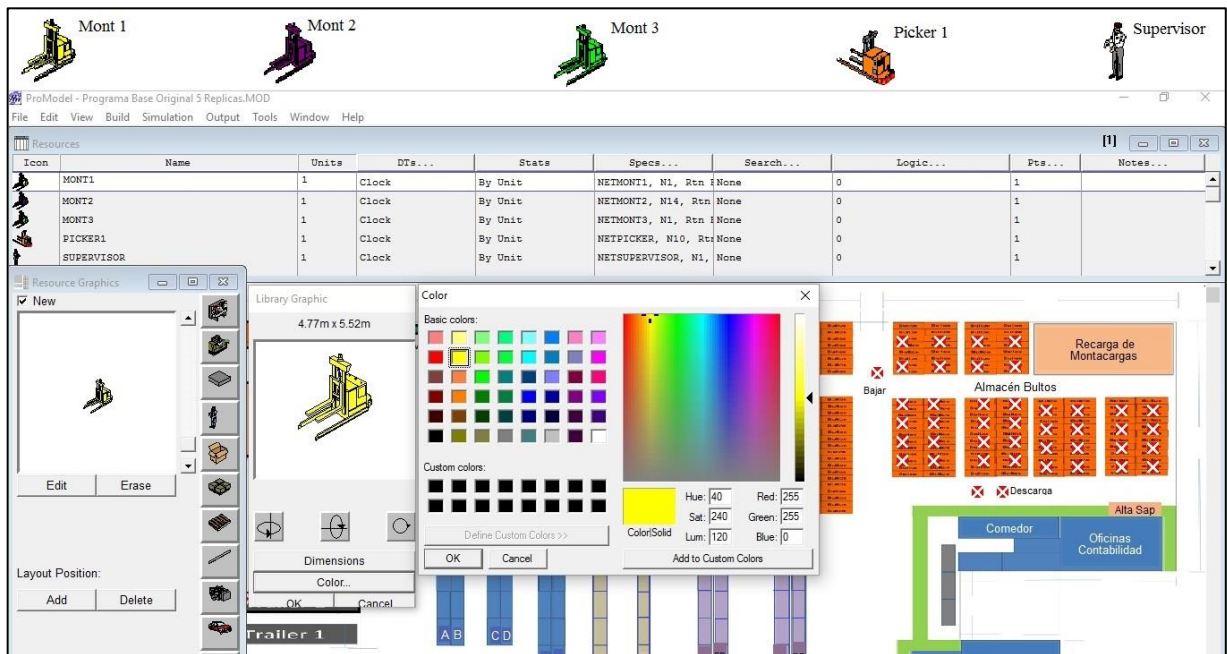


Figura 3.12. Pantalla de los recursos del sistema en ProModel®.

Colas:

- Cola de órdenes para ser recolectadas, por falta de operadores o recursos.
- Cola de cajas por cerrar.
- Cola de cajas por abrir.
- Cola de paquetes en entrada por recibir.

Eventos:

Los eventos que suceden durante la operativa de los centros de distribución de vidrio y se consideran en la simulación son:

- Inicio de las operaciones del CEDIS.
- Inicio y fin de cajas surtidas.
- Inicio y fin de recibo de camión con producto (descarga y almacenamiento).
- Interrupción por 40 min de tiempo de comida.
- Término de las operaciones de CEDIS.

3.4.2. Programación del Modelo de Simulación Original

Se creó el ambiente del centro de distribución de parabrisas que asemeja la realidad, se utilizaron herramientas del software ProModel® para recrear las actividades. Por medio de rutas, distancia y estaciones fueron generados los movimientos de los recursos. Se asignaron las áreas de donde se desarrollan cada uno de los procesos. Se animaron maquinaria y personal encargado de ejecutar las operaciones del centro de distribución, además se utilizaron indicadores en pantalla para observar el transcurso de la simulación, entre otros.

En la tabla 3.16 se muestra la programación del proceso en el software ProModel®.

Tabla 3.16. Programación del proceso original del CEDIS en ProModel®.

```
*****
*
*                               Formatted Listing of Model:
*                               E:\SEMESTRE4FINAL2.MOD
*
*****

Time Units:                    Minutes
Distance Units:                Meters

*****
*                               Locations
*
*****
```

Name	Cap	Units	Stats	Rules	Cost
ENTRADA	10000	1	Time Series	Oldest,	,
ALMACEN_BULTOS	1000	1	Time Series	Oldest,	,
APERTURA_CAJAS	10	1	Time Series	Oldest,	,
CERRADO_CAJAS	10	1	Time Series	Oldest,	,
OPEN_PICK	250	1	Time Series	Oldest,	,
SIDE_LOAD	250	1	Time Series	Oldest,	,
TEMPLADOS	250	1	Time Series	Oldest,	,
OFICINA	1000	1	Time Series	Oldest,	,
COMPUTADORA	1	1	Time Series	Oldest,	,
ENTREGA_ORDEN	1	1	Time Series	Oldest,	,
CAJAS_VACIAS	10	1	Time Series	Oldest,	,
ESPERA_ENUIO	100	1	Time Series	Oldest,	,
DESCARGA	1	1	Time Series	Oldest,	,
BAJAR	1	1	Time Series	Oldest,	,

Tabla 3.16. Continuación.

```

*****
*                               Entities                               *
*****
Name      Speed (mpm)  Stats      Cost
-----
CAJA      150           Time Series
ORDEN     150           Time Series
PAQUETE   150           Time Series
BULTO     50            Time Series

*****
*                               Path Networks                          *
*****
Name      Type      T/S      From      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
NETSUPERVISOR Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      18.61      1
NETMONT1   Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      18.235     1
NETMONT2   Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      9.10       1
           N2      N4      Bi      12.3444    1
           N4      N6      Bi      37.775     1
           N6      N8      Bi      5.00       1
           N8      N10     Bi      5.2        1
           N8      N12     Bi      14.88      1
           N12     N14     Bi      2.00       1
           N10     N16     Bi      13.714    1
           N16     N18     Bi      2.23       1
           N4      N20     Bi      22.149    1
           N20     N22     Bi      20.25     1
           N22     N24     Bi      2.00       1
           N12     N5      Bi      3.00       1
           N5      N9      Bi      24.7       1
NETMONT3   Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      3.00       1
           N2      N4      Bi      11.00      1
           N4      N6      Bi      24.00      1
           N6      N8      Bi      5.00       1
           N8      N10     Bi      3.00       1
           N8      N12     Bi      25.00      1
           N12     N14     Bi      3.00       1
           N12     N16     Bi      17.00      1
           N16     N18     Bi      3.00       1
NETPICKER  Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      5.00       1
           N2      N4      Bi      4.55       1
           N4      N6      Bi      8.2296    1
           N6      N8      Bi      25.389    1
           N8      N10     Bi      3.00       1
           N11     N12     Bi      2.00       1
           N10     N14     Bi      28.15     1
           N6      N16     Bi      2.52       1
           N16     N18     Bi      17.55     1
           N18     N20     Bi      10.19     1
           N16     N22     Bi      2.00       1
           N18     N21     Bi      2.00       1
           N20     N19     Bi      2.00       1
           N11     N10     Bi      1.00       1
           N3      N6      Bi      2.03       1

*****
*                               Interfaces                              *
*****
Net      Node      Location
-----
NETSUPERVISOR N1      OFICINA
           N2      ENTREGA_ORDEN
NETMONT1     N1      CERRADO_CAJAS
           N2      ESPERA_ENUIO
NETMONT2     N1      ENTRADA
           N24     APERTURA_CAJAS
           N14     ALMACEN_BULTOS
           N10     DESCARGA
           N9      BAJAR
NETMONT3     N18     TEMPLADOS
           N14     SIDE_LOAD
           N10     OPEN_PICK
NETPICKER    N1      APERTURA_CAJAS
           N1      ENTREGA_ORDEN
           N3      COMPUTADORA
           N12     CAJAS_VACIAS
           N22     OPEN_PICK
           N21     SIDE_LOAD
           N19     TEMPLADOS
           N14     CERRADO_CAJAS

```

Tabla 3.16. Continuación.

```

*****
*                                     Mapping                                     *
*****

```

Net	From	To	Dest	
NETMONT2	N4	N2		
	N6	N4		
	N8	N6		
	N10	N8		
	N12	N8		
	N20	N4		
	N4	N6		
	N6	N8		
	N8	N10		
	N8	N12		
	N12	N14		
	N4	N20		
	N20	N22		
	NETMONT3	N12	N5	
		N4	N2	
N6		N4		
N8		N6		
N12		N8		
N4		N6		
N6		N8		
N8		N10		
N8		N12		
N12		N14		
NETPICKER	N12	N16		
	N4	N2		
	N6	N4		
	N8	N6		
	N10	N8		
	N16	N6		
	N18	N16		
	N4	N6		
	N6	N8		
	N8	N10		
	N10	N11		
	N10	N14		
	N6	N16		
	N16	N22		
	N16	N18		
N18	N21			
N18	N20			
N6	N3			

```

*****
*                                     Resources                                    *
*****

```

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
MONT1	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT1 Home: N1 <Return>	Empty: 15.8565 mpm Full: 15.8565 mpm	
MONT2	1	By Unit	Closest	Max	NETMONT2 Home: N14 <Return>	Empty: 66.1137 mpm Full: 66.1137 mpm	
MONT3	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT3 Home: N1 <Return>	Empty: 63.7654 mpm Full: 63.7654 mpm	
PICKER1	1	By Unit	Closest	Max	NETPICKER Home: N10 <Return>	Empty: 118.82 mpm Full: 118.82 mpm	
SUPERVISOR	1	By Unit	Closest	Oldest	NETSUPERVISOR Home: N1 <Return>	Empty: 20 mpm Full: 20 mpm	

Tabla 3.16. Continuación.

```

*****
*                               Arrivals                               *
*****
Entity  Location      Qty Each  First Time Occurrences Frequency  Logic
-----  -
PAQUETE ENTRADA          10         0           1          32 HR
ORDEN   OFICINA         U(32.1, 21.1) 0           1          24 HR
CAJA    APERTURA_CAJAS  4         0           1          24 HR
    
```

```

*****
*                               Attributes                              *
*****
ID      Type      Classification
-----  -
A1      Integer   Entity
TC1     Real      Entity
A2      Integer   Entity
TC2     Real      Entity
TC3     Real      Entity
TC4     Real      Entity
    
```

3.4.3. Animación del Modelo de Simulación Original

En la figura 3.13 se presenta una vista de la animación desarrollada mediante el software ProModel® del primer escenario de simulación.

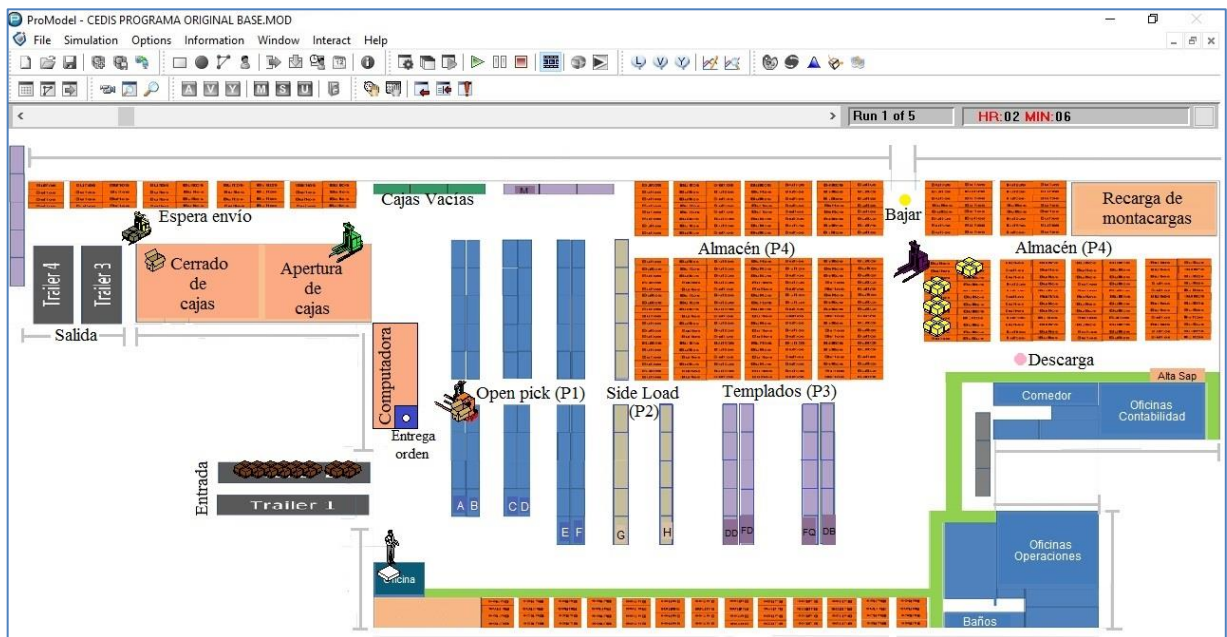


Figura 3.13. Vista de la animación del modelo original de simulación del CEDIS en ProModel®.

3.4.4. Análisis de los Resultados de Salida del Modelo de Simulación Original

Los datos establecidos son:

- Número inicial de réplicas $n = 5$
- Nivel de significancia $\alpha = 0.05$
- Porcentaje de error $\%e = 0.15$

Se corre el sistema con “n” réplicas (ver figura 3.14)

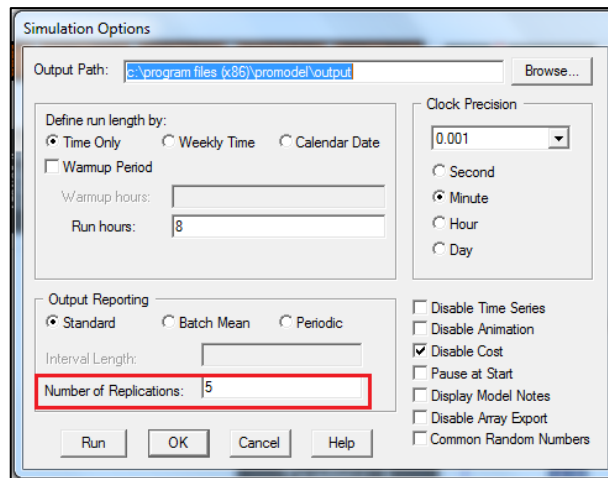


Figura 3.14. Ejemplo de cómo introducir el número de réplicas en ProModel®.

Se obtiene la media y la desviación estándar del tiempo de ciclo de cada proceso que se está analizando del CEDIS. Este dato se toma de los resultados de la simulación en ProModel® al finalizar la corrida con las 5 réplicas (ver tabla 3.17).

Tabla 3.17. Resultados en el software ProModel® del modelo de simulación original.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	337.00	337.00	337.00	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	337.98	337.98	337.98	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	274.00	274.00	274.00	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	343.55	343.55	343.55	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	276.89	276.89	276.89	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	313.88	313.88	313.88	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	0	35.19	35.19	35.19	(Std. Dev.)
TIEMPO DE RESURTIDO	8	11.07	84.58	28.04	(Rep 1)
TIEMPO DE RESURTIDO	12	7.94	54.57	19.87	(Rep 2)
TIEMPO DE RESURTIDO	16	9.70	128.11	33.20	(Rep 3)
TIEMPO DE RESURTIDO	11	8.02	30.60	18.31	(Rep 4)
TIEMPO DE RESURTIDO	15	8.12	73.00	29.86	(Rep 5)
TIEMPO DE RESURTIDO	12.4	8.97	74.17	25.86	(Average)
TIEMPO DE RESURTIDO	3.20	1.38	36.40	6.47	(Std. Dev.)

Tabla 3.17. Continuación.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	8.84	63.51	24.97	(Rep 1)
TIEMPO PICKING DE CAJA	15	12.97	70.71	29.92	(Rep 2)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	9.79	71.67	26.15	(Rep 3)
TIEMPO PICKING DE CAJA	15	10.74	60.85	30.19	(Rep 4)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	6.94	69.42	25.20	(Rep 5)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16.6	9.86	67.23	27.29	(Average)
TIEMPO PICKING DE CAJA	1.51	2.23	4.77	2.56	(Std. Dev.)
TIEMPO CERRADO DE CAJA	18	5.08	18.92	7.62	(Rep 1)
TIEMPO CERRADO DE CAJA	15	4.81	14.37	7.31	(Rep 2)
TIEMPO CERRADO DE CAJA	17	4.59	10.56	6.40	(Rep 3)
TIEMPO CERRADO DE CAJA	14	5.25	11.46	7.33	(Rep 4)
TIEMPO CERRADO DE CAJA	17	4.71	18.69	7.78	(Rep 5)
TIEMPO CERRADO DE CAJA	16.2	4.89	14.80	7.29	(Average)
TIEMPO CERRADO DE CAJA	1.64	0.27	3.91	0.53	(Std. Dev.)

Se calcula el número de réplicas necesarias para cada proceso (ver tabla 3.18).

Tabla 3.18. Réplicas necesarias para cada subsistema del CEDIS.

SUBSISTEMA	APLICACIÓN DE FORMULA	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
RECIBO	$n = \left(\frac{(2.77644)(35.19)}{(0.15)(313.88)} \right)^2$	n = 4	Es suficiente con 5 réplicas. Se conservan los datos: $\bar{X} = 313.88$ S = 35.19
RESURTIDO	$n = \left(\frac{(2.77644)(6.47)}{(0.15)(25.86)} \right)^2$	n = 21	Se corre nuevamente el programa con 21 réplicas para este proceso. Y los nuevos datos obtenidos son : $\bar{X} = 26.63$ S = 6.50
PICKING	$n = \left(\frac{(2.77644)(2.56)}{(0.15)(27.29)} \right)^2$	n = 3	Es suficiente con 5 réplicas. Se conservan los datos: $\bar{X} = 27.29$ S = 2.56
EMPAQUE	$n = \left(\frac{(2.77644)(0.53)}{(0.15)(7.29)} \right)^2$	n= 2	Es suficiente con 5 réplicas. Se conservan los datos: $\bar{X} = 7.29$ S = 0.53

Se obtiene el intervalo de confianza dado en minutos para cada uno de los subsistemas del CEDIS (ver tabla 3.19).

Tabla 3.19. Intervalos de confianza de los subsistemas, dados en minutos.

SUBSISTEMA	APLICACIÓN DE FORMULA	ERROR	INTERVALO DE CONFIANZA (MIN)
RECIBO (TC1)	$E = 2.7764 * \frac{35.19}{\sqrt{5}}$	E = 43.6934	$270.1886 \leq TC1 \leq 357.5734$
RESURTIDO (TC2)	$E = 2.08596 * \frac{6.50}{\sqrt{21}}$	E = 2.9587	$23.6713 \leq TC2 \leq 29.5887$
PICKING (TC3)	$E = 2.7764 * \frac{2.56}{\sqrt{5}}$	E = 3.1786	$24.1114 \leq TC3 \leq 30.4686$
EMPAQUE (TC4)	$E = 2.7764 * \frac{0.53}{\sqrt{5}}$	E = 0.6580	$7.812 \leq TC4 \leq 9.128$

3.5. Validación del modelo de simulación original

Se obtienen los métricos de ciclo completo del sistema real de cada uno de los subsistemas del centro de distribución de parabrisas, estos datos pueden ser tomados de archivo histórico que tenga la empresa. Se toman por lo menos 3 muestras de cada día, después a éstos se les saca el promedio por día y finalmente se obtiene el promedio final como se muestra en el anexo 5.

A partir de la figura 3.15 a la 3.18 se presentan una serie de gráficas de barra para visualizar el comportamiento entre los indicadores reales del centro de distribución de parabrisas contra los resultados obtenidos en el modelo de simulación por computadora. Se comprueba que tanto para los datos reales (color verde) y resultados del modelo (color anaranjado) demuestran un comportamiento entre tendencias equivalente.

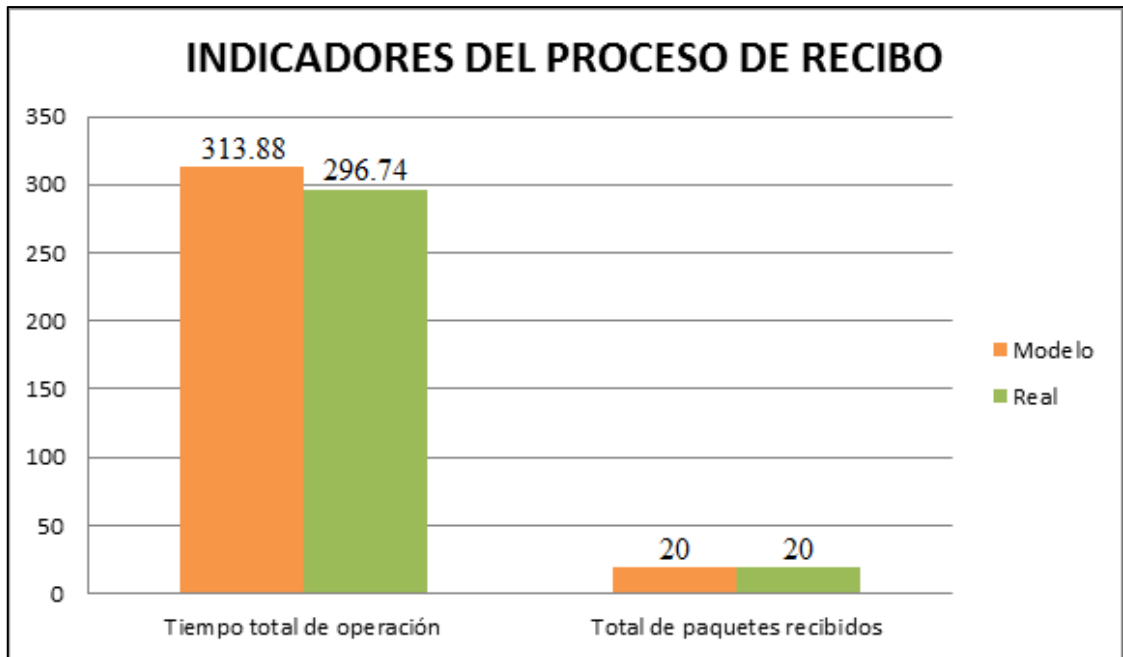


Figura 3.15. Validación indicadores del recibo, comportamiento entre datos reales y modelados.

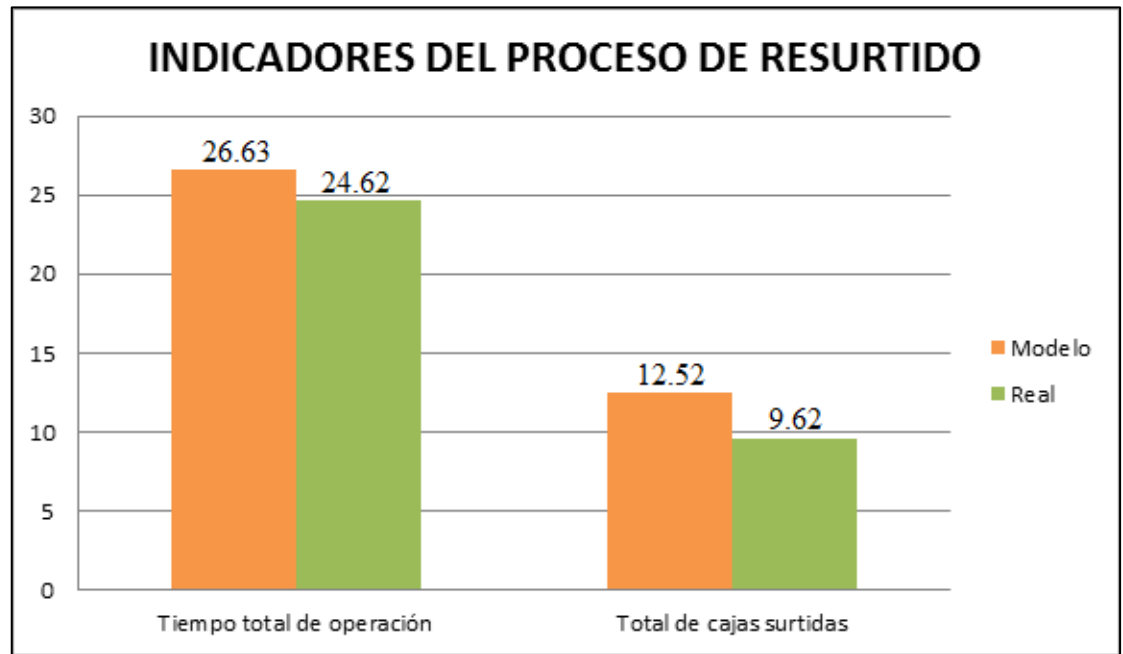


Figura 3.16. Validación indicadores del resurtido, comportamiento entre datos reales y modelados.

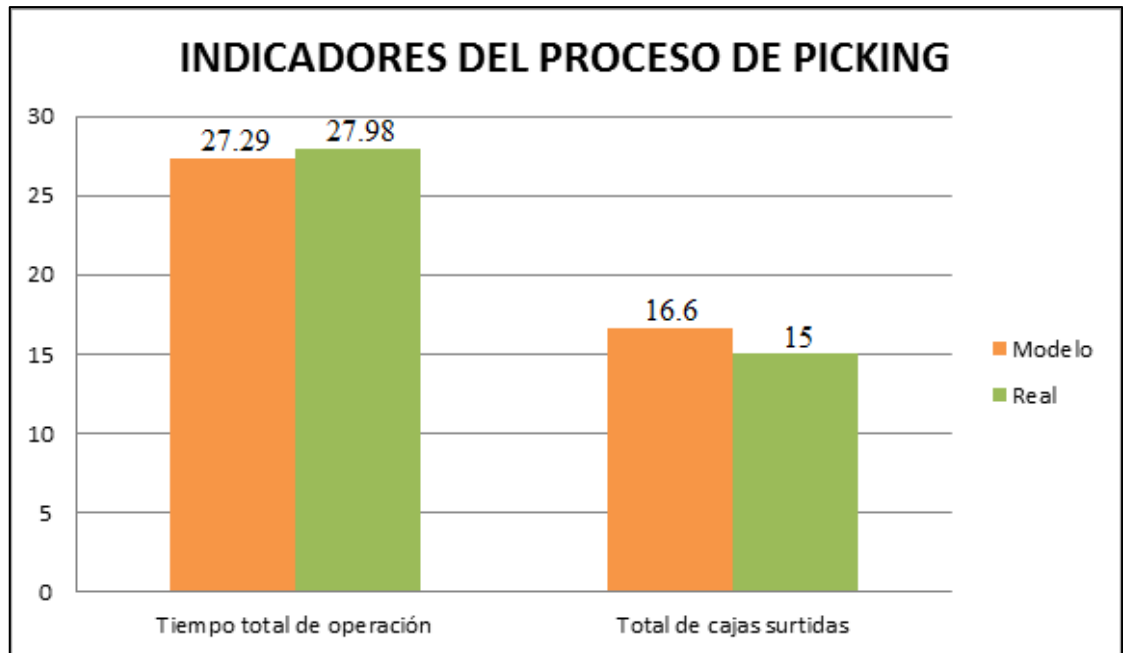


Figura 3.17. Validación indicadores del picking, comportamiento entre datos reales y modelados.

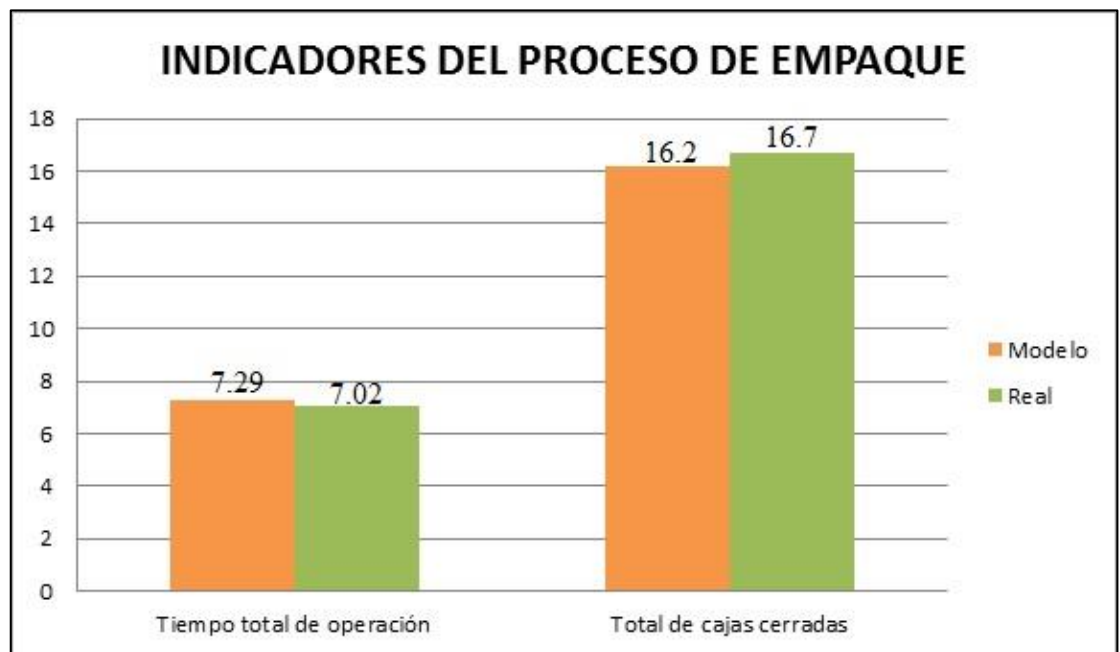


Figura 3.18. Validación indicadores de empaque, comportamiento entre datos reales y modelados.

Una vez que ya contamos con los datos reales del sistema y los datos del modelo de simulación, se realiza una prueba de hipótesis de diferencia de medias para cada uno de los subsistemas del CEDIS que se están analizando.

3.5.1. Aplicación de la Prueba de Hipótesis de Diferencia de Medias

El parámetro que se analiza en este caso es la diferencia de los promedios del tiempo total de operación de cada proceso tanto para el sistema real μ_1 y como para el modelo de simulación μ_2 (Ver tabla 3.20).

Tabla 3.20. Datos reales y modelados de los subsistemas del CEDIS.

Subsistema del CEDIS	Sistema Real (min)	Modelo de Simulación (min)
Recibo	$n_1 = 30$	$n_2 = 5$
	$\mu_1 = 296.74$	$\mu_2 = 313.88$
	$S_1 = 74.2647$	$S_2 = 35.19$
Resurtido	$n_1 = 20$	$n_2 = 21$
	$\mu_1 = 24.6285$	$\mu_2 = 26.63$
	$S_1 = 4.76517$	$S_2 = 6.50$
Picking	$n_1 = 19$	$n_2 = 5$
	$\mu_1 = 27.9826$	$\mu_2 = 27.29$
	$S_1 = 4.2166$	$S_2 = 2.56$
Empaque	$n_1 = 11$	$n_2 = 5$
	$\mu_1 = 7.02212$	$\mu_2 = 7.29$
	$S_1 = 0.75103$	$S_2 = 0.53$

El planteamiento de la hipótesis nula y la alternativa para cada uno de los procesos a analizar se muestra en la tabla 3.21.

Tabla 3.21. Planteamiento de hipótesis para cada uno de los subsistemas del CEDIS.

RECIBO	RESURTIDO	PICKING	EMPAQUE
$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
$H_i: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	$H_i: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	$H_i: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	$H_i: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Para este trabajo se estableció el nivel de significancia como $\alpha = 0.05$ y el estadístico de prueba es “Z” debido a que se conocen las desviaciones estándares de las poblaciones. En éste

caso la región crítica está en dos colas teniendo en cuenta la hipótesis alternativa planteada (ver tabla 3.22).

Tabla 3.22. Valor del estadístico de prueba de cada subsistema.

SUBSISTEMA	APLICACIÓN DE FORMULA	RESULTADO
RECIBO	$Z = \frac{(296.74 - 313.88) - 0}{\sqrt{\left(\frac{74.2647^2}{30}\right) + \left(\frac{35.19^2}{5}\right)}}$	Z= -0.8251
RESURTIDO	$Z = \frac{(24.6285 - 26.63) - 0}{\sqrt{\left(\frac{4.76517^2}{20}\right) + \left(\frac{6.50^2}{21}\right)}}$	Z= -1.1282
PICKING	$Z = \frac{(27.9826 - 27.29) - 0}{\sqrt{\left(\frac{4.2166^2}{19}\right) + \left(\frac{2.56^2}{5}\right)}}$	Z= 0.4620
EMPAQUE	$Z = \frac{(7.02212 - 7.29) - 0}{\sqrt{\left(\frac{0.75103^2}{11}\right) + \left(\frac{0.53^2}{5}\right)}}$	Z= -0.8171

Para determinar la región crítica se buscan los valores críticos en la tabla de distribución normal (ver tabla 3.23) y posteriormente se elabora la gráfica y se ubica el valor estadístico encontrado para cada uno de los procesos (ver figura 3.19).

Tabla 3.23. Distribución Normal.

Normal Deviate z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-4.0	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.8	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.7	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
-3.6	.0002	.0002	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
-3.5	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
-3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
-3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003
-3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
-3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
-3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
-2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294

Por lo tanto la región crítica es la siguiente:

$$Z < -1.96 \text{ y } Z > 1.9$$

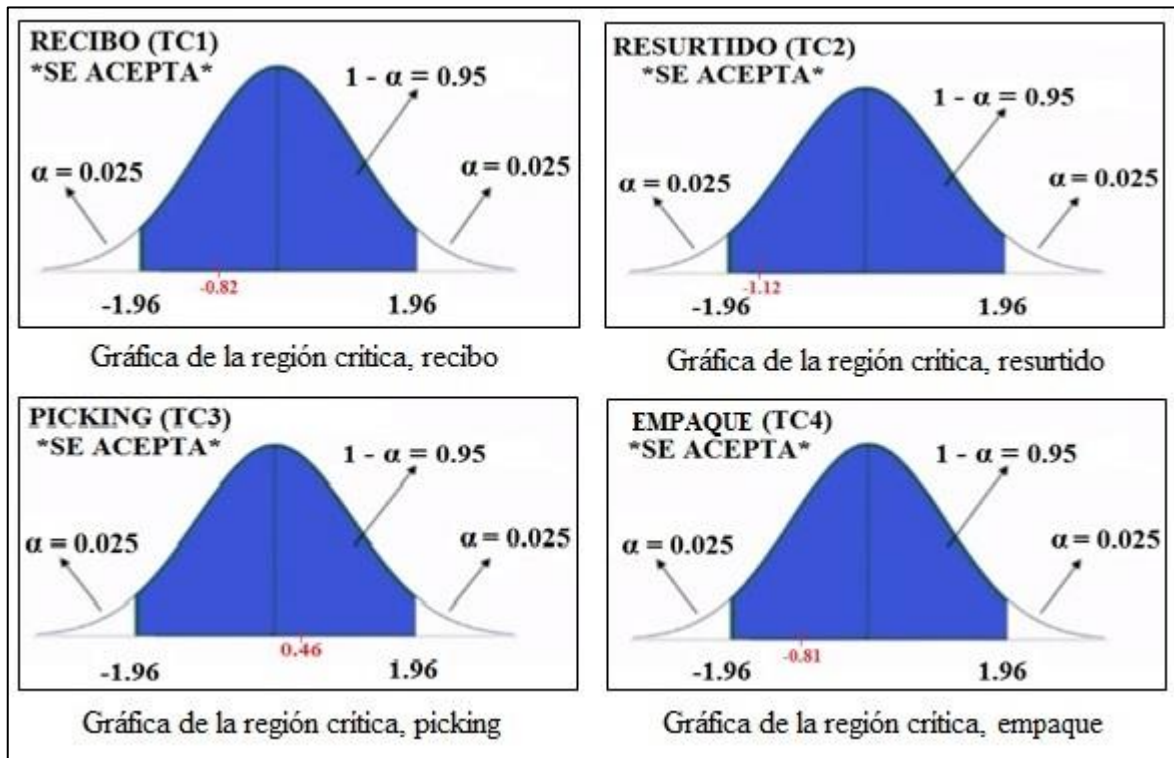


Figura: 3.19. Graficas de los valores críticos.

Se observa que los valores se encuentran dentro de la región de confianza. Por lo tanto, la decisión es aceptar H_0 y rechazar H_1 para todos los procesos del CEDIS que se están analizando. Se comprueba que la simulación funciona correctamente conforme a las especificaciones del modelo conceptual y por lo tanto es válida.

CAPÍTULO 4

SIMULACIÓN EXPERIMENTAL Y DOE

4. Introducción

En este capítulo también llamado etapa de experimentación se proponen cinco posibles alternativas de solución, se programan y se analizan por medio de diseño de experimentos para elegir la solución más óptima. Para el desarrollo de los modelos experimentales no se desarrolla la validación, ya que siendo una nueva propuesta no es posible realizar comparaciones contra un sistema inexistente.

4.1. Desarrollo de las alternativas de posible solución

4.1.1. Alternativa 1 (A1)

Descripción:

En esta propuesta 1 se trabaja con lo que ya se tiene donde solo se reestructura el diseño de la distribución interna de las áreas de trabajo. Se observa en la figura 4.1 que algunas locaciones se cambiaron de lugar para lograr un flujo en forma de U con muelles separados, los recursos son los mismos y realizan las mismas actividades por lo tanto el proceso se mantiene igual, la mayor diferencia que resalta en esta propuesta es que al cambiar las locaciones inmediatamente se modifican las distancias y los tiempos de recorrido, esperando que estos sean menores que el modelo original.

En la tabla 4.1 y en la figura 4.2 se puede observar que para esta propuesta, los elementos del modelo de simulación y el modelo conceptual son los mismos que el original, como se mencionó. Se mostró la propuesta a las autoridades del CEDIS y se mostraron interesados ya que no tendrían que realizar ninguna inversión.

Tabla 4.1. Continuación.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A1)	
Recursos	Equipo: montacargas <ul style="list-style-type: none"> • Mont1 • Mont2 • Mont3 • Picker1 Personas: <ul style="list-style-type: none"> • Supervisor
Colas	<ul style="list-style-type: none"> • Cola de espera de órdenes para ser recolectadas, por falta de operadores o recursos. • Cola de espera de cajas por cerrar. • Cola de espera en cajas por abrir. • Cola de espera de paquetes en entrada por recibir.
Eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio de las operaciones del CEDIS. • Inicio y fin de cajas surtidas. • Inicio y fin de recibo de camión con producto (descarga y almacenamiento). • Interrupción por 40 min de tiempo de comida. • Término de las operaciones de CEDIS.

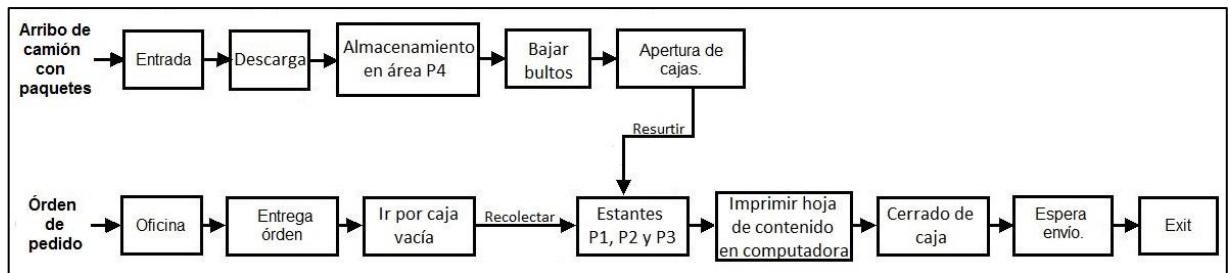


Figura 4.2. Modelo conceptual del sistema, alternativa 1.

Posteriormente se construye el modelo de simulación para la propuesta 1 en el software ProModel® (ver tabla 4.2), en la figura 4.3 se muestra una imagen de la animación y finalmente se registran los resultados de tiempo en minutos obtenidos para cada subsistema que se está analizando (ver tabla 4.3).

Tabla 4.2. Programación de la alternativa 1 en ProModel®.

```

*****
*                                     *
*               Formatted Listing of Model:               *
* C:\Users\admin\Documents\SEMESTRE 4\Modelo simulacion\PROPUESTA 1 SOLUCION 1.mod *
*                                     *
*****

Time Units:           Minutes
Distance Units:      Meters

*****
*                                     *
*                               Locations                               *
*                                     *
*****

Name      Cap  Units  Stats      Rules      Cost
-----
ENTRADA   10000  1      Time Series Oldest, ,
DESCARGA  1        1      Time Series Oldest, ,
ALMACEN_BULTOS 1000  1      Time Series Oldest, ,
APERTURA_CAJAS 10     1      Time Series Oldest, ,
CERRADO_CAJAS 10     1      Time Series Oldest, ,
OPEN_PICK 250     1      Time Series Oldest, ,
SIDE_LOAD 250     1      Time Series Oldest, ,
TEMPLADOS 250     1      Time Series Oldest, ,
OFICINA   1000    1      Time Series Oldest, ,
ENTREGA_ORDEN 1       1      Time Series Oldest, ,
CAJAS_UACIAS 10     1      Time Series Oldest, ,
COMPUTADORA 1       1      Time Series Oldest, ,
ESPERA_ENVIO 100    1      Time Series Oldest, ,
BAJAR    1       1      Time Series Oldest, ,

*****
*                                     *
*                               Entities                               *
*                                     *
*****

Name      Speed (mpn)  Stats      Cost
-----
CAJA      150              Time Series
PAQUETE   150              Time Series
BULTO     150              Time Series
ORDEN     150              Time Series

*****
*                                     *
*                               Path Networks                          *
*                                     *
*****

Name      Type      I/S      Fron      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
NETSUPERVISOR Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      18.61      1
NETMONT1  Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      18.235     1
NETMONT2  Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      6.175      1
           N2      N4      Bi      27.7       1
           N4      N6      Bi      2.00       1
           N5      N4      Bi      4.00       1
           N5      N7      Bi      33.625     1
NETPICKER  Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      10.5315    1
           N2      N4      Bi      4.00       1
           N2      N6      Bi      4.96       1
           N6      N8      Bi      4.96       1
           N6      N10     Bi      33.05      1
           N10     N12     Bi      12.725     1
           N12     N14     Bi      3.00       1
           N8      N5      Bi      16.525     1
           N5      N9      Bi      16.525     1
           N9      N10     Bi      3.72       1
           N9      N16     Bi      3.72       1
           N16     N18     Bi      11.4875    1
           N8      N13     Bi      4.96       1
           N13     N17     Bi      12.350     1
           N17     N20     Bi      4.00       1
           N7      N5      Bi      2.00       1
           N18     N21     Bi      2.00       1
           N16     N15     Bi      33.05      1
           N15     N13     Bi      3.00       1
           N15     N19     Bi      4.00       1
NETMONT3  Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      12.4875    1
           N2      N4      Bi      8.88       1
           N4      N6      Bi      11.426     1
           N6      N8      Bi      3.9815     1
           N6      N10     Bi      8.318      1
           N10     N12     Bi      8.318      1
           N12     N14     Bi      8.318      1
           N14     N16     Bi      21.5625    1
           N17     N10     Bi      16.525     1
           N12     N20     Bi      33.05      1
           N20     N22     Bi      16.525     1
           N22     N24     Bi      3.00       1
           N3      N16     Bi      2.00       1
           N17     N7      Bi      4.00       1
           N20     N9      Bi      6.00       1
           N9      N17     Bi      16.525     1

```

Tabla 4.2. Continuación.

***** * Interfaces ******			
Net	Node	Location	
NETSUPERVISOR	N2	ENTREGA_ORDEN	
	N1	OFICINA	
NETMONT1	N1	CERRADO_CAJAS	
	N2	ESPERA_ENUIO	
NETMONT2	N1	ENTRADA	
	N2	DESCARGA	
	N6	ALMACEN_BULTOS	
	N5	BAJAR	
	N7	APERTURA_CAJAS	
NETPICKER	N1	ENTREGA_ORDEN	
	N4	COMPUTADORA	
	N19	CAJAS_UACIAS	
	N20	CERRADO_CAJAS	
	N7	OPEN_PICK	
NETMONT3	N14	SIDE_LOAD	
	N21	TEMPLADOS	
	N1	BAJAR	
	N8	APERTURA_CAJAS	
	N7	SIDE_LOAD	
	N24	OPEN_PICK	
	N3	TEMPLADOS	
***** * Mapping ******			
Net	From	To	Dest
NETMONT2	N4	N2	
	N4	N6	
	N4	N5	
NETPICKER	N2	N1	
	N6	N2	
	N8	N6	
	N10	N6	
	N5	N8	
	N9	N10	
	N16	N9	
	N13	N8	
	N15	N13	
	N2	N4	
	N2	N6	
	N6	N10	
	N8	N5	
	N10	N12	
	N5	N9	
	N15	N16	
	N6	N8	
	N8	N13	
	N10	N9	
	N9	N5	
	N16	N15	
	N13	N17	
	N5	N7	
	N9	N16	
	N16	N18	
	N13	N15	
	N15	N19	
NETMONT3	N4	N2	
	N6	N4	
	N10	N6	
	N12	N10	
	N14	N12	
	N17	N10	
	N20	N9	
	N9	N17	
	N4	N6	
	N6	N8	
	N6	N10	
	N10	N17	
	N12	N20	
	N17	N9	
	N20	N22	
	N9	N20	
	N4	N6	
	N6	N8	
	N6	N10	
	N10	N17	
	N12	N20	
	N17	N9	
	N20	N22	
	N9	N20	
	N10	N12	
	N12	N14	
	N14	N16	
N20	N12		
N17	N7		

Tabla 4.2. Continuación.

```

*****
*                               Resources                               *
*****

```

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
MONT1	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT1 Home: N1 <Return>	Empty: 15.8565 mpm Full: 15.8565 mpm	
MONT2	1	By Unit	Closest	Max	NETMONT2 Home: N6 <Return>	Empty: 66.1137 mpm Full: 66.11.37 mpm	
MONT3	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT3 Home: N8 <Return>	Empty: 63.7654 mpm Full: 63.7654 mpm	
PICKER1	1	By Unit	Closest	Max	NETPICKER Home: N1 <Return>	Empty: 118.82 mpm Full: 118.82 mpm	
SUPERVISOR 1		By Unit	Closest	Oldest	NETSUPERVISOR Home: N1 <Return>	Empty: 20 mpm Full: 20 mpm	

```

*****
*                               Clock downtimes for Resources          *
*****

```

Res	Frequency	First Time	Priority	Scheduled	Node	List	Disable	Logic
MONT1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT2	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT3	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
PICKER1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
SUPERVISOR	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN

```

*****
*                               Processing                               *
*****

```

Entity	Location	Process	Routing				
			Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
PAQUETE	ENTRADA	TC1 = CLOCK (<) WAIT 78.+L<42.0,35.3> MIN	1	PAQUETE	DESCARGA	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
PAQUETE	DESCARGA	GET MONT2 WAIT 5.+L<6.05,5.04> MIN FREE MONT2 A2 = 1	1	PAQUETE	ALMACEN_BULTOS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
PAQUETE BULTO	ALMACEN_BULTOS ALMACEN_BULTOS	SPLIT 2 AS BULTO GET MONT2 WAIT L<3.14,2.15> MIN FREE MONT2 ACCUM 20 A2 = 2 LOG "TIEMPO TOTAL DE RECIBO", TC1	1	BULTO	BAJAR	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
BULTO	BAJAR	TC2 = CLOCK (<) GET MONT2 WAIT 1.+L<12.3,13.7> MIN FREE MONT2 A2 = 3	1	BULTO	APERTURA_CAJAS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
BULTO CAJA	APERTURA_CAJAS APERTURA_CAJAS	SPLIT 2 AS CAJA WAIT 2.+L<4.09,2.56> MIN	1	CAJA CAJA CAJA	OPEN_PICK SIDE_LOAD TEMPLADOS	0.700000 1 0.200000 0.100000	MOVE WITH MONT3 THEN FREE MOVE WITH MONT3 THEN FREE MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	OPEN_PICK	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN LOG "TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO", TC2	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
CAJA	SIDE_LOAD	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
CAJA	TEMPLADOS	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
ORDEN	OFICINA	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	ENTREGA_ORDEN	FIRST 1	MOVE WITH SUPERVISOR THEN FREE
ORDEN	ENTREGA_ORDEN	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	CAJAS_UACIAS	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	CAJAS_UACIAS	TC3 = CLOCK (<) GET PICKER1 WAIT 1<0.,0.352,6.8> MIN FREE PICKER1 A1 = 1 GRAPHIC 2	1	ORDEN ORDEN ORDEN	OPEN_PICK SIDE_LOAD TEMPLADOS	0.700000 1 0.100000 0.200000	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE MOVE WITH PICKER1 THEN FREE MOVE WITH PICKER1 THEN FREE

Tabla 4.2. Continuación.

```

***** Processing *****
*

```

Entity	Location	Process	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
ORDEN	OPEN_PICK	GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4> MIN FREE PICKER1 A1 = 2					
ORDEN	SIDE_LOAD	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4> MIN FREE PICKER1 A1 = 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOUE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	TEMPLADOS	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4> MIN FREE PICKER1 A1 = 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOUE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	COMPUTADORA	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT L<2.,0.879> MIN FREE PICKER1 A1 = 3	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOUE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	CERRADO_CAJAS	GRAPHIC 2 LOG "TIEMPO PICKING DE CAJA", TC3 TC4 = CLOCK (< WAIT 3.+L<3.02,2.56> MIN	1	ORDEN	CERRADO_CAJAS	FIRST 1	MOUE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	ESPERA_ENUIO	GRAPHIC 3 LOG "CERRADO DE CAJA", TC4 WAIT L<1.24,1.03> MIN	1	ORDEN	ESPERA_ENUIO	FIRST 1	MOUE WITH MONT1 THEN FREE
			1	ORDEN	EXIT	FIRST 1	

```

***** Arrivals *****
*

```

Entity	Location	Qty	Each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
PAQUETE	ENTRADA	10		0	1	32 HR	
ORDEN	OFICINA	U<32.1,21.1>		0	1	24 HR	
CAJA	APERTURA_CAJAS	4		0	1	24 HR	

```

***** Attributes *****
*

```

ID	Type	Classification
A1	Integer	Entity
A2	Integer	Entity
TC1	Real	Entity
TC2	Real	Entity
TC3	Real	Entity
TC4	Real	Entity

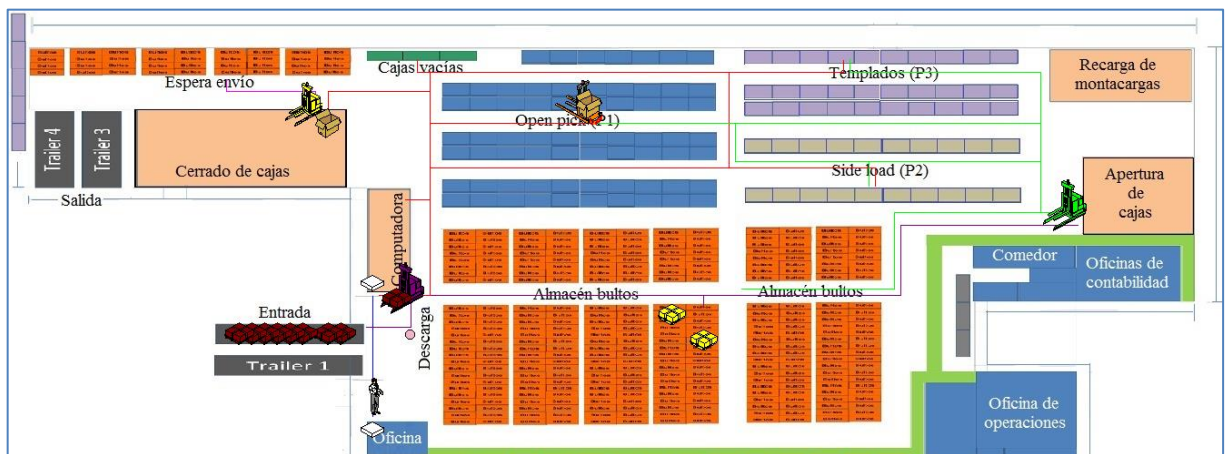


Figura 4.3. Animación de la simulación de la alternativa 1.

Tabla 4.3. Resultados de salida de la simulación de la alternativa 1.

LOGS

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	324.80	324.80	324.80	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	278.22	278.22	278.22	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	238.47	238.47	238.47	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	268.18	268.18	268.18	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	281.73	281.73	281.73	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	247.15	247.15	247.15	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	326.85	326.85	326.85	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	333.90	333.90	333.90	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	265.90	265.90	265.90	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	322.48	322.48	322.48	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	247.48	247.48	247.48	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	271.01	271.01	271.01	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	275.53	275.53	275.53	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	259.64	259.64	259.64	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	356.91	356.91	356.91	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	272.09	272.09	272.09	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	256.08	256.08	256.08	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	274.05	274.05	274.05	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	280.96	280.96	280.96	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	330.05	330.05	330.05	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	285.57	285.57	285.57	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	0	34.10	34.10	34.10	(Std. Dev.)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	11.15	30.26	20.66	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	8.50	60.00	21.70	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	7.54	73.53	28.32	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	12	12.71	111.52	38.64	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	23	6.30	54.51	22.67	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	23	11.10	56.68	23.25	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	9	13.40	66.44	26.34	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	27	10.23	31.76	19.63	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	7.57	70.17	32.21	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	15	6.68	49.21	25.44	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	9.52	88.94	31.41	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	28	8.24	62.80	25.34	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	14	8.23	61.77	28.90	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	25	10.90	61.68	29.71	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	13.88	46.91	25.73	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	12.67	60.85	24.25	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	15	11.37	62.14	33.10	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	8.29	57.71	21.76	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	11	8.99	56.84	24.99	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	15	8.49	24.81	17.83	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18.15	9.79	59.43	26.09	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	5.41	2.26	19.32	5.13	(Std. Dev.)

Tabla 4.3. Continuación.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	8.82	63.48	23.84	(Rep 1)
TIEMPO PICKING DE CAJA	20	7.63	67.23	22.93	(Rep 2)
TIEMPO PICKING DE CAJA	15	13.81	74.50	29.02	(Rep 3)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	9.54	53.19	27.02	(Rep 4)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	9.47	76.82	28.20	(Rep 5)
TIEMPO PICKING DE CAJA	11	14.23	32.52	23.75	(Rep 6)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	10.52	68.00	25.15	(Rep 7)
TIEMPO PICKING DE CAJA	14	9.67	74.93	26.00	(Rep 8)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	7.71	66.98	27.09	(Rep 9)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	7.12	76.90	26.88	(Rep 10)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	9.42	64.82	27.06	(Rep 11)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	11.59	60.36	25.22	(Rep 12)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	6.97	66.57	26.13	(Rep 13)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	8.19	73.36	25.01	(Rep 14)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	6.86	82.01	28.58	(Rep 15)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	8.36	55.63	22.38	(Rep 16)
TIEMPO PICKING DE CAJA	15	13.31	66.31	30.17	(Rep 17)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	7.82	83.54	28.24	(Rep 18)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	12.88	65.89	28.43	(Rep 19)
TIEMPO PICKING DE CAJA	15	13.20	70.37	27.24	(Rep 20)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16.35	9.86	67.17	26.42	(Average)
TIEMPO PICKING DE CAJA	1.87	2.46	11.32	2.12	(Std. Dev.)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	18	4.46	17.95	7.19	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	19	4.66	17.51	7.24	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	15	5.21	42.61	8.98	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	4.37	43.56	9.01	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	5.01	13.43	6.97	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	11	4.78	12.55	7.92	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	18	4.90	10.29	6.61	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	14	4.59	11.49	6.73	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.61	10.15	6.33	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	5.64	16.82	7.75	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.40	21.76	7.86	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	18	4.88	13.02	6.97	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	4.64	9.36	6.85	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	4.35	16.94	6.47	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.79	11.24	6.48	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	5.00	45.81	8.79	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	15	4.55	9.00	6.02	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.66	16.83	7.40	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.79	23.18	8.28	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	15	4.58	13.36	7.18	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16.15	4.74	18.84	7.35	(Average)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	1.72	0.31	11.52	0.88	(Std. Dev.)

En la tabla 4.4 se corrobora si son suficientes 20 corridas para la alternativa 1.

Tabla 4.4. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 1.

SUBSISTEMA	FÓRMULA PARA CONOCER EL TAMAÑO DE MUESTRA	DATOS	RESULTADO
RECIBO	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 34.10$ $\bar{X} = 285.57$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(34.10)}{(0.15)(285.57)} \right)^2 = 3$
RESURTIDO	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 5.13$ $\bar{X} = 26.09$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(5.13)}{(0.15)(26.09)} \right)^2 = 8$
PICKING	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 2.12$ $\bar{X} = 26.42$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(2.12)}{(0.15)(26.42)} \right)^2 = 1$
EMPAQUE	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 0.88$ $\bar{X} = 7.35$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(0.88)}{(0.15)(7.35)} \right)^2 = 3$

4.1.2. Alternativa 2 (A2)

Descripción:

En esta segunda propuesta si se realiza una modificación física a las instalaciones donde el muelle que originalmente era de salida ahora es el muelle de entrada, donde antes era el muelle de entrada se cierra y el muelle de salida para esta propuesta 2 se cambia de lugar al lado opuesto tal como se muestra en la figura 4.4, los recursos son los mismos y realizan las mismas actividades por lo tanto el proceso se mantiene igual, la mayor diferencia que resalta en esta propuesta es que al cambiar las locaciones inmediatamente se modifican las distancias y los tiempos de recorrido, esperando que estos sean menores que el modelo original.

En la tabla 4.5 y en la figura 4.5 se puede observar que para esta propuesta, los elementos del modelo de simulación y el modelo conceptual son los mismos que el original, como se mencionó no se cambia nada en la forma de operar, sólo se modifican las instalaciones. Se les mostró la propuesta a las autoridades del CEDIS y mencionaron que se cuenta con los recursos

económicos para llevarlo a cabo en caso de que se demuestre un beneficio significativo, como la reducción de los tiempos de ciclo de los subprocessos.

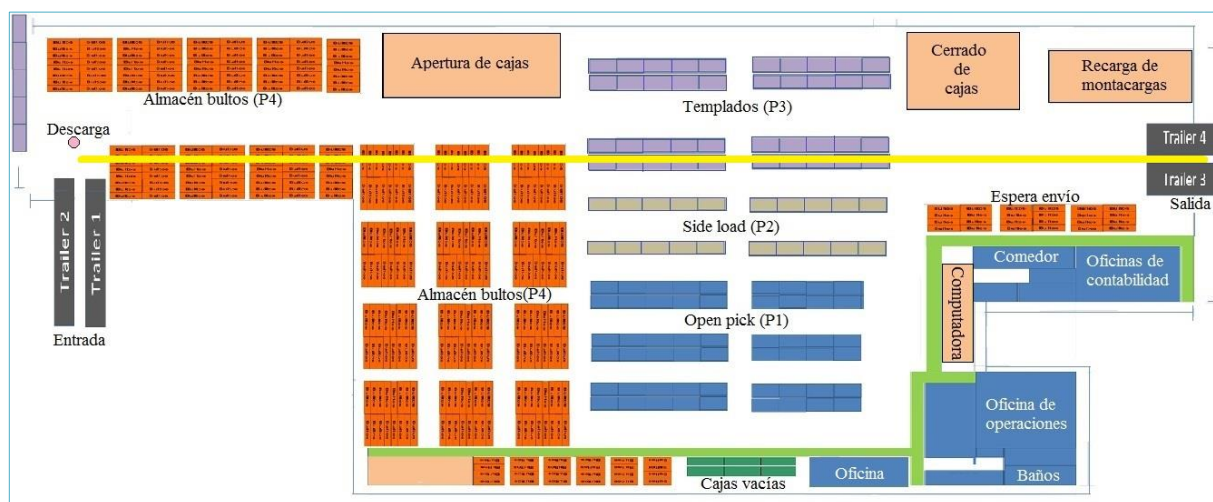


Figura 4.4. Diseño del flujo en forma de línea recta, alternativa 2.

Tabla 4.5. Elementos del modelo de simulación de la alternativa 2.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A2)	
Entidades	<ul style="list-style-type: none"> • Caja • Orden • Paquete • Bulto
Locaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada • Descarga • Almacén_Bultos • Bajar • Apertura_Cajas • Open_pick • Side_load • Templados • Oficina • Entrega_Orden • Cajas_Vacías • Cerrado_Cajas • Espera_Envío • Computadora
Atributos	<ul style="list-style-type: none"> • A1 (máximo atributo para el recurso picker1) • A2 (máximo atributo para el recurso mont2) • TC1 (Tiempo de ciclo del subsistema de recibo) • TC2 (Tiempo de ciclo del subsistema de resurtido) • TC3 (Tiempo de ciclo del subsistema de picking)

Tabla 4.5. Continuación.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A2)	
	<ul style="list-style-type: none"> • TC4 (Tiempo de ciclo del subsistema de cerrado)
Arribos	<ul style="list-style-type: none"> • Paquete – Entrada • Orden – Oficina • Caja – Apertura_cajas
Recursos	Equipo: montacargas <ul style="list-style-type: none"> • Mont1 • Mont2 • Mont3 • Picker1 Personas: <ul style="list-style-type: none"> • Supervisor
Colas	<ul style="list-style-type: none"> • Cola de espera de órdenes para ser recolectadas, por falta de operadores o recursos. • Cola de espera de cajas por cerrar. • Cola de espera en cajas por abrir. • Cola de espera de paquetes en entrada por recibir.
Eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio de las operaciones del CEDIS. • Inicio y fin de cajas surtidas. • Inicio y fin de recibo de camión con producto (descarga y almacenamiento). • Interrupción por 40 min de tiempo de comida • Término de las operaciones de CEDIS.

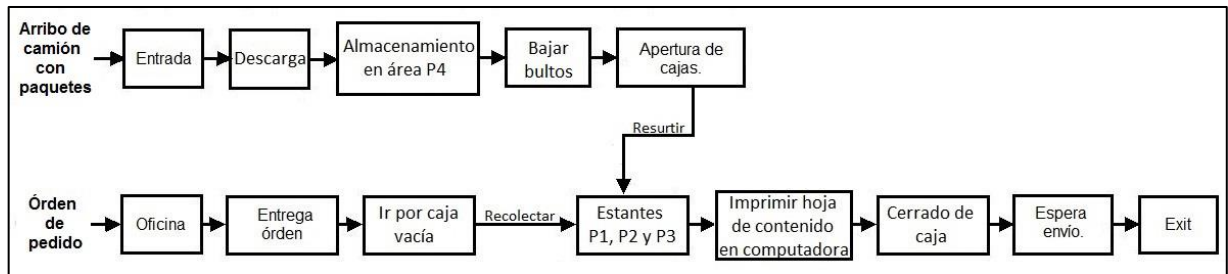


Figura 4.5 Modelo conceptual del sistema de la alternativa 2.

Posteriormente se construye el modelo de simulación para la propuesta 2 en el software ProModel® (ver tabla 4.6), en la figura 4.6 se muestra una imagen de la animación y finalmente se registran los resultados de tiempo en minutos obtenidos para cada subsistema que se está analizando (ver tabla 4.7).

Tabla 4.6. Programación de la alternativa 2 en ProModel®.

```

*****
*                                     *
*               Formatted Listing of Model:                *
* C:\Users\admin\Documents\SEMESTRE 4\Modelo simulación PROPUESTA 2 SOLUCION 1.mod *
*                                     *
*****

Time Units:           Minutes
Distance Units:      Meters

*****
*                                     *
*                               Locations                       *
*                                     *
*****

Name      Cap  Units  Stats      Rules      Cost
-----
ENTRADA   10000  1      Time Series Oldest, ,
DESCARGA  1         1      Time Series Oldest, ,
ALMACEN_BULTOS 1000  1      Time Series Oldest, ,
BAJAR     1         1      Time Series Oldest, ,
APERTURA_CAJAS 10     1      Time Series Oldest, ,
CERRADO_CAJAS 10     1      Time Series Oldest, ,
ESPERA_ENUIO 100    1      Time Series Oldest, ,
OPEN_PICK 250    1      Time Series Oldest, ,
SIDE_LOAD 250    1      Time Series Oldest, ,
TEMPLADOS 250    1      Time Series Oldest, ,
COMPUTADORA 1       1      Time Series Oldest, ,
OFICINA   1000   1      Time Series Oldest, ,
ENTREGA_ORDEN 1       1      Time Series Oldest, ,
CAJAS_VACIAS 10     1      Time Series Oldest, ,

*****
*                                     *
*                               Entities                       *
*                                     *
*****

Name      Speed <mpm>  Stats      Cost
-----
CAJA      150              Time Series
ORDEN     150              Time Series
PAQUETE   150              Time Series
BULTO     150              Time Series

*****
*                                     *
*                               Path Networks                   *
*                                     *
*****

Name      Type      T/S      From      To      BI      Dist/Time  Speed Factor
-----
NETSUPERVISOR Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      4.7         1
NETMONT1   Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      18.6        1
NETPICKER  Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      6.7         1
           N2      N4      Bi      2.00        1
           N7      N8      Bi      12.602     1
           N9      N10     Bi      7.444      1
           N7      N12     Bi      15.575     1
           N12     N14     Bi      7.4444     1
           N14     N16     Bi      5.3         1
           N14     N18     Bi      7.019      1
           N18     N20     Bi      7.444      1
           N20     N22     Bi      14.88      1
           N23     N24     Bi      19.295     1
           N8      N9      Bi      3.00        1
           N9      N18     Bi      15.575     1
           N10     N20     Bi      15.575     1
           N10     N23     Bi      11.16      1
           N24     N34     Bi      3.00        1
           N7      N6      Bi      1.00        1
           N6      N2      Bi      14.749     1
           N7      N5      Bi      3.00        1
           N8      N11     Bi      3.00        1
           N23     N13     Bi      3.00        1
NETMONT2   Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      6.00        1
           N2      N4      Bi      27.0125   1
           N4      N6      Bi      3.00        1
           N4      N8      Bi      12.7275   1
           N8      N10     Bi      14.6735   1
           N11     N8      Bi      1.00        1
           N2      N12     Bi      1.00        1
NETMONT3   Passing  Speed & Distance N1      N2      Bi      5.00        1
           N4      N8      Bi      7.44       1
           N8      N10     Bi      7.44       1
           N10     N12     Bi      7.444     1
           N12     N14     Bi      2           1
           N14     N16     Bi      10.463    1
           N16     N18     Bi      2           1
           N18     N20     Bi      2.00        1
           N3      N8      Bi      2.00        1
           N5      N14     Bi      2.00        1
           N2      N9      Bi      18.525    1
           N9      N4      Bi      15.575    1
           N2      N11     Bi      4.00        1
           N9      N15     Bi      14.88      1
           N15     N21     Bi      7.444     1
           N21     N23     Bi      14.463    1
           N16     N23     Bi      15.575    1
           N21     N12     Bi      15.575    1
           N10     N15     Bi      15.575    1

```

Tabla 4.6. Continuación.

***** Interfaces *****			
Net	Node	Location	
NETSUPERVISOR	N1	OFICINA	
	N2	ENTREGA_ORDEN	
NETMONT1	N1	CERRADO_CAJAS	
	N2	ESPERA_ENUIO	
NETPICKER	N1	ENTREGA_ORDEN	
	N4	CAJAS_UACIAS	
	N5	OPEN_PICK	
	N11	SIDE_LOAD	
	N13	TEMPLADOS	
	N34	CERRADO_CAJAS	
NETMONT2	N16	COMPUTADORA	
	N1	ENTRADA	
	N12	DESCARGA	
	N6	APERTURA_CAJAS	
NETMONT3	N11	BAJAR	
	N10	ALMACEN_BULTOS	
	N1	APERTURA_CAJAS	
	N11	BAJAR	
	N3	TEMPLADOS	
	N5	SIDE_LOAD	
	N20	OPEN_PICK	
***** Mapping *****			
Net	From	To	Dest
NETPICKER	N2	N1	
	N6	N2	
	N7	N6	
	N8	N7	
	N9	N8	
	N10	N9	
	N12	N7	
	N14	N12	
	N18	N14	
	N20	N18	
	N23	N10	
	N2	N4	
	N2	N6	
	N6	N7	
	N7	N12	
	N8	N9	
	N9	N18	
	N10	N20	
	N12	N14	
	N14	N16	
	N7	N8	
	N9	N10	
	N10	N23	
	N14	N18	
	N18	N20	
	N20	N10	
	N23	N24	
	N7	N5	
	N8	N11	
	N18	N9	
	N23	N13	
	NETMONT2	N2	N1
N4		N2	
N8		N4	
N2		N4	
N4		N6	
N4		N8	
N8		N10	
NETMONT3	N8	N11	
	N2	N12	
	N2	N1	
	N4	N9	
	N8	N4	
	N10	N8	
	N12	N21	
	N14	N12	
	N16	N14	
	N9	N2	
	N15	N9	
	N21	N15	
	N23	N21	
	N2	N9	
	N4	N8	
	N8	N10	
	N10	N12	
N12	N14		
N14	N16		
N16	N18		
N9	N15		
N15	N21		
N21	N12		
N23	N16		
N8	N3		
N12	N10		
N9	N4		
N15	N10		
N14	N5		
N2	N11		

Tabla 4.6. Continuación.

```

*****
*                               Resources                               *
*****

```

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
SUPERVISOR	1	By Unit	Closest	Oldest	NETSUPERVISOR	Empty: 20 mpm Full: 20 mpm	
PICKER1	1	By Unit	Closest	Max	NETPICKER	Empty: 118.82 mpm Full: 118.82 mpm	
MONT1	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT1	Empty: 15.8565 mpm Full: 15.8565 mpm	
MONT2	1	By Unit	Closest	Max	NETMONT2	Empty: 66.1137 mpm Full: 66.1137 mpm	
MONT3	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT3	Empty: 63.7654 mpm Full: 63.7654 mpm	

```

*****
*                               Clock downtimes for Resources         *
*****

```

Res	Frequency	First Time	Priority	Scheduled	Node	List	Disable	Logic
SUPERVISOR	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
PICKER1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT2	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT3	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN

```

*****
*                               Processing                               *
*****

```

Entity	Location	Process		Routing			Move	Logic
		Operation	Blk	Output	Destination	Rule		
PAQUETE	ENTRADA	TC1 = CLOCK (<) WAIT 78.+L<42.8,35.3> MIN	1	PAQUETE	DESCARGA	FIRST 1	MOVE WITH MONT2	THEN FREE
PAQUETE	DESCARGA	GET MONT2 WAIT 5.+L<6.05,5.04> MIN FREE MONT2 A2 = 1	1	PAQUETE	ALMACEN_BULTOS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2	THEN FREE
PAQUETE BULTO	ALMACEN_BULTOS	SPLIT 2 AS BULTO GET MONT2 WAIT L<3.14,2,15> MIN FREE MONT2 ACCUM 20 A2 = 2 LOG "TIEMPO TOTAL DE RECIBO". TC1	1	BULTO	BAJAR	FIRST 1	MOVE WITH MONT2	THEN FREE
BULTO	BAJAR	TC2 = CLOCK (<) GET MONT2 WAIT 1.+L<12.3,13.7> MIN FREE MONT2 A2 = 3	1	BULTO	APERTURA_CAJAS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2	THEN FREE
BULTO CAJA	APERTURA_CAJAS	SPLIT 2 AS CAJA WAIT 2.+L<4.09,2.56> MIN	1	CAJA	OPEN_PICK	0.700000 1	MOVE WITH MONT3	THEN FREE
				CAJA	SIDE_LOAD	0.200000	MOVE WITH MONT3	THEN FREE
				CAJA	TEMPLADOS	0.100000	MOVE WITH MONT3	THEN FREE
CAJA	OPEN_PICK	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN LOG "TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO". TC2	1	CAJA	EXIT	FIRST 1		
CAJA	SIDE_LOAD	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1		
CAJA	TEMPLADOS	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1		
ORDEN	OFICINA	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	ENTREGA_ORDEN	FIRST 1	MOVE WITH SUPERVISOR	THEN FREE
ORDEN	ENTREGA_ORDEN	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	CAJAS_UACIAS	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1	THEN FREE
ORDEN	CAJAS_UACIAS	TC3 = CLOCK (<) GET PICKER1 WAIT 1<0.,0.352,6.8>MIN FREE PICKER1 A1 = 1 GRAPHIC 2	1	ORDEN	OPEN_PICK	0.700000 1	MOVE WITH PICKER1	THEN FREE
				ORDEN	SIDE_LOAD	0.100000	MOVE WITH PICKER1	THEN FREE
				ORDEN	TEMPLADOS	0.200000	MOVE WITH PICKER1	THEN FREE
ORDEN	OPEN_PICK	GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4> MIN FREE PICKER1 A1 = 2						
ORDEN	SIDE_LOAD	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4>MIN FREE PICKER1 A1 = 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1	THEN FREE

Tabla 4.6. Continuación.

```

*****
*                               Processing                               *
*****

```

Entity	Location	Process		Routing			Move Logic
		Operation	Blk	Output	Destination	Rule	
ORDEN	TEMPLADOS	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4>MIN FREE PICKER1 A1 = 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	COMPUTADORA	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT L<2.,0.879> MIN FREE PICKER1 A1 = 3	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	CERRADO_CAJAS	GRAPHIC 2 LOG "TIEMPO PICKING DE CAJA", TC3 TC4 = CLOCK (<) WAIT 3.+L<3.02,2.56> MIN	1	ORDEN	CERRADO_CAJAS	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	ESPERA_ENVIO	GRAPHIC 3 LOG "TIEMPO DE CERRADO DE CAJA", TC4 WAIT L<1.24,1.03> MIN	1	ORDEN	ESPERA_ENVIO	FIRST 1	MOVE WITH MONT1 THEN FREE
			1	ORDEN	EXIT	FIRST 1	

```

*****
*                               Arrivals                               *
*****

```

Entity	Location	Qty	Each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
PAQUETE	ENTRADA	10		0	1	32 HR	
ORDEN	OFICINA		U <32.1,21.1>	0	1	24 HR	
CAJA	APERTURA_CAJAS	4		0	1	24 HR	

```

*****
*                               Attributes                               *
*****

```

ID	Type	Classification
A1	Integer	Entity
A2	Integer	Entity
TC1	Real	Entity
TC2	Real	Entity
TC3	Real	Entity
TC4	Real	Entity

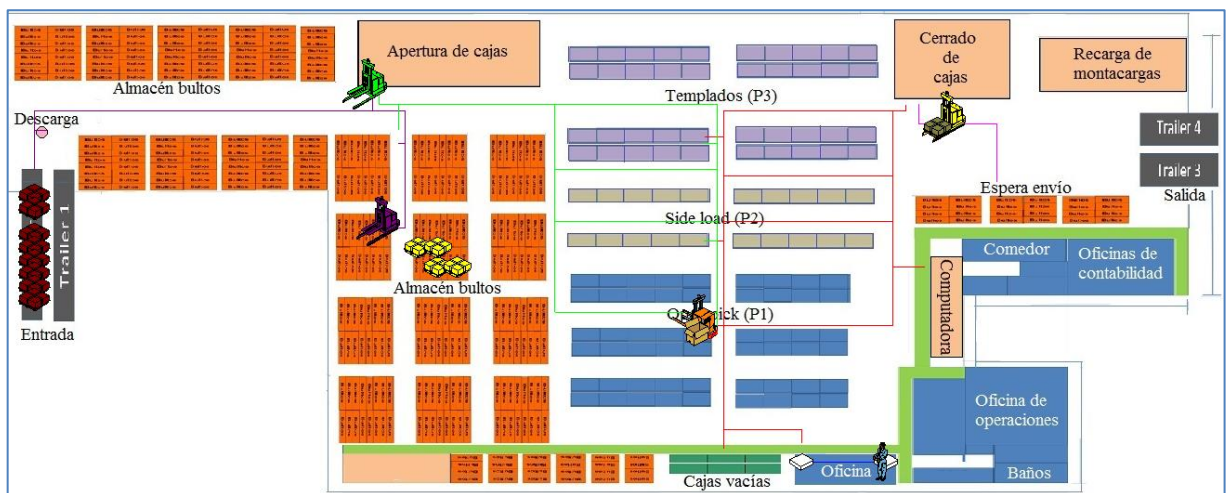


Figura 4.6. Animación del modelo de simulación de la alternativa 2.

Tabla 4.7. Resultados de la simulación de la alternativa 2.

LOGS

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	259.02	259.02	259.02	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	281.93	281.93	281.93	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	342.44	342.44	342.44	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	331.59	331.59	331.59	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	274.49	274.49	274.49	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	327.38	327.38	327.38	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	254.44	254.44	254.44	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	327.70	327.70	327.70	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	328.56	328.56	328.56	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	349.09	349.09	349.09	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	259.68	259.68	259.68	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	358.21	358.21	358.21	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	322.35	322.35	322.35	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	276.92	276.92	276.92	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	324.53	324.53	324.53	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	348.52	348.52	348.52	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	322.43	322.43	322.43	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	267.79	267.79	267.79	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	273.83	273.83	273.83	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	276.03	276.03	276.03	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	305.35	305.35	305.35	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	0	35.17	35.17	35.17	(Std. Dev.)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	7	11.88	80.71	42.81	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	11.02	39.99	22.81	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	11.82	51.99	23.58	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	19	7.21	35.00	19.92	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	8	12.49	112.15	51.72	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18	7.58	50.16	23.31	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	8.60	73.65	28.47	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	8.15	37.15	22.49	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	12	7.02	78.41	27.86	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18	6.80	45.69	24.81	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	6.38	99.45	26.88	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	11	10.56	83.08	23.57	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	13	11.23	55.67	26.39	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18	7.32	67.92	26.73	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	21	6.82	36.16	20.79	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	23	10.85	30.97	19.24	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	8	12.07	58.44	35.06	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	11	12.51	71.54	34.23	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	21	12.36	69.38	28.49	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18	12.07	118.35	29.03	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16.4	9.74	64.79	27.91	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	5.15	2.34	25.48	7.94	(Std. Dev.)

Tabla 4.7. Continuación.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	9.01	71.64	25.06	(Rep 1)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	11.67	48.72	26.70	(Rep 2)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	12.91	76.20	28.81	(Rep 3)
TIEMPO PICKING DE CAJA	15	12.29	55.82	30.33	(Rep 4)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	10.90	80.53	27.87	(Rep 5)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	9.31	75.70	24.98	(Rep 6)
TIEMPO PICKING DE CAJA	14	9.71	69.01	27.07	(Rep 7)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	9.37	69.86	26.02	(Rep 8)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	11.50	70.50	26.95	(Rep 9)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	9.84	71.78	26.74	(Rep 10)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	12.64	69.21	28.33	(Rep 11)
TIEMPO PICKING DE CAJA	19	8.75	51.69	23.95	(Rep 12)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	11.55	68.72	28.97	(Rep 13)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	12.99	65.72	27.14	(Rep 14)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	13.36	54.40	26.28	(Rep 15)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	8.29	74.93	25.46	(Rep 16)
TIEMPO PICKING DE CAJA	14	21.17	60.66	31.98	(Rep 17)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	9.65	55.33	27.16	(Rep 18)
TIEMPO PICKING DE CAJA	15	9.62	78.73	30.36	(Rep 19)
TIEMPO PICKING DE CAJA	15	10.41	60.48	25.83	(Rep 20)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16.45	11.25	66.48	27.30	(Average)
TIEMPO PICKING DE CAJA	1.35	2.80	9.42	2.02	(Std. Dev.)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	18	4.48	13.89	7.22	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	4.38	46.47	8.79	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	15	4.87	11.31	7.05	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	15	4.83	15.21	7.43	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.39	18.35	8.05	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	18	5.08	20.96	7.16	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	14	4.56	16.00	6.77	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	4.50	45.90	9.22	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	4.64	18.01	7.34	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	5.16	11.19	7.04	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.44	10.63	7.08	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	19	4.80	42.11	8.32	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	15	4.65	14.19	7.75	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.89	47.10	9.41	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	4.69	34.19	8.78	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	17	4.66	9.51	6.38	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	14	4.99	14.39	7.38	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16	4.99	47.74	9.07	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	15	4.63	11.70	6.24	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	15	4.91	44.74	9.14	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	16.2	4.73	24.68	7.78	(Average)
TIEMPO TOTAL CERRADO DE CAJAS	1.36	0.23	15.05	0.99	(Std. Dev.)

En la tabla 4.8 se corrobora si son suficientes 20 corridas para la alternativa 2.

Tabla 4.8. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 2.

SUBSISTEMA	FÓRMULA PARA CONOCER EL TAMAÑO DE MUESTRA	DATOS	RESULTADO
RECIBO	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 35.17$ $\bar{X} = 305.35$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(35.17)}{(0.15)(305.35)} \right)^2 = 3$
RESURTIDO	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 7.94$ $\bar{X} = 27.91$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(7.94)}{(0.15)(27.91)} \right)^2 = 16$
PICKING	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 2.02$ $\bar{X} = 27.30$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(2.02)}{(0.15)(27.30)} \right)^2 = 1$
EMPAQUE	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 0.99$ $\bar{X} = 7.78$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(0.99)}{(0.15)(7.78)} \right)^2 = 3$

4.1.3. Alternativa 3 (A3)

Descripción:

En esta tercera propuesta no se le hace ninguna modificación al diseño de la distribución (ver figura 4.7), se trabaja con el original. Aquí lo que se propone es contratar a otro operador que ayude a la actividad de picking y se hace una pequeña modificación al proceso de resurtido, dónde en vez de que el montacargas #2 traslade las cajas de P4 al área de apertura de cajas, sea el montacargas #3 el que lo haga.

En la tabla 4.9 de los elementos del modelo de simulación se puede observar el aumento a dos unidades de montacargas llamado picker1 que será el que usará el nuevo operador contratado en caso de que se implemente esta alternativa. El modelo conceptual general es el mismo que el original (ver figura 4.8) y en la tabla 4.10 se observa la modificación de los procesos que ejecutan los recursos del subsistema de resurtido del centro de distribución de parabrisas para propuesta 3.

Esta propuesta se realizó en base a la sugerencia de los mismos operadores, se les mostró a las autoridades del CEDIS y de la misma manera que las anteriores la mencionaron como factible, quedando en espera de observar los resultados como una mejora en la eficiencia del proceso y la reducción de los tiempos de ciclo de los subprocesos.

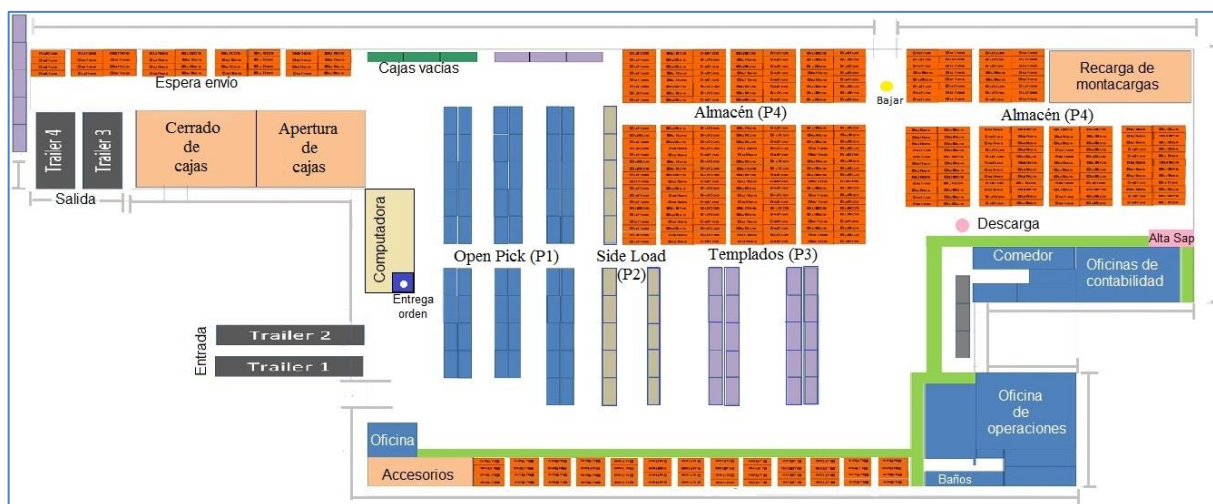


Figura 4.7. Diseño de la distribución física para la alternativa 3.

Tabla 4.9. Elementos del modelo de simulación de la alternativa 3.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A3)	
Entidades	<ul style="list-style-type: none"> • Caja • Orden • Paquete • Bulto
Locaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada • Descarga • Almacén_Bultos • Bajar • Apertura_Cajas • Open_pick • Side_load • Templados • Oficina • Entrega_Orden • Cajas_Vacías • Cerrado_Cajas • Espera_Envío • Computadora
Atributos	<ul style="list-style-type: none"> • A1 (máximo atributo para el recurso picker1) • A2 (máximo atributo para el recurso mont2) • TC1 (Tiempo de ciclo del subsistema de recibo) • TC2 (Tiempo de ciclo del subsistema de resurtido)

Tabla 4.9. Continuación.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A3)	
Atributos	<ul style="list-style-type: none"> • TC3 (Tiempo de ciclo del subsistema de picking) • TC4 (Tiempo de ciclo del subsistema de cerrado)
Arribos	<ul style="list-style-type: none"> • Paquete – Entrada • Orden – Oficina • Caja – Apertura_cajas
Recursos	Equipo: montacargas <ul style="list-style-type: none"> • Mont1 • Mont2 • Mont3 • Picker1 (dos unidades) Personas: <ul style="list-style-type: none"> • Supervisor
Colas	<ul style="list-style-type: none"> • Cola de espera de órdenes para ser recolectadas, por falta de operadores o recursos. • Cola de espera de cajas por cerrar. • Cola de espera en cajas por abrir. • Cola de espera de paquetes en entrada por recibir.
Eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio de las operaciones del CEDIS. • Inicio y fin de cajas surtidas. • Inicio y fin de recibo de camión con producto (descarga y almacenamiento). • Interrupción por 40 min de tiempo de comida • Término de las operaciones de CEDIS.

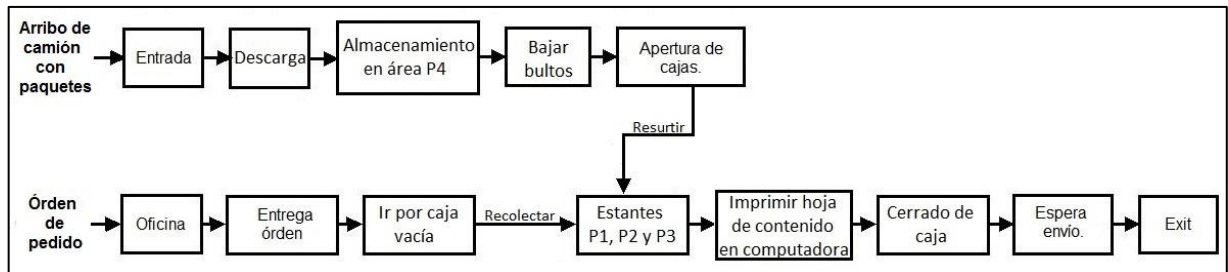


Figura 4.8. Modelo conceptual del sistema de la alternativa 3.

Tabla 4.10. Descripción de subsistemas del centro de distribución de parabrisas para la alternativa 3.

SUBSISTEMA	RECURSOS	PROCESOS RELACIONADOS
RECIBO	<ul style="list-style-type: none"> • Montacargas #2 (Mont 2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta SAP. • Descarga. • Acomodo en almacén P4.
RESURTIDO	<ul style="list-style-type: none"> • Montacargas #2 (Mont2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajar cajas de P4 (almacén bultos).
	<ul style="list-style-type: none"> • Montacargas #3 (Mont3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Trasladar cajas de P4 a área apertura de cajas.

Tabla 4.10. Continuación.

SUBSISTEMA	RECURSOS	PROCESOS RELACIONADOS
RESURTIDO	<ul style="list-style-type: none"> Montacargas #3 (Mont3) 	<ul style="list-style-type: none"> Abrir caja. Acomodar caja en estante.
PICKING	<ul style="list-style-type: none"> Supervisor Montacargas dos unidades (Picker1) 	<ul style="list-style-type: none"> Entregar orden. Ir por caja vacía. Recolectar producto en caja. Imprimir hoja de contenido.
EMPAQUE	<ul style="list-style-type: none"> Montacargas #1 (Mont1) 	<ul style="list-style-type: none"> Cerrar caja. Trasladar caja a área de espera para envío.

Posteriormente se construye el modelo de simulación para la propuesta 3 en el software ProModel® (ver tabla 4.11), en la figura 4.9 se muestra una imagen de la animación y finalmente se registran los resultados de tiempo en minutos obtenidos para cada subsistema que se está analizando (ver tabla 4.12).

Tabla 4.11. Programación de la alternativa 3 en ProModel®.

```

*****
*
*                               Formatted Listing of Model:
* C:\Users\admin\Documents\SEMESTRE 4\Modelo simulación PROPUESTA 3 SOLUCION 1.MOD *
*
*****

Time Units:                      Minutes
Distance Units:                  Meters

*****
*                               Locations
*
*****

Name          Cap  Units  Stats          Rules          Cost
-----
ENTRADA       10000  1      Time Series  Oldest, ,
ALMACEN_BULTOS 1000  1      Time Series  Oldest, ,
APERTURA_CAJAS 10    1      Time Series  Oldest, ,
CERRADO_CAJAS  10    1      Time Series  Oldest, ,
OPEN_PICK     250   1      Time Series  Oldest, ,
SIDE_LOAD     250   1      Time Series  Oldest, ,
TEMPLADOS     250   1      Time Series  Oldest, ,
OFICINA       1000  1      Time Series  Oldest, ,
COMPUTADORA   1      1      Time Series  Oldest, ,
ENTREGA_ORDEN 1      1      Time Series  Oldest, ,
CAJAS_VACIAS  10    1      Time Series  Oldest, ,
ESPERA_ENUIO  100   1      Time Series  Oldest, ,
DESCARGA      1      1      Time Series  Oldest, ,
BAJAR         1      1      Time Series  Oldest, ,

*****
*                               Entities
*
*****

Name          Speed (mpm)  Stats          Cost
-----
CAJA          150         Time Series
ORDEN         150         Time Series
PAQUETE       150         Time Series
BULTO         50          Time Series

```

Tabla 4.11. Continuación.

```

*****
*                                     Path Networks                                     *
*****

```

Name	Type	T/S	From	To	BI	Dist/Time	Speed Factor			
NETSUPERVISOR	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	18.61	1			
			N1	N2	Bi	18.235	1			
			N1	N2	Bi	9.10	1			
NETMONT1	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	12.3444	1			
			N4	N6	Bi	37.775	1			
NETMONT2	Passing	Speed & Distance	N6	N8	Bi	5.00	1			
			N8	N10	Bi	5.2	1			
			N8	N12	Bi	14.88	1			
			N12	N14	Bi	2.00	1			
			N10	N16	Bi	13.714	1			
			N16	N18	Bi	2.23	1			
			N4	N20	Bi	22.149	1			
			N20	N22	Bi	20.25	1			
			N22	N24	Bi	2.00	1			
			N12	N5	Bi	3.00	1			
			N5	N9	Bi	24.7	1			
			NETMONT3	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	3.00	1
						N2	N4	Bi	11.00	1
						N4	N6	Bi	24.00	1
						N6	N8	Bi	5.00	1
N8	N10	Bi				3.00	1			
N8	N12	Bi				25.00	1			
N12	N14	Bi				3.00	1			
N12	N16	Bi				17.00	1			
N16	N18	Bi				3.00	1			
N16	N5	Bi				7.515	1			
NETPICKER	Passing	Speed & Distance	N5	N9	Bi	22.88	1			
			N9	N13	Bi	24.7	1			
			N1	N2	Bi	5.00	1			
			N2	N4	Bi	4.55	1			
			N4	N6	Bi	8.2296	1			
			N6	N8	Bi	25.389	1			
			N8	N10	Bi	3.00	1			
			N11	N12	Bi	2.00	1			
			N10	N14	Bi	28.15	1			
			N6	N16	Bi	2.52	1			
NETMONT3	Passing	Speed & Distance	N16	N18	Bi	17.55	1			
			N18	N20	Bi	10.19	1			
			N16	N22	Bi	2.00	1			
			N18	N21	Bi	2.00	1			
			N20	N19	Bi	2.00	1			
			N11	N10	Bi	1.00	1			
			N3	N6	Bi	2.03	1			

```

*****
*                                     Interfaces                                     *
*****

```

Net	Node	Location
NETSUPERVISOR	N1	OFICINA
	N2	ENTREGA_ORDEN
NETMONT1	N1	CERRADO_CAJAS
	N2	ESPERA_ENUIO
NETMONT2	N1	ENTRADA
	N24	APERTURA_CAJAS
	N14	ALMACEN_BULTOS
	N10	DESCARGA
NETMONT3	N9	BAJAR
	N18	TEMPLADOS
	N14	SIDE_LOAD
	N10	OPEN_PICK
NETPICKER	N1	APERTURA_CAJAS
	N13	BAJAR
	N1	ENTREGA_ORDEN
	N3	COMPUTADORA
NETMONT1	N12	CAJAS_UACIAS
	N22	OPEN_PICK
	N21	SIDE_LOAD
	N19	TEMPLADOS
	N14	CERRADO_CAJAS

 * Mapping *

Net	From	To	Dest	
NETMONT2	N4	N2		
	N6	N4		
	N8	N6		
	N10	N8		
	N12	N8		
	N20	N4		
	N4	N6		
	N6	N8		
	N8	N10		
	N8	N12		
	N12	N14		
	N4	N20		
	N20	N22		
	N12	N5		
	NETMONT3	N4	N2	
		N6	N4	
		N8	N6	
N12		N8		
N16		N12		
N5		N16		
N4		N6		
N6		N8		
N8		N10		
N8		N12		
N12		N14		
N12		N16		
N16		N18		
NETPICKER	N16	N5		
	N5	N9		
	N4	N2		
	N6	N4		
	N8	N6		
	N10	N8		
	N16	N6		
	N18	N16		
	N4	N6		
	N6	N8		
	N8	N10		
	N10	N11		
	N10	N14		
	N6	N16		
	N16	N22		

 * Resources *

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
MONT1	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT1 Home: N1 <Return>	Empty: 15.8565 mpm Full: 15.8565 mpm	
MONT2	1	By Unit	Closest	Max	NETMONT2 Home: N14 <Return>	Empty: 66.1137 mpm Full: 66.1137 mpm	
MONT3	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT3 Home: N1 <Return>	Empty: 63.7654 mpm Full: 63.7654 mpm	
PICKER1	2	By Unit	Closest	Max	NETPICKER Home: N10 <Return>	Empty: 118.82 mpm Full: 118.82 mpm	
SUPERVISOR	1	By Unit	Closest	Oldest	NETSUPERVISOR Home: N1 <Return>	Empty: 20 mpm Full: 20 mpm	

Tabla 4.11. Continuación.

```

*****
*                               Clock downtimes for Resources                               *
*****

```

Res	Frequency	First Time	Priority	Scheduled	Node	List	Disable	Logic
MONT1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT2	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT3	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
PICKER1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
SUPERVISOR	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN

```

*****
*                               Processing                                               *
*****

```

Process			Routing				
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
PAQUETE	ENTRADA	TC1 = CLOCK <> WAIT 78.+L<42.8, 35.3> MIN					
PAQUETE	DESCARGA	GET MONT2 WAIT 5.+L<6.05, 5.04> MIN FREE MONT2	1	PAQUETE	DESCARGA	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
PAQUETE	ALMACEN_BULTOS	A2=1 SPLIT 2 AS BULTO	1	PAQUETE	ALMACEN_BULTOS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
BULTO	ALMACEN_BULTOS	GET MONT2 WAIT L<3.14, 2.15> MIN FREE MONT2 ACCUM 20 A2=2 LOG "TIEMPO TOTAL DE RECIBO", TC1	1	BULTO	BAJAR	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
BULTO	BAJAR	TC2 = CLOCK <> GET MONT2 WAIT 1.+L<12.3, 13.7> MIN FREE MONT2	1	BULTO	APERTURA_CAJAS	FIRST 1	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
BULTO	APERTURA_CAJAS	A2=3 SPLIT 2 AS CAJA WAIT 2.+L<4.09, 2.56> MIN	1	CAJA	OPEN_PICK	0.700000 1	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	OPEN_PICK	WAIT 1.+L<3.66, 3.89> MIN LOG "TIEMPO DE RESURTIDO", TC2	1	CAJA	SIDE_LOAD	0.200000	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	SIDE_LOAD	WAIT 1.+L<3.66, 3.89> MIN	1	CAJA	TEMPLADOS	0.100000	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	TEMPLADOS	WAIT 1.+L<3.66, 3.89> MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
ORDEN	OFICINA	WAIT 2 MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
ORDEN	ENTREGA_ORDEN	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	ENTREGA_ORDEN	FIRST 1	MOVE WITH SUPERVISOR THEN FREE
ORDEN	CAJAS_VACIAS	TC3 = CLOCK <> GET PICKER1 WAIT T<0., 0.352, 6.8> MIN FREE ALL A1 = 1 GRAPHIC 2	1	ORDEN	CAJAS_VACIAS	MOST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	OPEN_PICK	GET PICKER1 WAIT U<19.4, 15.4> MIN FREE ALL A1 = 2 GRAPHIC 2	1	ORDEN	OPEN_PICK	0.700000 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	SIDE_LOAD	GET PICKER1 WAIT U<19.4, 15.4> MIN FREE ALL A1 = 2 GRAPHIC 2	1	ORDEN	SIDE_LOAD	0.100000	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	TEMPLADOS	GET PICKER1 WAIT U<19.4, 15.4> MIN FREE ALL A1 = 2 GRAPHIC 2	1	ORDEN	TEMPLADOS	0.200000	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	COMPUTADORA	GET PICKER1 WAIT U<19.4, 15.4> MIN FREE ALL A1 = 2 GRAPHIC 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	CERRADO_CAJAS	LOG "TIEMPO PICKING DE CAJA", TC3 TC4 = CLOCK <> WAIT 3.+L<3.02, 2.56> MIN GRAPHIC 3	1	ORDEN	CERRADO_CAJAS	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	ESPERA_ENUIO	LOG "TIEMPO CERRADO DE CAJA", TC4 WAIT L<1.24, 1.03> MIN	1	ORDEN	ESPERA_ENUIO	FIRST 1	MOVE WITH MONT1 THEN FREE
			1	ORDEN	EXIT	FIRST 1	

Tabla 4.11. Continuación.

```

*****
*                               Arrivals                               *
*****
Entity      Location             Qty Each      First Time  Occurrences  Frequency  Logic
-----
PAQUETE     ENTRADA                       10           0           1             32 HR
ORDEN       OFICINA                       U<32.1, 21.1> 0           1             24 HR
CAJA        APERTURA_CAJAS                4           0           1             24 HR
    
```

```

*****
*                               Attributes                             *
*****
ID          Type                Classification
-----
A1          Integer              Entity
TC1         Real                 Entity
A2          Integer              Entity
TC2         Real                 Entity
TC3         Real                 Entity
TC4         Real                 Entity
    
```

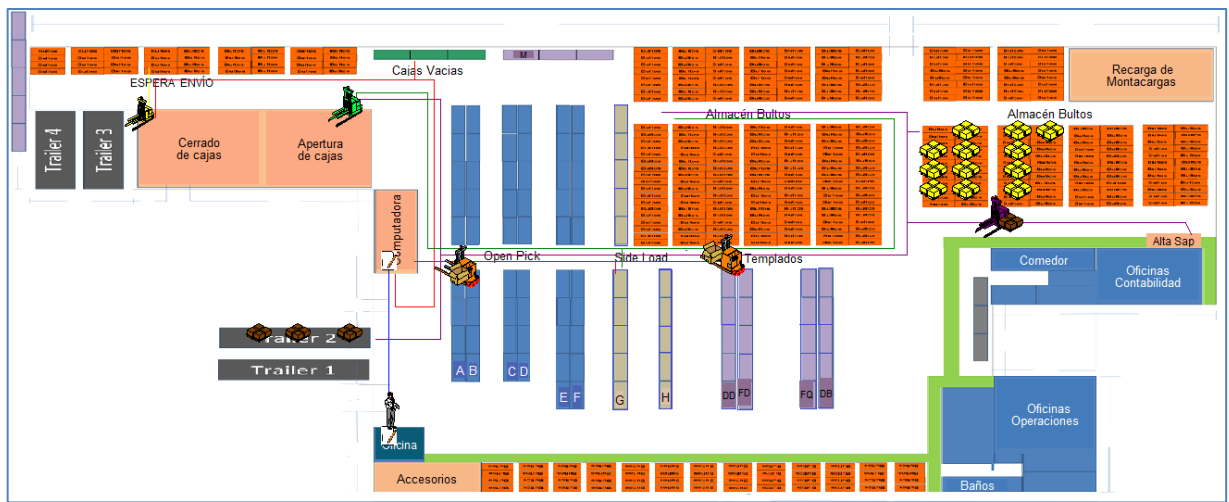


Figura 4.9. Animación del modelo de simulación de la alternativa 3.

Tabla 4.12. Resultados de la simulación, alternativa 3.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	358.15	358.15	358.15	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	260.68	260.68	260.68	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	335.96	335.96	335.96	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	354.24	354.24	354.24	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	328.06	328.06	328.06	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	336.46	336.46	336.46	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	333.18	333.18	333.18	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	267.22	267.22	267.22	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	336.08	336.08	336.08	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	266.64	266.64	266.64	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	277.58	277.58	277.58	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	335.50	335.50	335.50	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	330.87	330.87	330.87	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	340.13	340.13	340.13	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	279.58	279.58	279.58	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	249.83	249.83	249.83	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	325.82	325.82	325.82	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	365.28	365.28	365.28	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	274.56	274.56	274.56	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	282.13	282.13	282.13	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	311.90	311.90	311.90	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	0	37.12	37.12	37.12	(Std. Dev.)

Tabla 4.12. Continuación.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	11.89	42.46	23.80	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	23	11.17	65.27	30.95	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	15	6.78	48.74	24.37	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	8	7.55	28.70	19.53	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	14	8.68	47.53	26.88	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	10	10.64	50.82	26.13	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	11	8.23	45.13	23.98	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	17	8.74	86.73	33.70	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	11	7.01	50.77	26.52	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	21	5.41	73.53	30.49	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	19	9.03	62.95	26.37	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	7.20	37.52	22.47	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	12	10.05	65.73	26.26	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	19	7.55	48.74	25.07	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	17	10.90	63.24	30.68	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18	7.37	82.24	35.20	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	6.29	47.69	26.51	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	12	5.29	39.93	26.40	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	19	10.49	60.01	28.03	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	11	8.69	69.38	32.31	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	15.45	8.45	55.85	27.28	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	4.16	1.92	15.15	3.90	(Std. Dev.)
TIEMPO PICKING DE CAJA	25	8.91	76.07	28.37	(Rep 1)
TIEMPO PICKING DE CAJA	29	12.54	75.38	30.40	(Rep 2)
TIEMPO PICKING DE CAJA	29	11.87	76.33	30.40	(Rep 3)
TIEMPO PICKING DE CAJA	25	10.22	56.79	28.74	(Rep 4)
TIEMPO PICKING DE CAJA	32	9.16	65.60	27.34	(Rep 5)
TIEMPO PICKING DE CAJA	12	11.86	38.11	22.54	(Rep 6)
TIEMPO PICKING DE CAJA	24	9.42	80.99	26.34	(Rep 7)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	15.22	42.40	25.21	(Rep 8)
TIEMPO PICKING DE CAJA	24	9.71	78.15	28.92	(Rep 9)
TIEMPO PICKING DE CAJA	31	6.89	52.44	26.09	(Rep 10)
TIEMPO PICKING DE CAJA	34	8.01	60.45	25.44	(Rep 11)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	14.52	41.22	26.07	(Rep 12)
TIEMPO PICKING DE CAJA	25	9.67	76.66	27.49	(Rep 13)
TIEMPO PICKING DE CAJA	33	7.83	60.80	25.56	(Rep 14)
TIEMPO PICKING DE CAJA	31	9.35	76.96	28.47	(Rep 15)
TIEMPO PICKING DE CAJA	32	10.59	74.90	27.88	(Rep 16)
TIEMPO PICKING DE CAJA	12	10.11	32.80	19.88	(Rep 17)
TIEMPO PICKING DE CAJA	31	8.88	61.74	27.11	(Rep 18)
TIEMPO PICKING DE CAJA	30	12.59	68.89	28.74	(Rep 19)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	9.55	40.08	21.67	(Rep 20)
TIEMPO PICKING DE CAJA	25.5	10.35	61.84	26.63	(Average)
TIEMPO PICKING DE CAJA	7.02	2.15	15.74	2.75	(Std. Dev.)

Tabla 4.12. Continuación.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	25	4.46	8.12	6.39	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	29	4.49	11.89	6.73	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	29	4.71	12.59	6.67	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	25	4.83	50.67	8.50	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	32	4.65	15.97	7.58	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	12	4.87	9.27	6.61	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	24	4.70	15.20	7.59	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	18	5.03	18.50	8.11	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	24	4.89	47.41	8.48	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	31	4.56	11.46	6.78	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	34	4.70	44.68	8.26	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	17	5.53	11.02	7.62	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	25	5.22	12.01	7.97	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	32	4.81	40.83	8.55	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	31	4.50	16.88	7.29	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	32	4.86	45.18	8.55	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	12	5.15	8.47	6.83	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	31	4.58	10.96	7.03	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	29	4.49	43.34	8.14	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	16	4.87	25.82	8.79	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	25.4	4.80	23.01	7.62	(Average)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO CAJAS	6.93	0.27	15.60	0.78	(Std. Dev.)

En la tabla 4.13 se corrobora si son suficientes 20 corridas para la alternativa 3.

Tabla 4.13. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 3.

SUBSISTEMA	FÓRMULA PARA CONOCER EL TAMAÑO DE MUESTRA	DATOS	RESULTADO
RECIBO	$n = \left(\frac{(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 37.12$ $\bar{X} = 311.90$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(37.12)}{(0.15)(311.90)} \right)^2 = 3$
RESURTIDO	$n = \left(\frac{(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 3.90$ $\bar{X} = 27.28$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(3.90)}{(0.15)(27.28)} \right)^2 = 4$
PICKING	$n = \left(\frac{(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 2.75$ $\bar{X} = 26.63$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(2.75)}{(0.15)(26.63)} \right)^2 = 2$
EMPAQUE	$n = \left(\frac{(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 0.78$ $\bar{X} = 7.62$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(0.78)}{(0.15)(7.62)} \right)^2 = 2$

4.1.4. Alternativa 4 (A4)

Descripción:

La propuesta 4 es muy parecida a la alternativa 1 en cuanto al diseño de la distribución física con un flujo en forma de U y muelles separados (ver figura 4.10), la diferencia es que en la propuesta 4 se planea contratar a un operador que apoye a la actividad del picking, de esta manera surge un aumento en los recursos, ahora teniendo 2 unidades de montacargas llamados picker1, el proceso se mantiene igual.

En la tabla 4.14 de los elementos del modelo de simulación se puede observar el registro de las 2 unidades de montacargas llamados picker1, el modelo conceptual sigue siendo el mismo que el original (ver figura 4.11). Aquí se tendría que hacer la inversión de contratar a otro operador y capacitarlo. Se mostró la propuesta a las autoridades del CEDIS y mencionaron que si se demuestra una reducción de los tiempos de los procesos del centro de distribución, están dispuestos a implementarla.

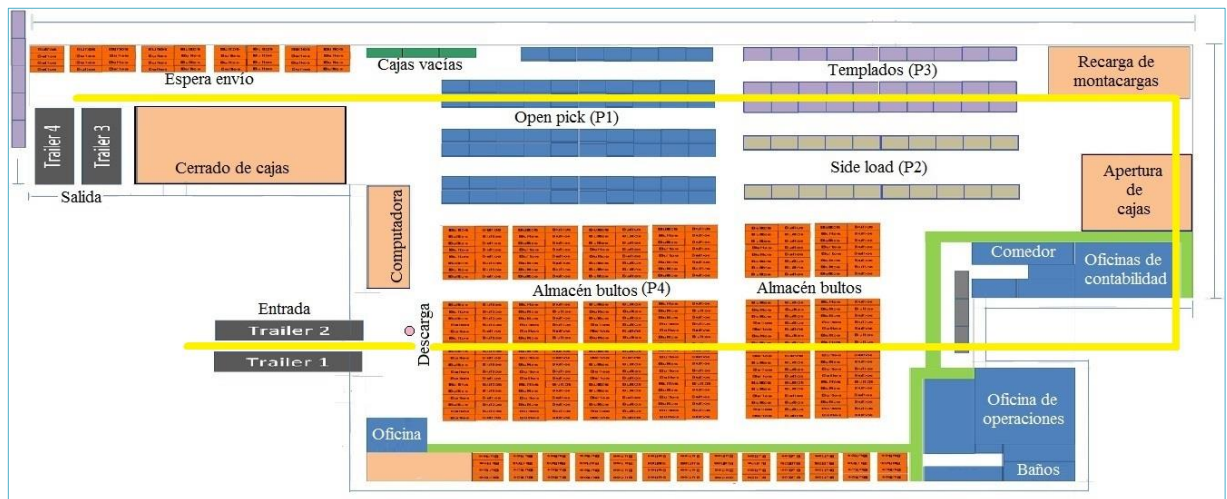


Figura 4.10. Diseño del flujo en forma de U para la alternativa 4.

Tabla 4.14. Elementos del modelo de simulación de la alternativa 4.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A4)	
Entidades	<ul style="list-style-type: none"> • Caja • Orden • Paquete • Bulto
Locaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada • Descarga

Tabla 4.14. Continuación.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A4)	
	<ul style="list-style-type: none"> • Almacén_Bultos • Bajar • Apertura_Cajas • Open_pick • Side_load • Templados • Oficina • Entrega_Orden • Cajas_Vacías • Cerrado_Cajas • Espera_Envío • Computadora
Atributos	<ul style="list-style-type: none"> • A1 (máximo atributo para el recurso picker1) • A2 (máximo atributo para el recurso mont2) • TC1 (Tiempo de ciclo del subsistema de recibo) • TC2 (Tiempo de ciclo del subsistema de resurtido) • TC3 (Tiempo de ciclo del subsistema de picking) • TC4 (Tiempo de ciclo del subsistema de cerrado)
Arribos	<ul style="list-style-type: none"> • Paquete – Entrada • Orden – Oficina • Caja – Apertura_cajas
Recursos	<p>Equipo: montacargas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mont1 • Mont2 • Mont3 • Picker1 (dos unidades) <p>Personas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Supervisor
Colas	<ul style="list-style-type: none"> • Cola de espera de órdenes para ser recolectadas, por falta de operadores o recursos. • Cola de espera de cajas por cerrar. • Cola de espera en cajas por abrir. • Cola de espera de paquetes en entrada por recibir.
Eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio de las operaciones del CEDIS. • Inicio y fin de cajas surtidas. • Inicio y fin de recibo de camión con producto (descarga y almacenamiento). • Interrupción por 40 min de tiempo de comida • Término de las operaciones de CEDIS.

Posteriormente se construye el modelo de simulación para la propuesta 4 en el software ProModel® (ver tabla 4.15), en la figura 4.12 se muestra una imagen de la animación y finalmente se registran los resultados de tiempo en minutos obtenidos para cada subsistema que se está analizando (ver tabla 4.16).

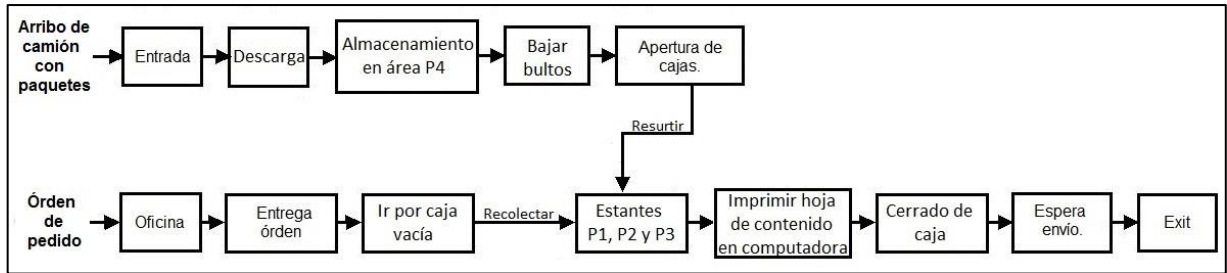


Figura 4.11. Modelo conceptual del sistema, alternativa 4.

Tabla 4.15. Programación del modelo de simulación en ProModel® de la alternativa 4.

```

*****
*                                     *
*                                     Formatted Listing of Model:                *
* C:\Users\admin\Documents\SEMESTRE 4\Modelo simulación\PROPUESTA 4 SOLUCION 1.mod *
*                                     *
*****

Time Units:           Minutes
Distance Units:      Meters

*****
*                                     Locations                                  *
*****

Name      Cap  Units  Stats      Rules      Cost
-----
ENTRADA   10000  1      Time Series Oldest, ,
DESCARGA  1         1      Time Series Oldest, ,
ALMACEN_BULTOS 1000  1      Time Series Oldest, ,
APERTURA_CAJAS 10     1      Time Series Oldest, ,
CERRADO_CAJAS 10     1      Time Series Oldest, ,
OPEN_PICK 250     1      Time Series Oldest, ,
SIDE_LOAD 250     1      Time Series Oldest, ,
TEMPLADOS 250     1      Time Series Oldest, ,
OFICINA   1000    1      Time Series Oldest, ,
ENTREGA_ORDEN 1       1      Time Series Oldest, ,
CAJAS_VACIAS 10     1      Time Series Oldest, ,
COMPUTADORA 1       1      Time Series Oldest, ,
ESPERA_ENVIO 100    1      Time Series Oldest, ,
BAJAR     1         1      Time Series Oldest, ,

*****
*                                     Entities                                  *
*****

Name      Speed (mpm)  Stats      Cost
-----
CAJA      150           Time Series
PAQUETE   150           Time Series
BULTO     150           Time Series
ORDEN     150           Time Series

*****
*                                     Path Networks                            *
*****

Name      Type      T/S      From  To  BI  Dist/Time  Speed Factor
-----
NETSUPERVISOR Passing  Speed & Distance N1  N2  Bi  18.61      1
NETMONT1   Passing  Speed & Distance N1  N2  Bi  18.235     1
NETMONT2   Passing  Speed & Distance N1  N2  Bi  6.175      1
           N2  N4  Bi  27.7       1
           N4  N6  Bi  2.00      1
           N5  N4  Bi  4.00      1
           N5  N7  Bi  33.625    1
  
```

Tabla 4.15. Continuación.

```

*****
*                               Path Networks                               *
*****

```

Name	Type	T/S	From	To	BI	Dist/Time	Speed Factor
NETPICKER	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	10.5315	1
			N2	N4	Bi	4.00	1
			N2	N6	Bi	4.96	1
			N6	N8	Bi	4.96	1
			N6	N10	Bi	33.05	1
			N10	N12	Bi	12.725	1
			N12	N14	Bi	3.00	1
			N8	N5	Bi	16.525	1
			N5	N9	Bi	16.525	1
			N9	N10	Bi	3.72	1
			N9	N16	Bi	3.72	1
			N16	N18	Bi	11.4875	1
			N8	N13	Bi	4.96	1
			N13	N17	Bi	12.350	1
			N17	N20	Bi	4.00	1
			N7	N5	Bi	2.00	1
			N18	N21	Bi	2.00	1
			N16	N15	Bi	33.05	1
			N15	N13	Bi	3.00	1
			NETMONT3	Passing	Speed & Distance	N15	N19
N1	N2	Bi				12.4875	1
N2	N4	Bi				8.88	1
N4	N6	Bi				11.426	1
N6	N8	Bi				3.9815	1
N6	N10	Bi				8.318	1
N10	N12	Bi				8.318	1
N12	N14	Bi				8.318	1
N14	N16	Bi				21.5625	1
N17	N10	Bi				16.525	1
N12	N20	Bi				33.05	1
N20	N22	Bi				16.525	1
N22	N24	Bi				3.00	1
N3	N16	Bi				2.00	1
N17	N7	Bi				4.00	1
N20	N9	Bi	6.00	1			
N9	N17	Bi	16.525	1			

```

*****
*                               Interfaces                               *
*****

```

Net	Node	Location
NETSUPERVISOR	N2	ENTREGA_ORDEN
	N1	OFICINA
NETMONT1	N1	CERRADO_CAJAS
	N2	ESPERA_ENVIO
NETMONT2	N1	ENTRADA
	N2	DESCARGA
	N6	ALMACEN_BULTOS
	N5	BAJAR
NETPICKER	N7	APERTURA_CAJAS
	N1	ENTREGA_ORDEN
	N4	COMPUTADORA
	N19	CAJAS_UACIAS
	N20	CERRADO_CAJAS
	N7	OPEN_PICK
	N14	SIDE_LOAD
NETMONT3	N21	TEMPLADOS
	N1	BAJAR
	N8	APERTURA_CAJAS
	N7	SIDE_LOAD
	N24	OPEN_PICK
N3	TEMPLADOS	

Tabla 4.15. Continuación.

```

*****
*                                     Mapping                                     *
*****

```

Net	From	To	Dest
NETMONT2	N4	N2	
	N4	N6	
NETPICKER	N4	N5	
	N2	N1	
	N6	N2	
	N8	N6	
	N10	N6	
	N5	N8	
	N9	N10	
	N16	N9	
	N13	N8	
	N15	N13	
	N2	N4	
	N2	N6	
	N6	N10	
	N8	N5	
	N10	N12	
	N5	N9	
	N15	N16	
	N6	N8	
	N8	N13	
	N10	N9	
N9	N5		
N16	N15		
N13	N17		
N5	N7		
N9	N16		
N16	N18		
N13	N15		
N15	N19		
NETMONT3	N4	N2	
	N6	N4	
	N10	N6	
	N12	N10	
	N14	N12	
	N17	N10	
	N20	N9	
	N9	N17	
	N4	N6	
	N6	N8	
	N6	N10	
	N10	N17	
	N12	N20	
	N17	N9	
	N20	N22	
	N9	N20	
	N10	N12	
N12	N14		
N14	N16		
N20	N12		
N17	N7		

```

*****
*                                     Resources                                    *
*****

```

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
MONT1	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT1 Home: N1 <Return>	Empty: 15.8565 mpm Full: 15.8565 mpm	
MONT2	1	By Unit	Closest	Max	NETMONT2 Home: N6 <Return>	Empty: 66.1137 mpm Full: 66.11.37 mpm	
MONT3	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT3 Home: N8 <Return>	Empty: 63.7654 mpm Full: 63.7654 mpm	
PICKER1	2	By Unit	Closest	Max	NETPICKER Home: N1 <Return>	Empty: 118.82 mpm Full: 118.82 mpm	
SUPERUISOR 1		By Unit	Closest	Oldest	NETSUPERUISOR Home: N1 <Return>	Empty: 20 mpm Full: 20 mpm	

Tabla 4.15. Continuación.

```

*****
*                               Clock downtimes for Resources                               *
*****

```

Res	Frequency	First Time	Priority	Scheduled	Node	List	Disable	Logic
MONT1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT2	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT3	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
PICKER1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
SUPERVISOR	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN

```

*****
*                               Processing                                               *
*****

```

Entity	Location	Process		Routing			Move Logic
		Operation	Blk	Output	Destination	Rule	
PAQUETE	ENTRADA	TC1 = CLOCK (<) WAIT 78.+L(42.0,35.3) MIN	1	PAQUETE	DESCARGA	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
PAQUETE	DESCARGA	GET MONT2 WAIT 5.+L(6.05,5.04) MIN FREE MONT2 A2 = 1	1	PAQUETE	ALMACEN_BULTOS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
PAQUETE	ALMACEN_BULTOS	SPLIT 2 AS BULTO GET MONT2 WAIT L(3.14,2.15) MIN FREE MONT2 ACCUM 20 A2 = 2 LOG "TIEMPO TOTAL DE RECIBO", TC1	1	BULTO	BAJAR	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
BULTO	BAJAR	TC2 = CLOCK (<) GET MONT2 WAIT 1.+L(12.3,13.7) MIN FREE MONT2 A2 = 3	1	BULTO	APERTURA_CAJAS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
BULTO	APERTURA_CAJAS	SPLIT 2 AS CAJA WAIT 2.+L(4.09,2.56) MIN	1	CAJA	OPEN_PICK	0.700000 1	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	APERTURA_CAJAS		1	CAJA	SIDE_LOAD	0.200000	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	APERTURA_CAJAS		1	CAJA	TEMPLADOS	0.100000	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	OPEN_PICK	WAIT 1.+L(3.66,3.89) MIN LOG "TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO", TC2	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
CAJA	SIDE_LOAD	WAIT 1.+L(3.66,3.89) MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
CAJA	TEMPLADOS	WAIT 1.+L(3.66,3.89) MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
ORDEN	OFICINA	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	ENTREGA_ORDEN	FIRST 1	MOVE WITH SUPERVISOR THEN FREE
ORDEN	ENTREGA_ORDEN	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	CAJAS_VACIAS	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	CAJAS_VACIAS	TC3 = CLOCK (<) GET PICKER1 WAIT 1(0.,0.352,6.8) MIN FREE PICKER1 A1 = 1 GRAPHIC 2	1	ORDEN	OPEN_PICK	0.700000 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
				ORDEN	SIDE_LOAD	0.100000	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
				ORDEN	TEMPLADOS	0.200000	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	OPEN_PICK	GET PICKER1 WAIT U(19.4,15.4) MIN FREE PICKER1 A1 = 2 GRAPHIC 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	SIDE_LOAD	GET PICKER1 WAIT U(19.4,15.4) MIN FREE PICKER1 A1 = 2 GRAPHIC 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	TEMPLADOS	GET PICKER1 WAIT U(19.4,15.4) MIN FREE PICKER1 A1 = 2 GRAPHIC 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	COMPUTADORA	GET PICKER1 WAIT L(2.,0.879) MIN FREE PICKER1 A1 = 3	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE

Tabla 4.15. Continuación.

```

*****
*                               Processing                               *
*****

```

Entity	Location	Process		Routing			Move Logic
		Operation	Blk	Output	Destination	Rule	
ORDEN	CERRADO_CAJAS	GRAPHIC 2 LOG "TIEMPO PICKING DE CAJA", TC3 TC4 = CLOCK (<) WAIT 3.+L(3.02,2.56) MIN	1	ORDEN	CERRADO_CAJAS	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	ESPERA_ENVIO	GRAPHIC 3 LOG "CERRADO DE CAJA", TC4 WAIT L(1.24,1.03) MIN	1	ORDEN	ESPERA_ENVIO	FIRST 1	MOVE WITH MONT1 THEN FREE
			1	ORDEN	EXIT	FIRST 1	

```

*****
*                               Arrivals                               *
*****

```

Entity	Location	Qty Each	First Time	Occurrences	Frequency	Logic
PAQUETE	ENTRADA	10	0	1	32 HR	
ORDEN	OFICINA	U(32.1, 21.1)	0	1	24 HR	
CAJA	APERTURA_CAJAS	4	0	1	24 HR	

```

*****
*                               Attributes                               *
*****

```

ID	Type	Classification
A1	Integer	Entity
IC1	Real	Entity
A2	Integer	Entity
IC2	Real	Entity
IC3	Real	Entity
IC4	Real	Entity

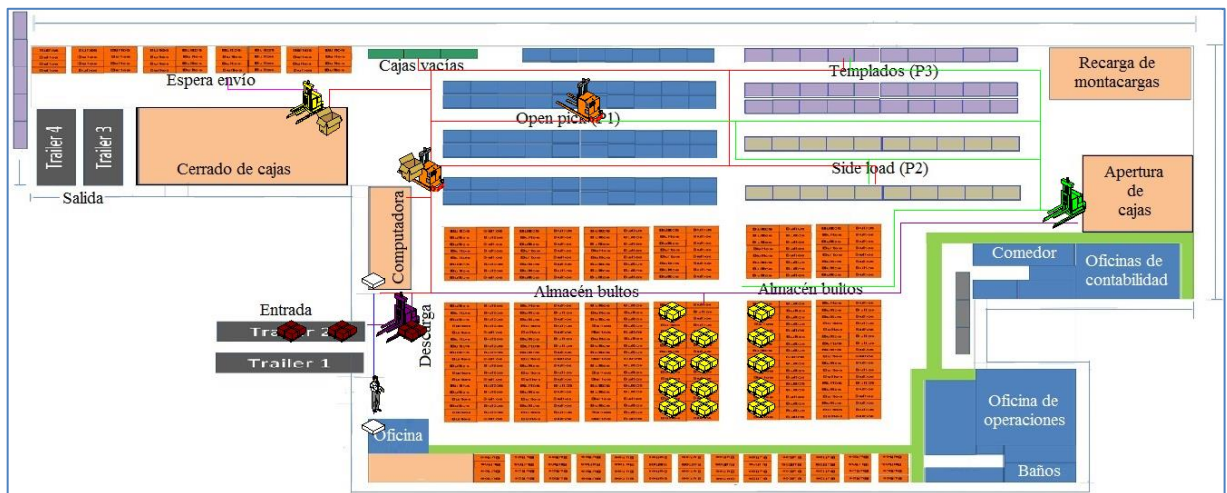


Figura 4.12. Animación del modelo de simulación de la alternativa 4.

Tabla 4.16. Resultados del modelo de simulación de la alternativa 4.

LOGS

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	331.50	331.50	331.50	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	276.17	276.17	276.17	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	342.71	342.71	342.71	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	281.25	281.25	281.25	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	271.58	271.58	271.58	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	280.64	280.64	280.64	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	266.93	266.93	266.93	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	265.53	265.53	265.53	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	244.05	244.05	244.05	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	333.07	333.07	333.07	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	255.70	255.70	255.70	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	255.29	255.29	255.29	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	351.60	351.60	351.60	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	254.43	254.43	254.43	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	241.57	241.57	241.57	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	331.01	331.01	331.01	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	274.67	274.67	274.67	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	341.67	341.67	341.67	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	279.50	279.50	279.50	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	336.54	336.54	336.54	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	290.77	290.77	290.77	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	0	37.64	37.64	37.64	(Std. Dev.)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	15	11.04	51.75	26.39	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	9.98	44.01	24.69	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	7.11	38.66	19.18	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	14	8.76	76.82	23.41	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	9.40	37.42	17.69	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	17	8.84	48.88	24.62	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	7.99	87.67	32.26	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	14	7.35	98.71	34.28	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	6.39	70.30	27.23	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	11	8.04	48.51	24.14	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	7.54	64.51	22.84	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	17	8.97	107.00	32.41	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	10	14.86	49.09	23.72	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	23	7.66	54.63	25.72	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18	9.38	62.71	25.00	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	9.79	29.06	19.56	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	7.90	83.68	32.23	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18	9.67	48.38	20.53	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	13	10.44	58.16	26.03	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	21	11.48	36.24	22.53	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16.85	9.13	59.81	25.22	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	3.49	1.90	21.52	4.62	(Std. Dev.)

Tabla 4.16. Continuación.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO PICKING DE CAJA	25	9.59	65.36	25.66	(Rep 1)
TIEMPO PICKING DE CAJA	32	8.76	71.43	27.84	(Rep 2)
TIEMPO PICKING DE CAJA	14	13.59	36.04	22.84	(Rep 3)
TIEMPO PICKING DE CAJA	24	13.57	59.85	28.54	(Rep 4)
TIEMPO PICKING DE CAJA	26	10.95	76.00	31.48	(Rep 5)
TIEMPO PICKING DE CAJA	24	12.98	74.58	29.79	(Rep 6)
TIEMPO PICKING DE CAJA	31	10.28	58.65	28.74	(Rep 7)
TIEMPO PICKING DE CAJA	35	9.11	74.22	25.80	(Rep 8)
TIEMPO PICKING DE CAJA	32	13.79	70.47	28.00	(Rep 9)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	14.33	40.20	28.17	(Rep 10)
TIEMPO PICKING DE CAJA	27	11.65	71.56	26.61	(Rep 11)
TIEMPO PICKING DE CAJA	32	13.43	58.15	26.94	(Rep 12)
TIEMPO PICKING DE CAJA	18	11.98	38.62	24.09	(Rep 13)
TIEMPO PICKING DE CAJA	29	8.73	70.90	25.51	(Rep 14)
TIEMPO PICKING DE CAJA	20	12.13	77.50	32.54	(Rep 15)
TIEMPO PICKING DE CAJA	32	8.46	75.58	28.18	(Rep 16)
TIEMPO PICKING DE CAJA	32	8.09	70.08	28.14	(Rep 17)
TIEMPO PICKING DE CAJA	34	10.87	60.81	26.03	(Rep 18)
TIEMPO PICKING DE CAJA	34	7.79	77.79	26.57	(Rep 19)
TIEMPO PICKING DE CAJA	28	8.51	80.75	27.22	(Rep 20)
TIEMPO PICKING DE CAJA	27.35	10.93	65.43	27.43	(Average)
TIEMPO PICKING DE CAJA	6.10	2.20	13.43	2.27	(Std. Dev.)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	25	4.78	16.59	7.52	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	32	4.63	15.89	7.08	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	14	4.70	18.90	7.60	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	24	4.95	50.77	8.93	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	26	5.06	48.28	8.99	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	24	4.54	14.16	6.97	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	30	4.56	42.14	8.57	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	35	4.59	13.09	6.46	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	31	4.68	11.83	6.78	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	18	4.54	15.66	8.00	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	27	5.11	16.32	7.14	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	32	4.61	45.97	8.98	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	18	5.00	12.55	7.74	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	29	4.53	13.94	6.75	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	20	4.86	10.41	6.79	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	31	4.76	19.40	7.54	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	31	4.75	43.48	8.41	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	33	4.31	18.67	7.47	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	34	4.75	51.84	9.08	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	28	4.80	43.98	8.40	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	27.1	4.72	26.19	7.76	(Average)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	5.91	0.20	15.69	0.85	(Std. Dev.)

En la tabla 4.17 se corrobora si son suficientes 20 corridas para la alternativa 4.

Tabla 4.17. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 4.

SUBSISTEMA	FÓRMULA PARA CONOCER EL TAMAÑO DE MUESTRA	DATOS	RESULTADO
RECIBO	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $\bar{S} = 37.64$ $\bar{X} = 290.77$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(37.64)}{(0.15)(290.77)} \right)^2 = 3$
RESURTIDO	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $\bar{S} = 4.62$ $\bar{X} = 25.22$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(4.62)}{(0.15)(25.22)} \right)^2$ $n = 7$
PICKING	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $\bar{S} = 2.27$ $\bar{X} = 27.43$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(2.27)}{(0.15)(27.43)} \right)^2 = 2$
EMPAQUE	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $\bar{S} = 0.85$ $\bar{X} = 7.76$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(0.85)}{(0.15)(7.76)} \right)^2 = 2$

4.1.5. Alternativa 5 (A5)

Descripción:

La propuesta 5 es muy parecida a las alternativas 1 y 4 en cuanto la estructura de la distribución con un flujo en forma de U con muelles separados (ver figura 4.13), la diferencia es que en la propuesta 5 se planea contratar dos operadores que apoyen a la actividad del picking, de esta manera surge un aumento en los recursos, ahora teniendo 3 unidades de montacargas llamados picker1, el proceso se mantiene igual.

En la tabla 4.18 de los elementos del modelo de simulación se puede observar el registro de las 3 unidades de montacargas llamados picker1, el modelo conceptual sigue siendo el mismo que el original (ver figura 4.14). Aquí si se tendría que hacer la inversión de contratar a otros dos operadores y capacitarlos. Se mostró la propuesta a las autoridades del CEDIS y mencionaron que cuentan con el capital para implementarlo, pero como esto ya es un gasto representativo sólo considerarían aplicarlo demostrando las mejoras.

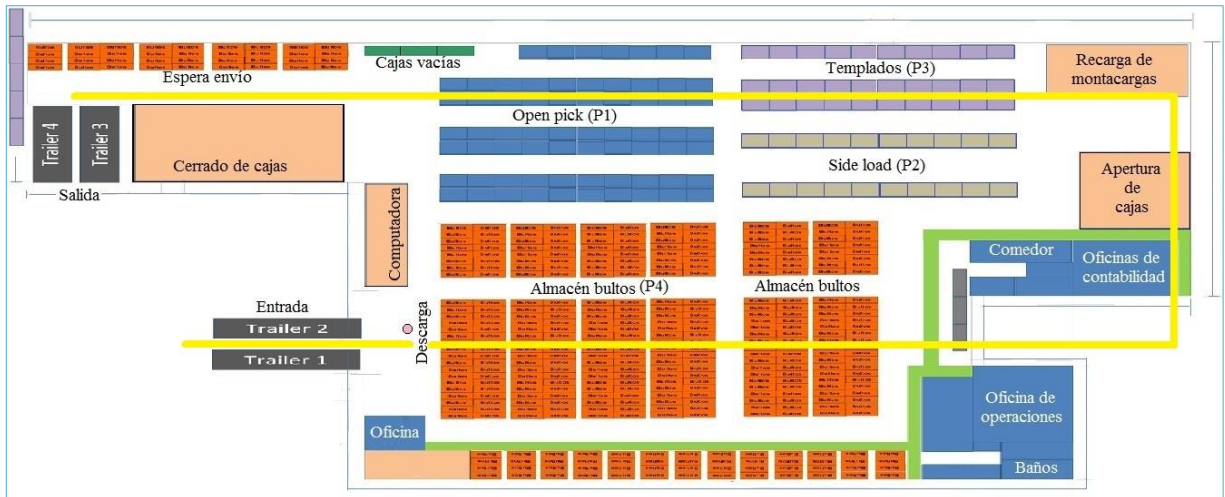


Figura 4.13. Diseño del flujo en forma de U alternativa 5.

Tabla 4.18. Elementos del modelo de simulación de la propuesta 5.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A5)	
Entidades	<ul style="list-style-type: none"> • Caja • Orden • Paquete • Bulto
Locaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada • Descarga • Almacén_Bultos • Bajar • Apertura_Cajas • Open_pick • Side_load • Templados • Oficina • Entrega_Orden • Cajas_Vacías • Cerrado_Cajas • Espera_Envío • Computadora
Atributos	<ul style="list-style-type: none"> • A1 (máximo atributo para el recurso picker1) • A2 (máximo atributo para el recurso mont2) • TC1 (Tiempo de ciclo del subsistema de recibo) • TC2 (Tiempo de ciclo del subsistema de resurtido) • TC3 (Tiempo de ciclo del subsistema de picking) • TC4 (Tiempo de ciclo del subsistema de cerrado)
Arribos	<ul style="list-style-type: none"> • Paquete – Entrada • Orden – Oficina • Caja – Apertura_cajas

Tabla 4.18. Continuación.

ELEMENTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN (A5)	
Recursos	Equipo: montacargas <ul style="list-style-type: none"> • Mont1 • Mont2 • Mont3 • Picker1 (tres unidades) Personas: <ul style="list-style-type: none"> • Supervisor
Colas	<ul style="list-style-type: none"> • Cola de espera de órdenes para ser recolectadas, por falta de operadores o recursos. • Cola de espera de cajas por cerrar. • Cola de espera en cajas por abrir. • Cola de espera de paquetes en entrada por recibir.
Eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio de las operaciones del CEDIS. • Inicio y fin de cajas surtidas. • Inicio y fin de recibo de camión con producto (descarga y almacenamiento). • Interrupción por 40 min de tiempo de comida • Término de las operaciones de CEDIS.

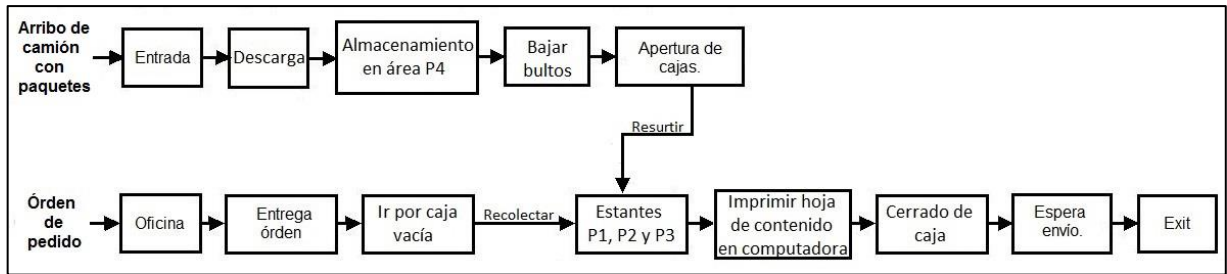


Figura 4.14. Modelo conceptual del sistema, alternativa 5.

Posteriormente se construye el modelo de simulación para la propuesta 5 en el software ProModel® (ver tabla 4.19), en la figura 4.14 se muestra una imagen de la animación y finalmente se registran los resultados de tiempo en minutos obtenidos para cada subsistema del CEDIS que se está analizando (ver tabla 4.20).

Tabla 4.19. Programación del modelo de simulación en ProModel® de la alternativa 5.

```

*****
*
*                               Formatted Listing of Model:                               *
* C:\Users\admin\Documents\SEMESTRE 4\Modelo simulación PROPUESTA 5 SOLUCION 1.mod *
*
*****

Time Units:                               Minutes
Distance Units:                           Meters
  
```

Tabla 4.19. Continuación.

 * Locations *

Name	Cap	Units	Stats	Rules	Cost
ENTRADA	10000	1	Time Series	Oldest,	
DESCARGA	1	1	Time Series	Oldest,	
ALMACEN_BULTOS	1000	1	Time Series	Oldest,	
APERTURA_CAJAS	10	1	Time Series	Oldest,	
CERRADO_CAJAS	10	1	Time Series	Oldest,	
OPEN_PICK	250	1	Time Series	Oldest,	
SIDE_LOAD	250	1	Time Series	Oldest,	
TEMPLADOS	250	1	Time Series	Oldest,	
OFICINA	1000	1	Time Series	Oldest,	
ENTREGA_ORDEN	1	1	Time Series	Oldest,	
CAJAS_VACIAS	10	1	Time Series	Oldest,	
COMPUTADORA	1	1	Time Series	Oldest,	
ESPERA_ENVIO	100	1	Time Series	Oldest,	
BAJAR	1	1	Time Series	Oldest,	

 * Entities *

Name	Speed (mpn)	Stats	Cost
CAJA	150	Time Series	
PAQUETE	150	Time Series	
BULTO	150	Time Series	
ORDEN	150	Time Series	

 * Path Networks *

Name	Type	T/S	From	To	BI	Dist/Time	Speed Factor
NETSUPERVISOR	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	18.61	1
NETMONT1	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	18.235	1
NETMONT2	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	6.175	1
			N2	N4	Bi	27.7	1
			N4	N6	Bi	2.00	1
			N5	N4	Bi	4.00	1
			N5	N7	Bi	33.625	1
NETPICKER	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	10.5315	1
			N2	N4	Bi	4.00	1
			N2	N6	Bi	4.96	1
			N6	N8	Bi	4.96	1
			N6	N10	Bi	33.05	1
			N10	N12	Bi	12.725	1
			N12	N14	Bi	3.00	1
			N8	N5	Bi	16.525	1
			N5	N9	Bi	16.525	1
			N9	N10	Bi	3.72	1
			N9	N16	Bi	3.72	1
			N16	N18	Bi	11.4875	1
			N8	N13	Bi	4.96	1
			N13	N17	Bi	12.350	1
			N17	N20	Bi	4.00	1
			N7	N5	Bi	2.00	1
			N18	N21	Bi	2.00	1
			N16	N15	Bi	33.05	1
			N15	N13	Bi	3.00	1
			N15	N19	Bi	4.00	1
NETMONT3	Passing	Speed & Distance	N1	N2	Bi	12.4875	1
			N2	N4	Bi	8.88	1
			N4	N6	Bi	11.426	1
			N6	N8	Bi	3.9815	1
			N6	N10	Bi	8.318	1
			N10	N12	Bi	8.318	1
			N12	N14	Bi	8.318	1
			N14	N16	Bi	21.5625	1
			N17	N10	Bi	16.525	1
			N12	N20	Bi	33.05	1
			N20	N22	Bi	16.525	1
			N22	N24	Bi	3.00	1
			N3	N16	Bi	2.00	1
			N17	N7	Bi	4.00	1
			N20	N9	Bi	6.00	1
			N9	N17	Bi	16.525	1

Tabla 4.19. Continuación.

***** * Interfaces ******			
Net	Node	Location	
NETSUPERVISOR	N2	ENTREGA_ORDEN	
	N1	OFICINA	
NETMONT1	N1	CERRADO_CAJAS	
	N2	ESPERA_ENUIO	
NETMONT2	N1	ENTRADA	
	N2	DESCARGA	
	N6	ALMACEN_BULTOS	
	N5	BAJAR	
	N7	APERTURA_CAJAS	
NETPICKER	N1	ENTREGA_ORDEN	
	N4	COMPUTADORA	
	N19	CAJAS_UACIAS	
	N20	CERRADO_CAJAS	
NETMONT3	N7	OPEN_PICK	
	N14	SIDE_LOAD	
	N21	TEMPLADOS	
	N1	BAJAR	
	N8	APERTURA_CAJAS	
	N7	SIDE_LOAD	
	N24	OPEN_PICK	
N3	TEMPLADOS		
***** * Mapping ******			
Net	From	To	Dest
NETMONT2	N4	N2	
	N4	N6	
NETPICKER	N4	N5	
	N2	N1	
	N6	N2	
	N8	N6	
	N10	N6	
	N5	N8	
	N9	N10	
	N16	N9	
	N13	N8	
	N15	N13	
	N2	N4	
	N2	N6	
	N6	N10	
	N8	N5	
	N10	N12	
	N5	N9	
	N15	N16	
	N6	N8	
	N8	N13	
	N10	N9	
N9	N5		
N16	N15		
N13	N17		
N5	N7		
N9	N16		
N16	N18		
N13	N15		
N15	N19		
NETMONT3	N4	N2	
	N6	N4	
	N10	N6	
	N12	N10	
	N14	N12	
	N17	N10	
	N20	N9	
	N9	N17	
	N4	N6	
	N6	N8	
	N6	N10	
	N10	N17	
	N12	N20	
	N17	N9	
	N20	N22	
N9	N20		
N10	N12		
N12	N14		
N14	N16		
N20	N12		
N17	N7		

Tabla 4.19. Continuación.

```
*****
*                               Resources                               *
*****
```

Name	Units	Stats	Res Search	Ent Search	Path	Motion	Cost
MONT1	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT1 Home: N1 <Return>	Empty: 15.8565 mpm Full: 15.8565 mpm	
MONT2	1	By Unit	Closest	Max	NETMONT2 Home: N6 <Return>	Empty: 66.1137 mpm Full: 66.11.37 mpm	
MONT3	1	By Unit	Closest	Oldest	NETMONT3 Home: N8 <Return>	Empty: 63.7654 mpm Full: 63.7654 mpm	
PICKER1	3	By Unit	Closest	Max	NETPICKER Home: N1 <Return>	Empty: 118.82 mpm Full: 118.82 mpm	
SUPERUISOR 1		By Unit	Closest	Oldest	NETSUPERUISOR Home: N1 <Return>	Empty: 20 mpm Full: 20 mpm	

```
*****
*                               Clock downtimes for Resources          *
*****
```

Res	Frequency	First Time	Priority	Scheduled	Node	List	Disable	Logic
MONT1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT2	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
MONT3	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
PICKER1	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN
SUPERUISOR	280 MIN	280 MIN		No			No	WAIT 40 MIN

```
*****
*                               Processing                               *
*****
```

Process			Routing				
Entity	Location	Operation	Blk	Output	Destination	Rule	Move Logic
PAQUETE	ENTRADA	TC1 = CLOCK (<) WAIT 78.+L<42.8,35.3> MIN	1	PAQUETE	DESCARGA	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
PAQUETE	DESCARGA	GET MONT2 WAIT 5.+L<6.05,5.04> MIN FREE MONT2 A2 = 1	1	PAQUETE	ALMACEN_BULTOS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
PAQUETE	ALMACEN_BULTOS	SPLIT 2 AS BULTO GET MONT2 WAIT 1<3,14,2.15> MIN FREE MONT2 ACCUM 20 A2 = 2 LOG "TIEMPO TOTAL DE RECIBO", TC1	1	BULTO	BAJAR	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
BULTO	BAJAR	TC2 = CLOCK (<) GET MONT2 WAIT 1.+L<12.3,13.7> MIN FREE MONT2 A2 = 3	1	BULTO	APERTURA_CAJAS	FIRST 1	MOVE WITH MONT2 THEN FREE
BULTO	APERTURA_CAJAS	SPLIT 2 AS CAJA WAIT 2.+L<4.09,2.56> MIN	1	CAJA	OPEN_PICK	0.700000 1	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	OPEN_PICK	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN LOG "TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO", TC2	1	CAJA	SIDE_LOAD	0.200000	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	SIDE_LOAD	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN	1	CAJA	TEMPLADOS	0.100000	MOVE WITH MONT3 THEN FREE
CAJA	TEMPLADOS	WAIT 1.+L<3.66,3.89> MIN	1	CAJA	EXIT	FIRST 1	
ORDEN	OFICINA	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	ENTREGA_ORDEN	FIRST 1	MOVE WITH SUPERUISOR THEN FREE
ORDEN	ENTREGA_ORDEN	WAIT 2 MIN	1	ORDEN	CAJAS_UACIAS	FIRST 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	CAJAS_UACIAS	TC3 = CLOCK (<) GET PICKER1 WAIT 1<0.,0.352,6.8> MIN FREE PICKER1 A1 = 1 GRAPHIC 2	1	ORDEN	OPEN_PICK	0.700000 1	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
				ORDEN	SIDE_LOAD	0.100000	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE
				ORDEN	TEMPLADOS	0.200000	MOVE WITH PICKER1 THEN FREE

Tabla 4.19. Continuación.

```

*****
*                               Processing                               *
*****

```

Entity	Location	Process		Routing			Move Logic
		Operation	Blk	Output	Destination	Rule	
ORDEN	OPEN_PICK	GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4> MIN FREE PICKER1 A1 = 2					
ORDEN	SIDE_LOAD	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4> MIN FREE PICKER1 A1 = 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOUE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	TEMPLADOS	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT U<19.4,15.4> MIN FREE PICKER1 A1 = 2	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOUE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	COMPUTADORA	GRAPHIC 2 GET PICKER1 WAIT L<2.,0.879> MIN FREE PICKER1 A1 = 3	1	ORDEN	COMPUTADORA	FIRST 1	MOUE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	CERRADO_CAJAS	GRAPHIC 2 LOG "TIEMPO PICKING DE CAJA", TC3 TC4 = CLOCK <> WAIT 3.+L<3.02,2.56> MIN GRAPHIC 3	1	ORDEN	CERRADO_CAJAS	FIRST 1	MOUE WITH PICKER1 THEN FREE
ORDEN	ESPERA_ENUIO	LOG "CERRADO DE CAJA", TC4 WAIT L<1.24,1.03> MIN	1	ORDEN	ESPERA_ENUIO	FIRST 1	MOUE WITH MONT1 THEN FREE
				1	ORDEN	EXIT	FIRST 1

```

*****
*                               Arrivals                               *
*****

```

Entity	Location	Qty Each	First Time	Occurences	Frequency	Logic
PAQUETE	ENTRADA	10	0	1	32 HR	
ORDEN	OFICINA	U<32.1,21.1>	0	1	24 HR	
CAJA	APERTURA_CAJAS	4	0	1	24 HR	

```

*****
*                               Attributes                               *
*****

```

ID	Type	Classification
A1	Integer	Entity
A2	Integer	Entity
TC1	Real	Entity
TC2	Real	Entity
TC3	Real	Entity

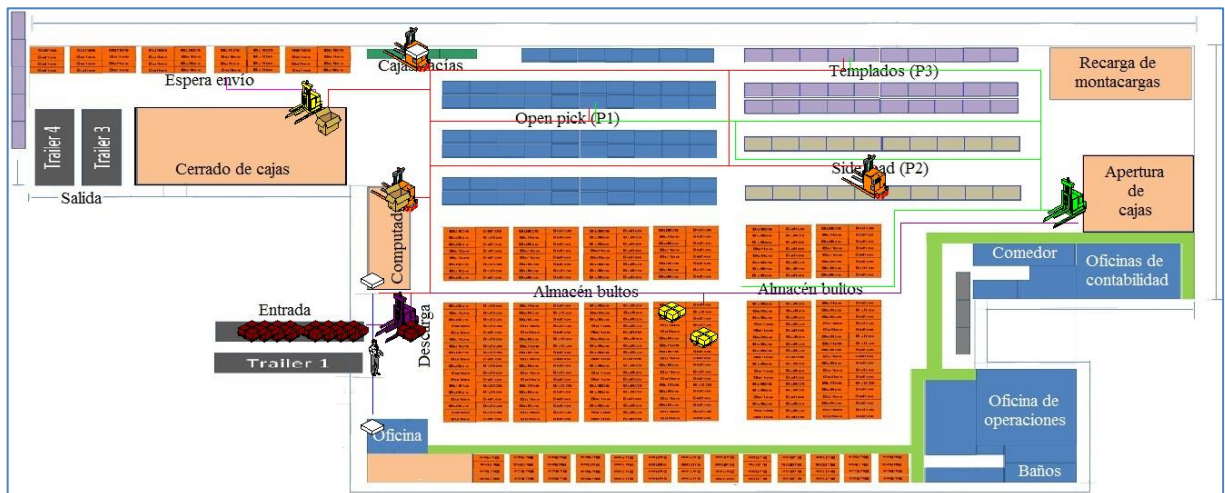


Figura 4.15. Animación del modelo de simulación de la alternativa 5.

Tabla 4.20. Resultados del modelo de simulación de la alternativa 5.

LOGS

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	264.51	264.51	264.51	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	350.65	350.65	350.65	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	276.91	276.91	276.91	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	246.25	246.25	246.25	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	278.77	278.77	278.77	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	329.20	329.20	329.20	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	267.32	267.32	267.32	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	273.08	273.08	273.08	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	280.97	280.97	280.97	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	285.72	285.72	285.72	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	339.72	339.72	339.72	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	337.66	337.66	337.66	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	285.77	285.77	285.77	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	280.43	280.43	280.43	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	270.85	270.85	270.85	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	250.99	250.99	250.99	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	273.52	273.52	273.52	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	259.85	259.85	259.85	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	257.24	257.24	257.24	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	264.77	264.77	264.77	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	20	283.71	283.71	283.71	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RECIBO	0	30.62	30.62	30.62	(Std. Dev.)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	11.04	67.08	31.04	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	11.96	46.29	19.96	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	7.29	47.99	22.17	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	18	7.57	87.45	27.98	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	14	9.85	69.31	30.06	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	17	7.10	27.88	16.85	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	11	10.47	67.84	26.76	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	9.92	59.27	24.99	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	9.94	41.53	20.53	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	6.23	64.92	24.69	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	22	13.28	32.08	20.29	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	16	9.51	39.88	19.91	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	20	7.90	40.01	19.83	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	14	8.98	74.11	30.06	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	10	10.38	68.58	28.83	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	19	7.04	71.20	29.57	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	21	7.74	59.97	29.16	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	32	7.18	72.60	27.01	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	25	11.55	78.49	25.81	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	25	7.79	74.05	22.81	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	19.3	9.14	59.53	24.92	(Average)
TIEMPO TOTAL DE RESURTIDO	5.13	1.94	16.79	4.33	(Std. Dev.)

Tabla 4.20. Resultados del modelo de simulación de la alternativa 5.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
TIEMPO PICKING DE CAJA	25	9.15	40.45	21.82	(Rep 1)
TIEMPO PICKING DE CAJA	41	8.12	90.60	26.33	(Rep 2)
TIEMPO PICKING DE CAJA	36	11.74	66.87	27.66	(Rep 3)
TIEMPO PICKING DE CAJA	16	9.69	39.78	23.97	(Rep 4)
TIEMPO PICKING DE CAJA	25	11.09	39.38	23.73	(Rep 5)
TIEMPO PICKING DE CAJA	19	11.77	40.06	24.77	(Rep 6)
TIEMPO PICKING DE CAJA	48	11.94	59.85	27.22	(Rep 7)
TIEMPO PICKING DE CAJA	13	9.83	38.00	22.88	(Rep 8)
TIEMPO PICKING DE CAJA	42	8.53	78.65	27.70	(Rep 9)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	10.31	37.27	23.66	(Rep 10)
TIEMPO PICKING DE CAJA	23	9.82	38.81	25.24	(Rep 11)
TIEMPO PICKING DE CAJA	32	9.26	77.21	29.74	(Rep 12)
TIEMPO PICKING DE CAJA	43	7.89	70.95	26.47	(Rep 13)
TIEMPO PICKING DE CAJA	28	12.19	81.24	33.37	(Rep 14)
TIEMPO PICKING DE CAJA	25	10.98	43.43	24.85	(Rep 15)
TIEMPO PICKING DE CAJA	41	7.30	66.16	28.92	(Rep 16)
TIEMPO PICKING DE CAJA	46	10.41	80.78	27.98	(Rep 17)
TIEMPO PICKING DE CAJA	17	9.24	39.53	25.90	(Rep 18)
TIEMPO PICKING DE CAJA	12	8.00	38.83	20.04	(Rep 19)
TIEMPO PICKING DE CAJA	33	10.62	72.05	28.36	(Rep 20)
TIEMPO PICKING DE CAJA	29.1	9.89	56.99	26.03	(Average)
TIEMPO PICKING DE CAJA	11.61	1.46	18.97	3.03	(Std. Dev.)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	25	4.99	12.27	7.37	(Rep 1)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	41	4.54	43.09	8.24	(Rep 2)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	36	4.65	46.53	8.06	(Rep 3)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	16	5.37	12.41	7.13	(Rep 4)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	25	4.69	13.36	6.74	(Rep 5)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	19	4.70	17.98	7.45	(Rep 6)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	48	4.39	57.65	8.94	(Rep 7)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	13	4.73	11.98	6.33	(Rep 8)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	42	4.90	42.50	8.98	(Rep 9)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	17	4.82	9.70	6.67	(Rep 10)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	23	4.35	15.85	7.49	(Rep 11)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	32	4.60	41.01	8.09	(Rep 12)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	43	4.65	50.57	9.54	(Rep 13)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	28	4.86	44.53	10.00	(Rep 14)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	25	4.54	9.57	6.24	(Rep 15)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	41	4.74	45.94	7.84	(Rep 16)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	46	4.64	45.33	8.18	(Rep 17)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	17	4.62	18.68	7.77	(Rep 18)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	12	5.65	15.39	8.46	(Rep 19)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	33	4.70	44.56	9.02	(Rep 20)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	29.1	4.76	29.94	7.93	(Average)
TIEMPO TOTAL DE CERRADO DE CAJAS	11.61	0.30	17.11	1.03	(Std. Dev.)

En la tabla 4.21 se corrobora si son suficientes 20 corridas para la alternativa 5.

Tabla 4.21. Muestras necesarias para la aplicación del DOE, alternativa 5.

SUBSISTEMA	FÓRMULA PARA CONOCER EL TAMAÑO DE MUESTRA	DATOS	RESULTADO
RECIBO	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 30.62$ $\bar{X} = 283.71$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(30.62)}{(0.15)(283.71)} \right)^2 = 2$
RESURTIDO	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 4.33$ $\bar{X} = 24.92$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(4.33)}{(0.15)(24.92)} \right)^2 = 6$
PICKING	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 3.03$ $\bar{X} = 26.03$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(3.03)}{(0.15)(26.03)} \right)^2 = 3$
EMPAQUE	$n = \left(\frac{\left(t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \right) (S)}{(\%e)(\bar{X})} \right)^2$	$t_{\alpha/2, n-1} = 2.09302$ $S = 1.03$ $\bar{X} = 7.93$ $\%e = 0.15$ $n = 20$	$n = \left(\frac{(2.09302)(1.03)}{(0.15)(7.93)} \right)^2 = 3$

4.2. Experimentación

4.2.1. Aplicación del Principio de Programación Lineal

Primero se aplica el principio del modelo de programación lineal estableciendo de forma estándar la función objetivo para la obtención del tiempo total de las réplicas de los tratamientos que están dados en minutos para cada una de las cinco alternativas propuestas (ver tablas de la.4.22 a la 4.26). Consiste en sumar las medias (average value) de los cuatro subsistemas (recibo, resurtido, picking y empaque o cerrado de cajas) en cada una de las 20 réplicas que se toman de los resultados obtenidos de las simulaciones de las alternativas, con el fin de lograr obtener un dato unificado para así posteriormente aplicar DOE e identificar la mejor alternativa.

El planteamiento queda de la siguiente manera:

Función objetivo: Minimizar $Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4$

4.1

Dónde:

- Z = Tiempo total de ciclo.
- C = Coeficientes de las variables en la función objetivo que son tomados como un criterio para añadir un incremento en los procesos según la importancia en el centro de distribución. (Para este centro de distribución el proceso de picking es el de mayor importancia por lo tanto se le dará un coeficiente de 10 y los demás seguirán en coeficiente 1).

Definición de las variables:

- X_1 = Tiempo total de recibo dado en minutos.
- X_2 = Tiempo total de resurtido dado en minutos.
- X_3 = Tiempo total de picking dado en minutos.
- X_4 = Tiempo total de cerrado de cajas dado en minutos.

Para el modelo de simulación original el tiempo total de ciclo es:

$$Z = 313.88 + 26.63 + (10) 27.29 + 7.29 = 620.7 \text{ min.}$$

Tabla 4.22. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 1.

ALTERNATIVA 1		
Réplica	Función	Total
1	$Z = 324.80 + 20.66 + (10) 23.84 + 7.19$	591.05
2	$Z = 278.22 + 21.70 + (10) 22.93 + 7.24$	536.46
3	$Z = 238.47 + 28.32 + (10) 29.02 + 8.98$	565.97
4	$Z = 268.18 + 38.64 + (10) 27.02 + 9.01$	586.03
5	$Z = 281.73 + 22.67 + (10) 28.20 + 6.97$	593.37
6	$Z = 247.15 + 23.25 + (10) 23.75 + 7.92$	515.82
7	$Z = 326.85 + 26.34 + (10) 25.15 + 6.61$	611.3
8	$Z = 333.90 + 19.63 + (10) 26.00 + 6.73$	620.26
9	$Z = 265.90 + 32.21 + (10) 27.09 + 6.33$	575.34
10	$Z = 322.48 + 25.44 + (10) 26.88 + 7.75$	624.47
11	$Z = 247.48 + 31.41 + (10) 27.06 + 7.86$	557.35
12	$Z = 271.01 + 25.34 + (10) 25.22 + 6.97$	555.52
13	$Z = 275.53 + 28.90 + (10) 26.13 + 6.85$	572.58
14	$Z = 259.64 + 29.71 + (10) 25.01 + 6.47$	545.92
15	$Z = 256.91 + 25.73 + (10) 28.58 + 6.48$	574.92
16	$Z = 272.09 + 24.25 + (10) 22.38 + 8.79$	528.93

Tabla 4.22. Continuación.

Réplica	Función	Total
17	$Z = 256.08 + 33.10 + (10) 30.17 + 6.02$	596.9
18	$Z = 274.05 + 21.76 + (10) 28.24 + 7.40$	585.61
19	$Z = 280.96 + 24.99 + (10) 28.43 + 8.28$	598.53
20	$Z = 330.05 + 17.83 + (10) 27.24 + 7.18$	627.46

Tabla 4.23. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 2.

ALTERNATIVA 2		
Réplica	Función	Total
1	$Z = 259.02 + 42.81 + (10) 25.06 + 7.22$	559.65
2	$Z = 281.93 + 22.81 + (10) 26.70 + 8.79$	580.53
3	$Z = 342.44 + 23.58 + (10) 28.81 + 7.05$	661.17
4	$Z = 331.59 + 19.92 + (10) 30.33 + 7.43$	662.24
5	$Z = 274.49 + 51.72 + (10) 27.87 + 8.05$	612.96
6	$Z = 327.38 + 23.31 + (10) 24.98 + 7.16$	607.65
7	$Z = 254.44 + 28.47 + (10) 27.07 + 6.77$	560.38
8	$Z = 327.70 + 22.49 + (10) 26.02 + 9.22$	619.61
9	$Z = 328.56 + 27.86 + (10) 26.95 + 7.34$	633.26
10	$Z = 349.09 + 24.81 + (10) 26.74 + 7.04$	648.34
11	$Z = 259.68 + 26.88 + (10) 28.33 + 7.08$	576.94
12	$Z = 358.21 + 23.57 + (10) 23.95 + 8.32$	629.6
13	$Z = 322.35 + 26.39 + (10) 28.97 + 7.75$	646.19
14	$Z = 276.92 + 26.73 + (10) 27.14 + 9.41$	584.46
15	$Z = 324.53 + 20.79 + (10) 26.28 + 8.78$	616.9
16	$Z = 348.52 + 19.24 + (10) 25.46 + 6.38$	604.5
17	$Z = 322.43 + 35.06 + (10) 31.98 + 7.38$	684.67
18	$Z = 267.79 + 34.23 + (10) 27.16 + 9.07$	582.69
19	$Z = 273.83 + 28.59 + (10) 30.36 + 6.24$	612.26
20	$Z = 276.03 + 29.03 + (10) 25.83 + 9.14$	572.5

Tabla 4.24. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 3.

ALTERNATIVA 3		
Réplica	Función	Total
1	$Z = 358.15 + 23.80 + (10) 28.37 + 6.39$	672.04
2	$Z = 260.68 + 30.95 + (10) 30.40 + 6.73$	602.36
3	$Z = 335.96 + 24.37 + (10) 30.40 + 6.67$	671
4	$Z = 354.24 + 19.53 + (10) 28.74 + 8.50$	669.67
5	$Z = 328.06 + 26.88 + (10) 27.34 + 7.58$	635.92
6	$Z = 336.46 + 26.13 + (10) 22.54 + 6.61$	594.6
7	$Z = 333.18 + 23.98 + (10) 26.34 + 7.59$	628.15

Tabla 4.24. Continuación.

Réplica	Función	Total
8	$Z = 267.22 + 33.70 + (10) 25.21 + 8.11$	561.13
9	$Z = 336.08 + 26.52 + (10) 28.92 + 8.48$	660.28
10	$Z = 266.64 + 30.49 + (10) 26.09 + 6.78$	564.81
11	$Z = 277.58 + 26.37 + (10) 25.44 + 8.26$	566.61
12	$Z = 335.50 + 22.47 + (10) 26.07 + 7.62$	626.29
13	$Z = 330.87 + 26.26 + (10) 27.49 + 7.97$	640
14	$Z = 340.13 + 25.07 + (10) 25.56 + 8.55$	629.35
15	$Z = 279.58 + 30.68 + (10) 28.47 + 7.29$	602.25
16	$Z = 249.83 + 35.20 + (10) 27.88 + 8.55$	572.38
17	$Z = 325.82 + 26.51 + (10) 19.88 + 6.83$	557.96
18	$Z = 365.28 + 26.40 + (10) 27.11 + 7.03$	669.81
19	$Z = 274.56 + 28.03 + (10) 28.74 + 8.14$	598.13
20	$Z = 282.13 + 32.31 + (10) 21.67 + 8.79$	539.93

Tabla 4.25. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 4.

ALTERNATIVA 4		
Réplica	Función	Total
1	$Z = 331.50 + 26.39 + (10) 25.66 + 7.52$	622.01
2	$Z = 276.17 + 24.69 + (10) 27.84 + 7.08$	586.34
3	$Z = 342.71 + 19.18 + (10) 22.84 + 7.60$	597.89
4	$Z = 281.25 + 23.41 + (10) 28.54 + 7.93$	597.99
5	$Z = 271.58 + 17.69 + (10) 31.48 + 8.99$	613.06
6	$Z = 280.64 + 24.62 + (10) 29.79 + 6.97$	610.13
7	$Z = 266.93 + 32.26 + (10) 28.74 + 8.57$	595.16
8	$Z = 265.53 + 34.28 + (10) 25.80 + 6.46$	564.27
9	$Z = 244.05 + 27.23 + (10) 28.00 + 6.78$	558.06
10	$Z = 333.07 + 24.14 + (10) 28.17 + 8.00$	646.91
11	$Z = 255.70 + 22.84 + (10) 26.61 + 7.14$	551.78
12	$Z = 255.29 + 32.41 + (10) 26.94 + 8.98$	566.08
13	$Z = 351.60 + 23.72 + (10) 24.09 + 7.74$	623.96
14	$Z = 254.43 + 25.72 + (10) 25.51 + 6.75$	542
15	$Z = 241.57 + 25.00 + (10) 32.54 + 6.79$	598.76
16	$Z = 331.01 + 19.56 + (10) 28.18 + 7.54$	639.91
17	$Z = 274.67 + 32.23 + (10) 28.14 + 8.41$	596.71
18	$Z = 341.67 + 20.53 + (10) 26.03 + 7.47$	629.97
19	$Z = 279.50 + 26.03 + (10) 26.56 + 9.08$	580.21
20	$Z = 336.54 + 22.53 + (10) 27.22 + 8.40$	639.67

Tabla 4.26. Tiempos totales para las réplicas de la alternativa 5.

ALTERNATIVA 5		
Réplica	Función	Total
1	$Z = 264.51 + 31.04 + (10) 21.82 + 7.37$	521.12
2	$Z = 350.65 + 19.96 + (10) 26.33 + 8.24$	642.15
3	$Z = 276.91 + 22.17 + (10) 27.66 + 8.06$	583.74
4	$Z = 246.25 + 27.98 + (10) 23.97 + 7.13$	521.06
5	$Z = 278.77 + 30.06 + (10) 23.73 + 6.74$	552.87
6	$Z = 329.20 + 16.85 + (10) 24.77 + 7.45$	601.2
7	$Z = 267.32 + 26.76 + (10) 27.22 + 8.94$	575.22
8	$Z = 273.08 + 24.99 + (10) 22.88 + 6.33$	533.2
9	$Z = 280.97 + 20.53 + (10) 27.70 + 8.98$	587.48
10	$Z = 285.72 + 24.69 + (10) 23.66 + 6.67$	553.68
11	$Z = 339.72 + 20.29 + (10) 25.24 + 7.49$	619.9
12	$Z = 337.66 + 19.91 + (10) 29.74 + 8.09$	663.06
13	$Z = 285.77 + 19.83 + (10) 26.47 + 9.54$	579.84
14	$Z = 280.43 + 30.06 + (10) 33.37 + 10.00$	654.19
15	$Z = 270.85 + 28.83 + (10) 24.85 + 6.24$	554.42
16	$Z = 250.99 + 29.57 + (10) 28.92 + 7.84$	577.6
17	$Z = 273.52 + 29.16 + (10) 27.98 + 8.18$	590.66
18	$Z = 259.85 + 27.01 + (10) 25.90 + 7.77$	553.63
19	$Z = 257.24 + 25.81 + (10) 20.04 + 8.46$	491.91
20	$Z = 264.77 + 22.81 + (10) 28.36 + 9.02$	580.2

4.2.2. Aplicación del Diseño de Experimentos De un Solo Factor

Una vez teniendo los datos de la sección anterior se comienza con el desarrollo del diseño de experimentos de un solo factor ya que se requiere comparar más de dos tratamientos, es decir se van a comparar cinco alternativas, con el fin de estudiar si alguna alternativa que se propone es mejor que la original o ya existente. En este caso la variable de interés es el tiempo total de ciclo alcanzado por cada alternativa propuesta después de realizar 20 corridas.

Así, desde el punto de vista estadístico, la hipótesis fundamental a probar cuando se comparan varios tratamientos es:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$
- $H_i: \mu_i \neq \mu_j$ para al menos, $i \neq j$

Se establece el modelo estadístico:

$$\hat{Y}_{ij} = \mu + j_i + E_{ij}$$

$$F_0 = \frac{CM_{TR}}{CM_E}$$

$$SCT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TR} = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i.}^2}{n} - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SC_E = SCT - SC_{TR}$$

Dónde:

- SCT = Es la suma total de cuadrados o variabilidad total de los datos.
- SC_{TR} = Es la suma de cuadrados de los tratamientos que mide la variación o diferencias entre tratamientos.
- SC_E = Es la suma de cuadrados del error que mide la variación dentro de tratamientos.
- CM_{TR} = Son el cuadrado medio de tratamientos.
- CM_E = Es el cuadrado medio del error.
- Y_{ij} = Es un dato que representa la observación j-ésima tomada bajo el tratamiento i-ésimo.
- n = Es el no. de observaciones o réplicas en cada tratamiento.
- N = Es el no. total de observaciones (kn).
- $Y_{i.}$ = Es la suma de las observaciones del tratamiento i.
- $Y_{..}$ = Es la suma total de las N observaciones.
- \bar{Y}_i = Es el promedio de las observaciones del tratamiento i.
- $\bar{Y}_{..}$ = Es la media o promedio global de todas las observaciones.

Se tienen los siguientes datos:

- N = 100
- n = 20
- k = 5

Tabla 4.27. Diseño completamente al azar, comparación de 5 alternativas (5 tratamientos).

NO. DE RÉPLICAS	ALTERNATIVAS					
	1	2	3	4	5	
1	591.05	559.65	672.04	622.01	521.12	
2	536.46	580.53	602.36	586.34	642.15	
3	565.97	661.17	671	597.89	583.74	
4	586.03	662.24	669.67	597.99	521.06	
5	593.37	612.96	635.92	613.06	552.87	
6	515.82	607.65	594.6	610.13	601.2	
7	611.3	560.38	628.15	595.16	575.22	
8	620.26	619.61	561.13	564.27	533.2	
9	575.34	633.26	660.28	558.06	587.48	
10	624.47	648.34	564.81	646.91	553.68	
11	557.35	576.94	566.61	551.78	619.9	
12	555.52	629.6	626.29	566.08	663.06	
13	572.58	646.19	640	623.96	579.84	
14	545.92	584.46	629.35	542	654.19	
15	574.92	616.9	602.25	598.76	554.42	
16	528.93	604.5	572.38	639.91	577.6	
17	596.9	684.67	557.96	596.71	590.66	
18	585.61	582.69	669.81	629.97	553.63	
19	598.53	612.26	598.13	580.21	491.91	
20	627.46	572.5	539.93	639.67	580.2	
TOTAL	11563.79	12256.5	12262.67	11960.87	11537.13	59580.96

Tabla 4.28. Cuadrados de los tiempos de las alternativas propuestas (cuadrados de los tratamientos).

NO. DE RÉPLICAS	ALTERNATIVAS				
	1	2	3	4	5
1	349340.1	313208.1	451637.8	386896.4	271566.1
2	287789.3	337015.1	362837.6	343794.6	412356.6
3	320322	437145.8	450241	357472.5	340752.4
4	343431.2	438561.8	448457.9	357592	271503.5
5	352088	375720	404394.2	375842.6	305665.2
6	266070.3	369238.5	353549.2	372258.6	361441.4
7	373687.7	314025.7	394572.4	354215.4	330878
8	384722.5	383916.6	314866.9	318400.6	284302.2
9	331016.1	401018.2	435969.7	311431	345132.8
10	389962.8	420344.8	319010.3	418492.5	306561.5

Tabla 4.28. Continuación.

NO. DE RÉPLICAS	ALTERNATIVAS					
	1	2	3	4	5	
11	310639	332859.8	321046.9	304461.2	384276	
12	308602.5	396396.2	392239.2	320446.6	439648.6	
13	327847.9	417561.5	409600	389326.1	336214.4	
14	298028.6	341593.5	396081.4	293764	427964.6	
15	330533	380565.6	362705.1	358513.5	307381.5	
16	279766.9	365420.3	327618.9	409484.8	333621.8	
17	356289.6	468773	311319.4	356062.8	348879.2	
18	342939.1	339527.6	448645.4	396862.2	306506.2	
19	358238.2	374862.3	357759.5	336643.6	241975.4	
20	393706.1	327756.3	291524.4	409177.7	336632	
TOTAL	6705021	7535511	7554077	7171139	6693260	35659006.79

$$SCT = 35659006.79 - \frac{59580.96^2}{100} = 160098.84$$

$$SCTR = \frac{11563.79^2 + 12256.5^2 + 12262.67^2 + 11960.87^2 + 11537.13^2}{20} - \frac{59580.96^2}{100} = 25286.39$$

$$SCE = 160098.84 - 25286.39 = 134812.45$$

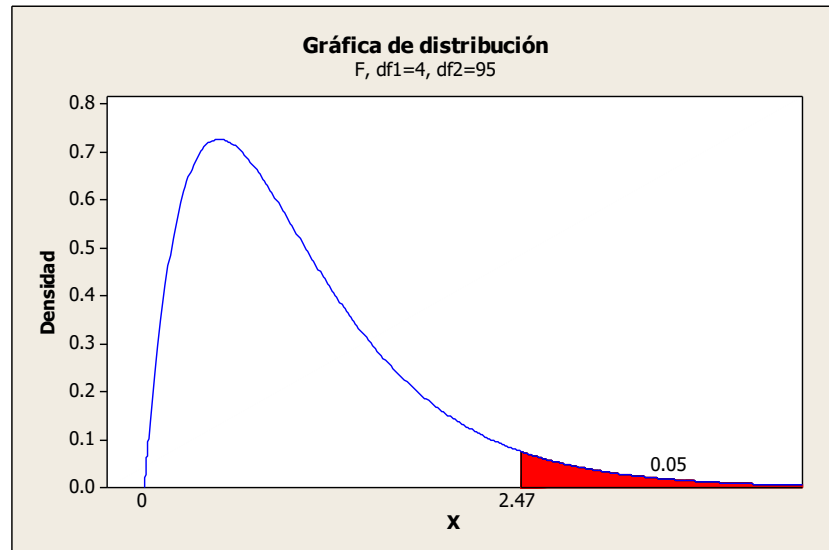


Figura 4.16. Gráfica de distribución de probabilidad para obtener Fc.

Tabla 4.29. ANOVA para las alternativas propuestas.

TABLA DE ANOVA					
FUENTE DE VARIACIÓN	SC	G.L	C.M	Fo	Fc
TRATAMIENTOS	25286.39	$k - 1 = 4$	6321.5975	4.45	2.47
ERROR	134812.45	$N - k = 95$	1419.078421		
TOTAL	160098.84	$N - 1 = 99$			

Interpretación

Dado que $F_c < F_o$ se rechaza H_o , por lo tanto al menos una de las medias es diferente.

La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza va a depender de que los supuestos del modelo se cumplan. Estos supuestos son: normalidad, igualdad de varianza de los tratamientos e independencia.

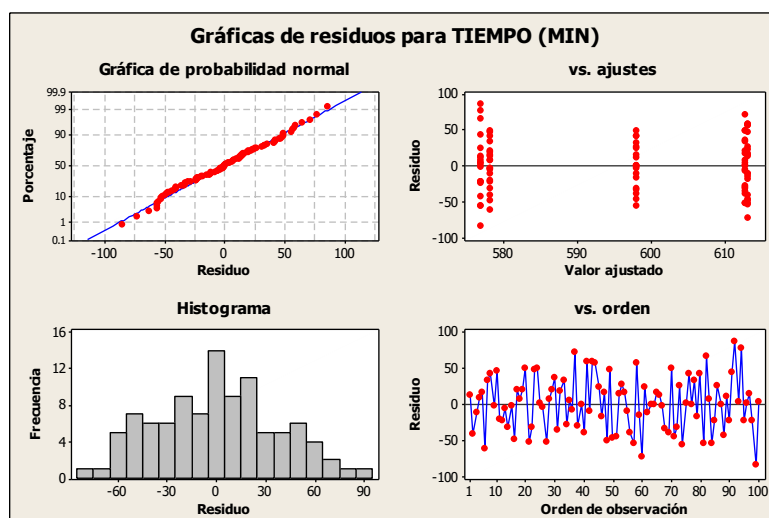


Figura 4.17. Gráfica de residuos para verificación de los supuestos.

Se puede observar claramente en la figura 4.17, que los residuos siguen una distribución normal ya que al graficarlos tienden a quedar alineados en una línea recta. Por lo tanto se cumple con el supuesto de normalidad. También al graficar en el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) y en el eje vertical los residuos, observamos que el comportamiento de los puntos es aleatorio dentro de una banda horizontal, por lo tanto el supuesto de independencia se está cumpliendo. Una forma de verificar el supuesto de varianza constante es graficando los predichos contra los residuos. Si los puntos en esta gráfica se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal entonces es señal de que se cumple el supuesto de que los

tratamientos tienen igual varianza. Cuando los tratamientos o niveles muestran una dispersión diferente de sus residuales correspondientes, es que el factor o los tratamientos tienen un efecto significativo sobre la variabilidad de la respuesta.

Cuando se rechaza H_0 mediante el ANOVA (ver tabla 4.29), se concluye que no hay igualdad entre las medias poblacionales de los tratamientos y no se tiene información específica sobre cuáles tratamientos son diferentes entre sí, por tal motivo se procede con la comparación de medias y se aplica el método LSD (Ver tabla 4.30).

- Alternativa 1 $\mu_1 = 11563.79 / 20 = 578.1895$
- Alternativa 2 $\mu_2 = 12256.5 / 20 = 612.825$
- Alternativa 3 $\mu_3 = 12262.67 / 20 = 613.1335$
- Alternativa 4 $\mu_4 = 11960.87 / 20 = 598.0435$
- Alternativa 5 $\mu_5 = 11537.13 / 20 = 576.8565$

Comparación múltiple de medias:

- $|\mu_1 - \mu_2| = 578.1895 - 612.825 = 34.6355$
- $|\mu_1 - \mu_3| = 578.1895 - 613.1335 = 34.944$
- $|\mu_1 - \mu_4| = 578.1895 - 598.0435 = 19.854$
- $|\mu_1 - \mu_5| = 578.1895 - 576.8565 = 1.333$
- $|\mu_2 - \mu_3| = 612.825 - 613.1335 = 0.3085$
- $|\mu_2 - \mu_4| = 612.825 - 598.0435 = 14.7815$
- $|\mu_2 - \mu_5| = 612.825 - 576.8565 = 35.9685$
- $|\mu_3 - \mu_4| = 613.1335 - 598.0435 = 15.09$
- $|\mu_3 - \mu_5| = 613.1335 - 576.8565 = 36.277$
- $|\mu_4 - \mu_5| = 598.0435 - 576.8565 = 21.187$

$$\text{LSD} = t_{\frac{\alpha}{2}, N - k} \frac{\sqrt{2MCE}}{n}$$

$$\text{LSD} = (1.985251004) (11.9125078) = 23.6493$$

Tabla 4.30. Aplicación de la prueba LSD, comparación de promedios.

Diferencia poblacional	Diferencia muestral en valor absoluto	Decisión	Mejor alternativa
$\mu_1 - \mu_2$	$34.6355 > 23.6493$	Significativo	A1
$\mu_1 - \mu_3$	$34.944 > 23.6493$	Significativo	A1
$\mu_1 - \mu_4$	$19.854 < 23.6493$	No significativo (marginal)	A1
$\mu_1 - \mu_5$	$1.333 < 23.6493$	No significativo	-
$\mu_2 - \mu_3$	$0.3085 < 23.6493$	No significativo	-
$\mu_2 - \mu_4$	$14.7815 < 23.6493$	No significativo	-
$\mu_2 - \mu_5$	$35.9685 > 23.6493$	Significativa	A5
$\mu_3 - \mu_4$	$15.09 < 23.6493$	No significativa	-
$\mu_3 - \mu_5$	$36.277 > 23.6493$	Significativa	A5
$\mu_4 - \mu_5$	$21.187 < 23.6493$	Significativa (marginal)	A5

4.3. Resultados

En las gráficas de las figuras 4.18 y 4.19 se observa que las medias de los tratamientos efectivamente son diferentes y las que tienen los menores tiempos son A1 y A5.

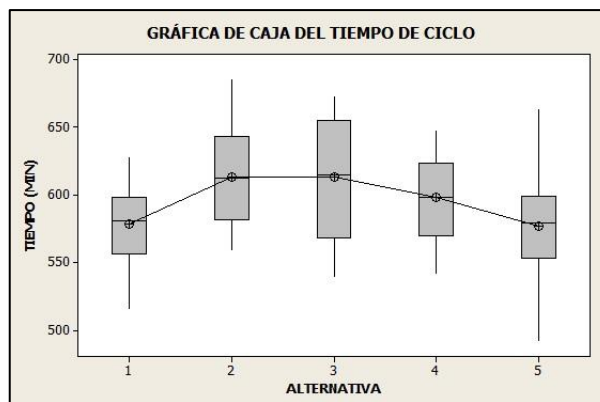


Figura 4.18. Gráfico de cajas de las alternativas.

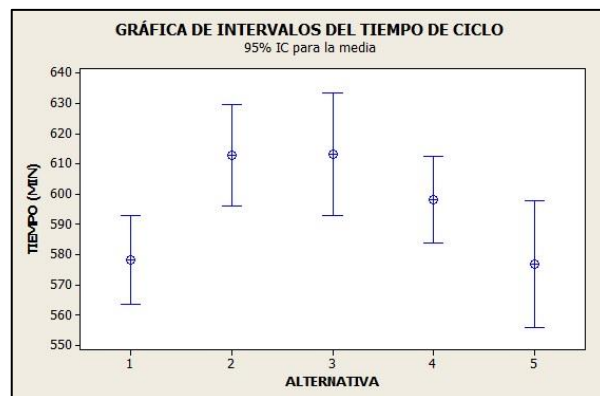


Figura 4.19. Gráfico de medias con el método LS.

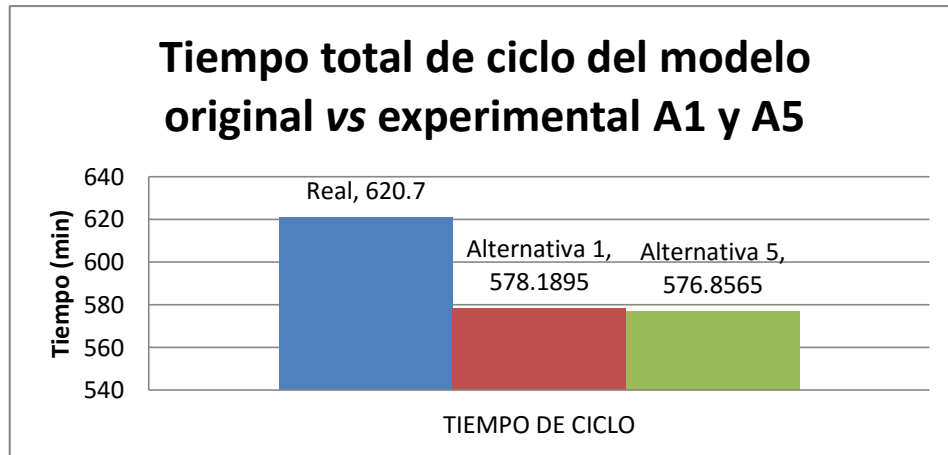


Figura 4.20. Gráfica de resultados finales.

Se le presentó los resultados a las autoridades del centro de distribución de parabrisas y eligieron la alternativa 1, debido a que buscan minimizar el tiempo y la diferencia entre A1 y A5 no es significativa, optaron por la que requiere la inversión mínima. De 620.7 min del tiempo de ciclo del sistema original a 578.1895 min de la alternativa seleccionada A1 se lograron reducir 42.5 minutos (ver figura 4.20).

CAPÍTULO 5

5.1. CONCLUSIONES

Se comprobó que la simulación de eventos discretos es una técnica eficaz que ayuda a representar un sistema complejo como lo son los centros de distribución de parabrisas, gracias a la gran flexibilidad que presentan y junto con la aplicación de diseño de experimentos se logró cumplir el objetivo planteado al inicio de la investigación. Con el diseño de la solución propuesta se reducen los tiempos de ciclo y es más eficiente el flujo de materiales.

El software ProModel® fue la herramienta adecuada para la simulación del estudio gracias a su amigable y sencilla forma de programar y a la gran cantidad de datos que procesa.

Es fundamental que el programador como primera acción tenga buen conocimiento del sistema real que va a modelar, que visite físicamente las instalaciones y se tome el tiempo de observar la operación detenidamente para comprender muy bien su estructura, esto ayuda a realizar un mejor diseño conceptual que sirva de guía para la construcción del modelo de simulación. En el análisis visual de las operaciones del centro de distribución de parabrisas se observó que no había un buen diseño de la distribución interna, el flujo de materiales no era eficiente debido a la mala configuración y había poca relación entre las áreas de cada proceso, lo que ocasionaba que las distancias de recorrido fueran largas y a la vez se incrementaba el tiempo de ciclo.

La investigación de campo para la colección de los datos de entrada fue la etapa que requirió la mayor cantidad de tiempo invertido con una duración de 6 meses. La información se obtuvo por medio de la toma de tiempos con cronómetro, archivo histórico y entrevista a personal encargado y operadores.

Las etapas de construcción del modelo conceptual y colección de datos son clave en un proyecto de simulación, no se pueden seguir pasos improvisados puesto que estas son la base fundamental del programa. Mientras más apegado esté el modelo a la realidad, el proyecto tiende a ser exitoso. Por lo tanto conviene invertirle tiempo a estas etapas para evitar re-trabajos.

Las técnicas estadísticas se usaron durante toda la simulación, pero fueron imprescindibles en la etapa de validación debido a que es necesario conocer hasta qué punto el modelo representa bien la realidad y si no es así, conocer en qué procesos falla y a qué son debidos, pues no se debería comenzar una previsión futura antes de ser validado el modelo. En este estudio por medio de una prueba de hipótesis de diferencia de medias entre el sistema real y el sistema simulado, se concluyó que el modelo de simulación es una representación válida y real del centro de distribución de parabrisas.

El modelo de simulación del sistema real ya validado, como su nombre lo dice solo es la representación válida del sistema real, no la solución al problema. El software ProModel® no genera automáticamente la solución, para encontrarla el modelador y los involucrados en el proyecto deben proponerla, simularla y evaluarla, es decir, experimentar con el modelo haciendo ciertas modificaciones en el modelo original, que se crea que pueden solucionar el problema, así se generan los escenarios alternos y los resultados obtenidos de ellos son los que se evalúan, según la variable de rendimiento que se estudia. Como no hay una metodología ni pasos a seguir para encontrar la solución al problema, se recomienda recurrir a la teoría existente de los patrones estándar de flujo de materiales.

De las 5 alternativas propuestas por medio de la aplicación del diseño de experimentos de un solo factor se seleccionaron las que contaban con los menores tiempos, siendo la alternativa 1 y la alternativa 5. Debido a que el objetivo es reducir el tiempo de ciclo y las alternativas 1 y 5 no tienen diferencia significativa, las autoridades del centro de distribución de parabrisas eligieron la alternativa 1 ya que requiere menor inversión. Logrando reducir 42.5 minutos el tiempo de ciclo con respecto al original.

5.2. RECOMENDACIONES

A continuación como aporte se establece una metodología detallada con recomendaciones importantes para tener en cuenta en el desarrollo de proyectos similares:

- I. Observar el sistema (realizar como mínimo 3 visitas físicamente a las instalaciones para observar el sistema y entablar dialogo con jefes y operadores para que el modelador tenga muy buen entendimiento de la estructura y forma de operar del sistema que desea simular).
- II. Describir el sistema que se desea simular (registrando lo observado incluyendo los subsistemas y las actividades que se realizan en cada uno).
- III. Hacer una lista de áreas de oportunidad que se detectaron en la observación (ayuda a tener ideas para proponer la solución y a definir el problema).
- IV. Redactar el propósito de la simulación y la variable de rendimiento que se desea medir.
- V. Identificar los elementos del modelo de simulación (entidades, locaciones, recursos, rutas, atributos, arribos).
- VI. Realizar un diagrama de cajas del flujo de las entidades (facilita el entendimiento lógico para la programación).
- VII. Obtener el plano de la distribución física de la empresa con medidas y a escala (para facilitar la programación de las rutas en el software ProModel®, si no se tiene se recomienda elaborarlo en AutoCAD).
- VIII. Recolectar la información requerida para los datos de entrada en ProModel® (se puede conseguir del archivo histórico de la empresa, cámaras de seguridad, de registro en sistemas como SAP, ORACLE, etc. Y la que no se encuentre se debe obtener por medio de una investigación de campo donde se toman los tiempos con cronómetro directamente del sistema).
- IX. Planear la toma de tiempos con cronómetro:
 - Establecer un horario fijo para ir a la empresa a realizar la toma de tiempos.
 - Realizar la misma cantidad de observaciones por día.
 - Identificar las actividades a cronometrar.

- Establecer a partir de donde iniciar el cronómetro y donde parar el cronómetro para cada actividad con la finalidad de tener datos más exactos, o en caso de que sean dos o más personas las que están cronometrando.
 - Elegir en que unidad de tiempo se va a trabajar (segundos, minutos u horas).
 - Cronometrar de forma separada el tiempo que la entidad permanece en la locación realizando su actividad correspondiente y el tiempo de traslado de dicha entidad para facilitar la programación. (tener registrados los tiempos de traslado ayuda en dos cosas, la primera es que ayudan a verificar el correcto funcionamiento del modelo y la segunda es que si la entidad es movida por un recurso como un montacargas, estos no cuentan con un velocímetro como los automóviles por lo tanto teniendo estos datos es posible deducir su velocidad).
 - Hacer una tabla para el registro que contenga los siguientes datos: actividad o proceso observado, número de muestra, fecha y tiempo (no olvidar especificar las unidades minutos, segundos, horas).
- X. Tomar las muestras necesarias para cada actividad, iniciar con 30 observaciones, aplicar la fórmula para calcular el tamaño de muestra y si se requieren más de 30, regresar al campo y tomarlas.
- XI. Ajustar los datos obtenidos en el muestreo a distribuciones de probabilidad utilizando la herramienta STAT-FIT que contiene el software ProModel®.
- XII. Programar el modelo en el software ProModel® (es un software sencillo para programar y puede procesar gran cantidad de información, por otra parte la animación y resultados los muestra de una forma fácil de entender).
- XIII. Verificar el programa (una forma de hacerlo es que a la hora de que esté corriendo la animación, comparar que coincidan los tiempos de traslado con el sistema real y poner variables o contadores).
- XIV. Analizar los resultados de salida con los pasos propuestos por Harrell, Ghosh y Bowden, 2004 (para calcular el número de réplicas necesarias y establecer el intervalo de confianza).
- XV. Validar el modelo por medio de una prueba de hipótesis de diferencia de medias (entre el sistema real y el modelo de simulación).

- XVI. Proponer alternativas de posible solución al problema (se puede hacer una lluvia de ideas entre los involucrados en el proyecto y/o recurrir a la teoría existente de los patrones estándar de flujo de materiales propuestos por Sebastián Obando, Estefanía Vélez, Laura C. Fernández y Ana C. Zúñiga, 2013).
- XVII. Seleccionar la solución al problema (aplicar diseño de experimentos para comparar las alternativas propuestas y seleccionar la mejor).
- XVIII. Escribir resultados y conclusiones.

Se recomienda como trabajo futuro:

- Tomar en cuenta la variable costo, para saber la relación entre tiempo y costo, es decir, que porcentaje de costo se ahorra al minimizar el tiempo de ciclo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Baker P. & Halim Z. An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2007, Vol. 12, p. 129 – 138.

[2] Edward Frazelle y Ricardo Sojo. *Logística de almacenamiento y manejo de materiales de clase mundial*. Editorial Norma. Bogotá, 2006.

[3] Correa A; Gómez R. y Cano J. *Gestión de Almacenes y Tecnologías de Información y Comunicaciones*. *Estudios Gerenciales Colombia*, 2010. Vol. 26, p. 145-171.

[4] Gómez Rodrigo y Correa Alexander. *Mejoramiento del cargue en el despacho de un centro de distribución utilizando superficies de respuesta*. Colombia, 2012. *Revista Lasallista de Investigación*, Vol. 9, N° 1, p. 70-85.

[5] Saldarriaga R. Diego Luis. *Funciones y diseño de un centro de distribución de clase mundial*. MBA. Fecha de consulta: Diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.famiu.com.co/anexos/documentos/Cap%C3%ADtulo%205-Indicado%20Vd...pdf>

[6] Bartholdi J.J. & S. T. Hackman. *Allocating space in a forward picking area of a distribution center for small parts*. Georgia Institute of Technology. Atlanta, USA, 2008.

[7] Batero Jorge y Bañol Daniel. *Diseño de modelo estratégico y sistemático para las buenas prácticas de picking*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.

[8] Baker.P & Canessa.M. *Warehouse design: A structured approach*. *European Journal of Operational Research*, 2009, Vol. 193, p. 425-436.

[9] Gu J; Goetschalckx M. & Mcginnis L. *Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review*. *European Journal of Operational Research*, 2010, Vol. 203, p. 539-549.

[10] Gómez R. y Correa A. *WMS y simulación discreta en la operación de un centro de distribución*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín 2011.

- [11] Gagliardi Jean; Renaud Jacques & Ruíz Ángel. Simulation model to improve warehouse operations. Simulation Conference, 2007, p. 2012-2018.
- [12] Buil Roman & Piera Miguel. Warehouse redesign to satisfy tight supply chain management constraints. WSEAS Trans. Info. Sci. and App. 2008, Vol. 5, N° 3, p. 286-291.
- [13] Chiang, Russell, Xu & Zepeda. A simulation/metaheuristic approach to newspaper production and distribution supply chain problems. International International Journal of Production Economics, 2009, Vol. 121, N° 2, p. 752-767.
- [14] Potter Andrew; Yang Biao & Lalwani, Chandra. A simulation study of despatch bay performance in the steel processing industry. European Journal of Operational Research, 2007, Vol.179, N° 2, p. 567-578.
- [15] Wang, Bin & Tang, Guochun. Stochastic Optimization Model for Container Shipping of Sea Carriage. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, Vol. 10, N° 3, p. 58-63.
- [16] Ekren Banu; Heragu Sunderesh; Krishnamurthy & Malmborg Charles. Simulation based experimental design to identify factors affecting performance of AVS/RS. Computers & Industrial Engineering, 2010, Vol. 58, N° 1, p. 175-185.
- [17] Gómez R. y Correa A. Mejoramiento de la recepción en una empresa de colchones utilizando simulación y diseño de experimentos. Revista Lasallista de Investigación, 2011, Vol. 8, N° 1, p. 68-81.
- [18] Sing SP. & Sharma RRK. A review of different approaches to facility layout problems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, Vol. 30, p. 425-433.
- [19] Meller Russell & Gau Kai-Yin. The facility layout problem: recent and emerging trends and perspectives. Journal of Manufacturing Systems, 1996, Vol. 15, N° 5, p. 351-356.
- [20] Lamar M. & Benjaafar, S. Design of distributed layouts. IIE Transactions, 2005, Vol. 37, p. 303-318.

- [21] Baykasoglu A; Dereli T; & Sabuncu I. An ant colony algorithm for solving budget constrained and unconstrained dynamic facility layout problems. *Omega: The International Journal of Management Science*, 2006, Vol. 34, p. 385-396.
- [22] Afentakis P; Miller R. & Solomon M. Dynamic layout strategies for flexible manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 1990, Vol. 28, N° 2, p. 311-323.
- [23] Wrennal W. Facilities Planning and Design: A Foundation of the BPR Pyramid. *Industrial Management*, 1997, Vol. 39, N° 4, p. 7-11.
- [24] Braglia M; Zanoni S. & Zavanella L. Layout design in dynamic environments: analytical issues. *International Transactions in Operational Research*, 2005, Vol. 12, p. 1-19.
- [25] Benjaafar S; Heragu S. & Irani S. Next Generation Factory Layouts: Research Challenges and Recent Progress. *Interfaces*, 2002, Vol. 32 N° 6, p. 58- 76.
- [26] Ferrari E; Pareschi A; Persona A. & Regattieri A. Plant Layout Computerized Design and Relayout Program (LRP). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, Vol. 21, p. 917-922.
- [27] Salazar AF; Vargas LC; Añasco CE. y Orejuela JP. (2010). Propuesta de distribución en planta bietapa en ambientes de manufactura flexible mediante el proceso analítico jerárquico. *Revista EIA*, 2010, Vol. 14, p. 161-175.
- [28] Rivera L; Cardona L; Vásquez L. y Rodríguez M. Selección de alternativas de redistribución de planta: un enfoque desde las organizaciones. *Revista 2012. S&T*, Vol. 10, N° 23, p. 9-26.
- [29] Eva Enriqueta Marañón Loayza. Diseño e implementación del planeamiento sistemático en la disposición de planta de una empresa de bordados y estampados. Universidad San Martín de Porres. Lima, Perú 2004.

- [30] Gustavo Adolfo Flórez Mosquera e Isabel Cristina Parrado Arcos. Propuesta de mejoramiento para la distribución de planta de una empresa manufacturera. Universidad Icesi Cali. Colombia, 2010.
- [31] Martín Darío Arango Serna; Julián Andrés Zapata y Jorge Isaac Pemberthy. Reestructuración del layout de la zona de picking en una bodega industrial. N° 32 revista de ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia, 2010, p. 54-61, ISSN. 0121-4993.
- [32] J.J. Bartholdi, S.T. Hackman. Warehouse & distribution science. Fecha de consulta: Diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.tli.gatech.edu/whscience/book/wh-sci.pdf>
- [33] John Jairo Vergel Ramírez. Propuesta y análisis del diseño y distribución de planta de Alfering limitada sede II. Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia, 2009.
- [34] Bertha Díaz Garay, Benjamín Jarufe y María Teresa Noriega. Disposición de planta. Universidad de Lima. Segunda edición. Lima, Perú 2008.
- [35] Martín Muñoz Cabanillas. Diseño de distribución en planta de una empresa textil. Universidad Mayor de San Marcos. Lima, Perú 2004.
- [36] Omar bolaños plata. Importancia de la simulación en la mejora de procesos. Universidad Nacional Autónoma de México, 2004.
- [37] Gerardo Villamizar Plata. La simulación de procesos en el siglo XXI: Una herramienta poderosa. Revista Virtual Pro, N° 45. Bogotá, Colombia, 2005.
- [38] Robert E. Shannon, citado en Coss Bú, Raúl, “Simulación: un enfoque práctico”, Limusa, México, 2003, p.12, 123, 14.
- [39] Carlos Omar Maxera Bedon. Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú, 2005.
- [40] Alonso Revenga y Juana M. Flujo en Redes y Gestión de Proyectos. Teoría y Ejercicios Resueltos, edición 2008, Editorial Netbiblo, p. 193.

- [41] Mikel Ferreiro Villa Luenga, Cristina Azcárate Camino y Fermín Mallor Giménez. Simulación del proceso productivo de INSA FOIL, S.A. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona, 2011.
- [42] Fundación Pro dintec. La Simulación de Procesos Industriales: Clave en la toma de decisiones para procesos de reingeniería de planta y diseño de nuevas instalaciones de fabricación. Centro tecnológico para el Diseño y la Producción Industrial de Asturias, 2010.
- [43] Eduardo García Dunna, Heriberto García Reyes y Leopoldo E. Cardenas Barrón. Simulación y análisis de sistemas con Promodel. Primera edición. Pearson, 2006.
- [44] Jaime Barcelo. Simulación de sistemas discretos. Primera edición. ISDEFE, 1996.
- [45] Toni Monleón Getino. Optimización de los ensayos clínicos de fármacos mediante simulación de eventos discretos, su modelización, validación, verificación y la mejora de la calidad de sus datos. Universitat de Barcelona, 2005.
- [46] Obaidat M. & Papadimitriou G. Applied system simulation: methodologies and applications. First edition, Massachusetts: Springer, 2003, p. 34.
- [47] Francisco Pérez Pereira. Análisis de una línea de ensamble de camiones y simulación de alternativas de mejora. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Mineral de la reforma, Hidalgo, 2007.
- [48] Investigación de operaciones S.A. Promodel. Fecha de consulta Diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.iosa.com.pe/productos/promodel>
- [49] Banks J; Carson J; Nelson B. & Nicol D. Discrete – Event system simulation. Prentice Hall Inc., Fourth edition, New Jersey, USA, 2005, p. 624.
- [50] Law Averill & Kelton W. Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill, Second edition, 1991.

- [51] Antoni Guasch, Miquel Àngel Piera, Josep Casanovas y Jaume Figueras. Modelado y simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios. Alfaomega grupo editor S.A. de C.V. Primera edición, México D.F. 2005, p. 358.
- [52] López A. Medina S. V. et. Al. Congreso Internacional de investigación Academia Journal. Chiapas, México, 2012, Vol. 4, No° 2, p. 1642-1647.
- [53] Shannon, R. E. Simulation modeling and methodology. 1977, Vol. 8, N°3, p. 33-38.
- [54] S.C. Ward. Arguments for Constructively Simple Models. The Journal of the Operational Research Society. Vol. 40, No. 2, 1989, p. 141-153.
- [55] Shannon, R. E. Introduction to the art and science of simulation. Winter simulation conference. Texas, 1998, p. 7-14.
- [56] Robinson Stewart. Simulation: The practice of model development and use. Warwick Bussiness School. John Wiley & Sons. Ltd, 2004.
- [57] Michael Pidd. Just Modeling Through: A Rough Guide to Modeling. Institute for Operations Research and the Management Sciences. 1999, Vol. 29, N° 2, p. 118-132.
- [58] Michael Pidd. Tools for thinking: Modeling in Management Science. Second edition, Chichester: John Wiley & Sons Ltd. England, 2003, p.332.
- [59] Nibbel W. Benjamin & Frievals Andri. Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. McGraw-Hill Interamericana. Duodécima edición, México D.F. 2009, p. 586.
- [60] Jerry Banks. Handbook of simulation: Principles, methodoligy, advances, applications and practice. John Wiley & Sons. First edition, USA, 1998, p. 849.
- [61] W. David Kelton, Randall P. Sadowski y David T. Sturrock. Simulación con arena. McGraw-Hill Interamericana. Cuarta edición, México, D.F. 2008, p. 631.
- [62] Charles R. Harrell; Biman K. Ghosh & Royce O. Bowden. Simulation using Promodel. Second edition, McGraw-Hill, 2004, p. 526.

- [63] Sebastián Obando, Estefanía Vélez, Laura C. Fernández y Ana C. Zuñiga. Bases para la distribución en almacenes: una aproximación. *Journal of engineering and technology*, 2013, Vol. 2, N° 1, p. 46 ISSN: 2256-3903.
- [64] Alfredo Caso Neira. Técnicas de medición del trabajo. Fundación Confemetal. Segunda edición, 2006. p. 70–84.
- [65] Badii M. H. y A. Guillen. Decisiones Estadísticas: Bases teóricas. *Internacional Journal of good conscience*, 2010, Vol. 5, N°1, p. 185-207.
- [66] Cakmak E; Gunay N; Aybakan G. & Tanyas M. Determining the size and design of flow type and U-Type warehouses. *Procedia – Social and Behavioral sciences*, 2012, Vol. 58, p. 1425-1433.
- [67] Marcos Javier Moya Navarro. Investigación de Operaciones. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 2003. ISBN 9977-64-543-4
- [68] Menphis Sofonias Reyes Mazariegos y José Manuel Tay Oroxom. Aplicación del diseño experimental en el desarrollo de las prácticas internas, en el área de operaciones unitarias, Universidad de San Carlos, Guatemala. 2009.
- [69] Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar. Análisis y diseño de experimentos. Segunda edición, McGraw-Hill, México, 2008, p. 545
- [70] Laura Ilzarbe Izquierdo; Martín Tanco; Elisabeth Viles y María Jesús Álvarez Sánchez-Arjona. El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta. *Tecnura*, 2007. Fecha de consulta: Diciembre de 2015. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257021012011>> ISSN 0123-921X
-

ANEXO 2

DOCUMENTOS DEL CEDIS

2.1. Hoja con la lista de verificación para camiones

CHECKLIST DE ENTRADA AL TRAILER/ARRIBO Y SALIDA			
Número de contenedor:	Fecha:	Hora de arribo:	Hora de salida:
SECCION I.- Revisar antes de entrar al contenedor con el montacargas			
1- Los topes para llantas estan colocados o el contenedor fijado con el gancho de la rampa	Aceptar	Rechazar	
2- Está apagado el motor del tractocamión y desconectado del contenedor			
3- Los gatos estabilizadores estan colocados en contenedor			
4- Está activado el semaforo de seguridad de la rampa			
Observaciones / Comentarios:			
SECCION II.- Puntos a inspeccionar en parte interna del contenedor.			
1- La ceja de rampa esta colocada apropiadamente y en buenas condiciones	Aceptar	Rechazar	
2- Las paredes estan en buenas condiciones sin rajaduras, aberturas, reparaciones.			
3- La plataforma o piso se encuentra en buenas condiciones sin aberturas, rajaduras, reparaciones etc...			
4- El techo se encuentra en buenas condiciones sin aberturas, rajaduras reparaciones etc...			
5- La plataforma del contenedor es segura para las manieobras (Ej. Bien alineada contra rampa, buena estabilidad y sin inclinacion hacia los lados)			
6- Presencia de objetos no identificados olores extraños o no comunes (Ej. Paquetes, materiales, quimicos, artefactos, etc..)			
7- Antes de cargar, verificar las condiciones de limpieza interna de la caja, no basura no vidrios rotos, no cartones o papeles, no materiales que pongan en riesgo la carga o el transito interno de los peatones y equipos de descarga, limpiar para proceder			
8- Condiciones de los tornillos en los durmientes o travesaños para fijar piso de madera (Se acepta si tiene al menos un tornillo por cada tira de madera vertical por durmiente)			
Observaciones / Comentarios:			
SECCION III.- Puntos a inspeccionar en parte externa del contenedor.			
1- Condicion de remaches que fijan los durmientes o travesaños del piso (2 remaches faltantes por durmiente o 1 remache faltante en 2 durmientes consecutivos se rechaza)	Aceptar	Rechazar	
2- Los ejes estan recorridos y el perno de seguridad colocado correctamente			
Nota: Con todos los puntos aprobados proceder con la carga o descarga, con puntos no conformes avisar en el momento a su jefe inmediato o supervisor para reevaluar los puntos.			
Observaciones / Comentarios:			
"El objetivo principal de la revisión al contenedor, es mirar por lugares ocultos y contrabando"			

Forma RH-04-005 Rev. 4

Figura 2.1. Lista de verificación para camiones.

2.2. Nota de transporte



Mexicali Notas de Transporte 30.06.2015										
Maestro U.M.: 930004699										
N° Transporte: 34013184										Status. 1
Cliente: 0000045000										
Fila Pick	SP	GK	P1	P2	P3	P4				
Vidrio Ctd			23	0	0	0				
Ctd Accesorio										
Ruta	USST									
Texto Comercial										
Almacenista						Firma _____				

Figura 2.2. Nota de transporte.

ANEXO 3

COLECCIÓN DE DATOS EN INVESTIGACIÓN DE CAMPO

3.1. Toma de tiempos con cronómetro para el subsistema de recibo

Tabla 3.1. Recolección de datos del componente aleatorio Alta en SAP.

ALTA EN SAP			
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (HR)	TIEMPO (MIN)
1	01-sep-15	1.5	90
2	03-sep-15	2.13	127.8
3	11-sep-15	2.1	126
4	17-sep-15	1.51	90.6
5	29-sep-15	1.43	85.8
6	08-oct-15	1.44	86.4
7	13-oct-15	1.3	78
8	14-oct-15	3.33	199.8
9	16-oct-15	1.55	93
10	20-oct-15	2.46	147.6
11	23-oct-15	2.19	131.4
12	30-oct-15	2.52	151.2
13	03-nov-15	2.19	131.4
14	06-nov-15	1.56	93.6
15	09-nov-15	2.17	130.2
16	20-nov-15	2.16	129.6
17	25-nov-15	2.01	120.6
18	27-nov-15	2.13	127.8
19	30-nov-15	2.11	126.6
20	08-dic-15	1.72	103.2
21	09-dic-15	2.01	120.6
22	12-dic-15	1.41	84.6
23	22-dic-15	2.04	122.4
24	14-ene-16	2.12	127.2
25	15-ene-16	2.07	124.2
26	18-ene-16	1.81	108.6
27	21-ene-16	2.2	132
28	03-ene-16	1.85	111
29	05-feb-16	2	120
30	11-feb-16	1.73	103.8

Tabla 3.2. Recolección de datos del componente aleatorio procesamiento de un paquete.

PROCESAMIENTO DE UN PAQUETE		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	02-nov-15	8.15
2	02-nov-15	9.1
3	02-nov-15	10.35
4	02-nov-15	13.31
5	25-nov-15	5.67
6	25-nov-15	7.2
7	25-nov-15	7.72
8	25-nov-15	6.73
9	25-nov-15	5.72
10	25-nov-15	9.72
11	30-nov-15	12.6
12	30-nov-15	8.29
13	30-nov-15	9.11
14	01-dic-15	10.07
15	01-dic-15	9.86
16	01-dic-15	11.12
17	01-dic-15	19.87
18	01-dic-15	13.22
19	01-dic-15	25.72
20	01-dic-15	15.45
21	01-dic-15	10.37
22	01-dic-15	13.38
23	23-dic-15	11.54
24	23-dic-15	9.24
25	23-dic-15	10.38
26	23-dic-15	11.32
27	23-dic-15	9.42
28	23-dic-15	11.17
29	23-dic-15	7.48
30	23-dic-15	11.56

Tabla 3.3. Recolección de datos del componente aleatorio acomodo de cajas en P4.

ACOMODO DE CAJAS EN P4		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	02-nov-15	2.2
2	02-nov-15	2.95
3	02-nov-15	2.91
4	02-nov-15	4.81
5	25-nov-15	3

Tabla 3.3. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
6	25-nov-15	2.73
7	25-nov-15	4.15
8	25-nov-15	3.44
9	25-nov-15	1.56
10	25-nov-15	3.86
11	30-nov-15	7.36
12	30-nov-15	1.41
13	30-nov-15	1.18
14	01-dic-15	6.18
15	01-dic-15	1.24
16	01-dic-15	3.06
17	01-dic-15	3.42
18	01-dic-15	5.33
19	01-dic-15	2.07
20	01-dic-15	0.92
21	01-dic-15	1.12
22	01-dic-15	5.07
23	23-dic-15	5.97
24	23-dic-15	7.03
25	23-dic-15	1.27
26	23-dic-15	1.79
27	23-dic-15	6.54
28	23-dic-15	1.78
29	23-dic-15	2.39
30	23-dic-15	2.15
31	23-dic-15	3.44
32	19-ene-16	6.18
33	19-ene-16	4.46
34	19-ene-16	2.49
35	19-ene-16	3.44
36	05-feb-16	2.28
37	18-feb-16	1.46
38	18-feb-16	5.14
39	18-feb-16	3.49
40	18-feb-16	2.15
41	18-feb-16	5.2
42	18-feb-16	2.12
43	18-feb-16	3.44
44	18-feb-16	4.1
45	18-feb-16	1.14
46	18-feb-16	1.32
47	18-feb-16	1.59
48	26-feb-16	1.55
49	26-feb-16	1.22
50	26-feb-16	2.21

Tabla 3.3. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
51	26-feb-16	3.15
52	26-feb-16	1.54
53	26-feb-16	0.92
54	26-feb-16	1.55
55	03-mar-16	2.37
56	03-mar-16	3.06
57	03-mar-16	0.57
58	03-mar-16	17.38
59	03-mar-16	2.54
60	03-mar-16	2.02
61	03-mar-16	1.26
62	03-mar-16	3.31
63	03-mar-16	3.03

3.2. Toma de tiempos con cronómetro para el subsistema de resurtido de estantes

Tabla 3.4. Recolección de datos del componente aleatorio bajar cajas.

BAJAR CAJAS		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	15-dic-15	13.96
2	15-dic-15	6.27
3	15-dic-15	19.4
4	15-dic-15	7.01
5	15-dic-15	5.17
6	15-dic-15	5
7	15-dic-15	7.47
8	16-dic-15	8.5
9	16-dic-15	5.48
10	16-dic-15	9.1
11	16-dic-15	6.54
12	16-dic-15	12.51
13	16-dic-15	22.23
14	16-dic-15	28.41
15	24-dic-15	12.33
16	24-dic-15	3.42
17	28-dic-15	3.17
18	28-dic-15	21.39

Tabla 3.4. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
19	28-dic-15	24.29
20	28-dic-15	1.33
21	28-dic-15	4.41
22	28-dic-15	4.36
23	28-dic-15	22.17
24	13-ene-16	27.55
25	13-ene-16	14.46
26	13-ene-16	3.22
27	13-ene-16	17
28	15-ene-16	4.36
29	15-ene-16	6.53
30	18-ene-16	4.2
31	18-ene-16	3.41
32	18-ene-16	32.55
33	20-ene-16	14.09
34	20-ene-16	9.51
35	20-ene-16	10.06
36	25-ene-16	8.07
37	25-ene-16	21.22
38	25-ene-16	22.21
39	25-ene-16	10.25
40	28-ene-16	13.54
41	28-ene-16	8.04
42	28-ene-16	8.48
43	28-ene-16	12.5
44	28-ene-16	12.39
45	29-ene-16	6.53
46	02-feb-16	37.06
47	02-feb-16	30.32
48	02-feb-16	11.43
49	02-feb-16	9.11
50	02-feb-16	24.56
51	02-feb-16	21.51
52	04-feb-16	15.37
53	04-feb-16	9.1
54	04-feb-16	7.33
55	04-feb-16	9.17
56	04-feb-16	17
57	04-feb-16	12.36
58	04-feb-16	14.54
59	04-feb-16	10.3
60	08-feb-16	1.13
61	08-feb-16	10.58
62	08-feb-16	14.19
63	08-feb-16	10.28
64	08-feb-16	23.47

Tabla 3.4. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
65	08-feb-16	18.42
66	09-feb-16	12.12
67	09-feb-16	17.03
68	09-feb-16	10.4
69	09-feb-16	13.03
70	09-feb-16	11
71	09-feb-16	2.25
72	10-feb-16	17.15
73	10-feb-16	25
74	10-feb-16	4.43
75	10-feb-16	12.29
76	11-feb-16	3.21
77	15-feb-16	8.19
78	15-feb-16	16.45
79	15-feb-16	13.55
80	15-feb-16	10.04
81	15-feb-16	6.18
82	15-feb-16	7.35
83	15-feb-16	10.14
84	15-feb-16	3.48
85	15-feb-16	7.05
86	17-feb-16	3.39
87	17-feb-16	10.33
88	17-feb-16	6.55
89	17-feb-16	30
90	19-feb-16	21.1
91	19-feb-16	5.24
92	19-feb-16	4.44
93	19-feb-16	6.26
94	19-feb-16	10.47
95	22-feb-16	18.43
96	22-feb-16	19.55
97	23-feb-16	8.05
98	23-feb-16	5.02
99	23-feb-16	4.39

Tabla 3.5. Recolección de datos del componente aleatorio apertura de cajas.

APERTURA DE CAJAS		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	08-sep-15	4.25
2	08-sep-15	3.87
3	08-sep-15	4.32
4	08-sep-15	6.52

Tabla 3.5. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
5	08-sep-15	4.64
6	08-sep-15	4.22
7	08-sep-15	3.8
8	09-sep-15	16.7
9	10-sep-15	3.37
10	10-sep-15	5.47
11	28-sep-15	2.54
12	28-sep-15	4.68
13	28-sep-15	10.61
14	29-sep-15	3.55
15	29-sep-15	5.35
16	12-oct-15	6.32
17	12-oct-15	11.5
18	12-oct-15	5.25
19	12-oct-15	6.07
20	14-oct-15	6
21	14-oct-15	6.53
22	14-oct-15	4.37
23	14-oct-15	7.03
24	15-oct-15	7.19
25	15-oct-15	7.21
26	15-oct-15	5.53
27	15-oct-15	12.3
28	19-oct-15	9.27
29	19-oct-15	5.46
30	19-oct-15	7.12
31	19-oct-15	5.25
32	19-oct-15	6.54
33	23-oct-15	5.35
34	23-oct-15	6.32
35	17-nov-15	4.53
36	17-nov-15	4.19
37	17-nov-15	4.7
38	18-nov-15	5.55
39	18-nov-15	4.5
40	20-nov-15	5.51
41	20-nov-15	8.58
42	20-nov-15	5
43	20-nov-15	4.8

Tabla 3.6. Recolección de datos del componente aleatorio acomodo de cajas en estantes.

ACOMODO DE CAJAS EN ESTANTE		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	08-sep-15	2.5
2	08-sep-15	6.58
3	08-sep-15	6.43
4	08-sep-15	2.46
5	08-sep-15	5.35
6	08-sep-15	2.24
7	08-sep-15	6.16
8	09-sep-15	5.57
9	10-sep-15	10.54
10	10-sep-15	4.34
11	28-sep-15	4.36
12	28-sep-15	1.23
13	28-sep-15	2.05
14	29-sep-15	5.26
15	29-sep-15	5.08
16	12-oct-15	2.39
17	12-oct-15	2.46
18	12-oct-15	2.15
19	14-oct-15	5.03
20	14-oct-15	2.18
21	14-oct-15	3.24
22	14-oct-15	2.34
23	15-oct-15	3.23
24	15-oct-15	3.42
25	15-oct-15	3.27
26	15-oct-15	3.45
27	19-oct-15	2.21
28	19-oct-15	4.27
29	19-oct-15	4.02
30	19-oct-15	2.05
31	19-oct-15	2.2
32	23-oct-15	1.13
33	23-oct-15	2.29
34	17-nov-15	9.18
35	17-nov-15	2.03
36	17-nov-15	3.16
37	17-nov-15	4.17
38	17-nov-15	5.51
39	17-nov-15	8.55
40	18-nov-15	5.12
41	18-nov-15	5.02

Tabla 3.6. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
42	18-nov-15	10.59
43	18-nov-15	10.59
44	20-nov-15	6.17
45	20-nov-15	8.5
46	20-nov-15	5.12
47	20-nov-15	3.5
48	23-nov-15	2.35

3.3. Toma de tiempos con cronómetro para el subsistema de picking

Tabla 3.7. Recolección de datos del componente aleatorio preparación de la caja.

PREPARACION DE LA CAJA		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	21-oct-15	3.27
2	22-oct-15	1.45
3	22-oct-15	3.23
4	22-oct-15	2.17
5	22-oct-15	2.07
6	23-oct-15	2.05
7	23-oct-15	0.54
8	23-oct-15	2.45
9	23-oct-15	6.58
10	27-oct-15	1.45
11	27-oct-15	3.56
12	27-oct-15	3.15
13	03-nov-15	0.39
14	11-nov-15	2.11
15	11-nov-15	0.42
16	11-nov-15	1.84
17	11-nov-15	3.18
18	17-nov-15	2.41
19	17-nov-15	2.26
20	20-nov-15	2.17
21	20-nov-15	1.5
22	20-nov-15	3.4
23	23-nov-15	4.41
24	23-nov-15	4.4
25	23-nov-15	0.24
26	24-nov-15	2.08
27	24-nov-15	3.12
28	24-nov-15	2.27

Tabla 3.7. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
29	25-nov-15	2.58
30	25-nov-15	1.29
31	25-nov-15	2.41
32	26-nov-15	2.15
33	26-nov-15	1.17
34	27-nov-15	4.06
35	27-nov-15	1.04
36	27-nov-15	0.27
37	27-nov-15	0.43
38	30-nov-15	3.38
39	02-dic-15	0.33
40	02-dic-15	2.37
41	02-dic-15	1.2
42	02-dic-15	2.37
43	03-dic-15	1.4
44	10-dic-15	4.58
45	10-dic-15	2.12
46	11-dic-15	2.34
47	11-dic-15	2.12
48	11-dic-15	0.58
49	11-dic-15	3.26
50	16-dic-15	1.58
51	21-dic-15	0.58
52	22-dic-15	1.55
53	22-dic-15	2.02
54	22-dic-15	1.05
55	22-dic-15	1.22
56	22-dic-15	0.5
57	14-ene-16	0.42
58	14-ene-16	4.05

Tabla 3.8. Recolección de datos del componente aleatorio recolección de producto en caja.

RECOLECCION DE PRODUCTO EN CAJA		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	21-sep-15	23.51
2	21-sep-15	7.59
3	21-sep-15	27.92
4	23-sep-15	34.74
5	29-sep-15	20.89

Tabla 3.8. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
6	29-sep-15	30.19
7	01-oct-15	21.39
8	01-oct-15	9.03
9	01-oct-15	10.86
10	13-oct-15	23.41
11	13-oct-15	14.44
12	14-oct-15	23.95
13	14-oct-15	18.47
14	14-oct-15	15.15
15	19-oct-15	28.7
16	19-oct-15	18.39
17	21-oct-15	13.5
18	22-oct-15	10.9
19	22-oct-15	20.32
20	22-oct-15	21.5
21	22-oct-15	21.91
22	23-oct-15	26.49
23	23-oct-15	21.2
24	23-oct-15	6.52
25	23-oct-15	4.23
26	27-oct-15	18.09
27	27-oct-15	21.85
28	27-oct-15	15.71
29	03-nov-15	29.39
30	11-nov-15	15.24

Tabla 3.9. Recolección de datos del componente aleatorio impresión de hoja de contenido.

IMPRESIÓN DE HOJA DE CONTENIDO		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	21-sep-15	2.28
2	21-sep-15	2.58
3	21-sep-15	1.33
4	23-sep-15	2.25
5	29-sep-15	2.04
6	29-sep-15	2.87
7	01-oct-15	2.24
8	01-oct-15	0.4
9	01-oct-15	1.58
10	13-oct-15	2.23
11	13-oct-15	3.56
12	14-oct-15	2.1
13	14-oct-15	1.4

Tabla 3.9. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
14	14-oct-15	1.32
15	19-oct-15	2.16
16	19-oct-15	2.22
17	21-oct-15	2.27
18	22-oct-15	2.29
19	22-oct-15	2.14
20	22-oct-15	1.5
21	22-oct-15	1.48
22	23-oct-15	1.35
23	23-oct-15	2.45
24	23-oct-15	3.57
25	23-oct-15	1.5
26	27-oct-15	1.14
27	27-oct-15	1.19
28	27-oct-15	2.36
29	03-nov-15	2.38
30	11-nov-15	1.14

3.4. Toma de tiempos con cronómetro para el subsistema de empaque

Tabla 3.10. Recolección de datos del componente aleatorio cerrado de cajas.

CERRADO DE CAJAS		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	30-sep-15	6.53
2	01-oct-15	5.07
3	01-oct-15	4.52
4	01-oct-15	5.5
5	01-oct-15	18.15
6	01-oct-15	6.46
7	01-oct-15	6.5
8	01-oct-15	4.12
9	12-oct-15	5.56
10	12-oct-15	6.09
11	12-oct-15	4.55
12	12-oct-15	4.36
13	23-oct-15	5.37
14	26-oct-15	5.35
15	29-oct-15	5.31
16	29-oct-15	11.24

Tabla 3.10. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
17	29-oct-15	4.32
18	29-oct-15	6.37
19	29-oct-15	6.01
20	03-nov-15	6.2
21	03-nov-15	6.38
22	03-nov-15	5.03
23	03-nov-15	5.13
24	03-nov-15	5.13
25	03-nov-15	5.34
26	04-nov-15	4.46
27	04-nov-15	5.24
28	04-nov-15	10.04
29	04-nov-15	4.36
30	04-nov-15	7.22
31	04-nov-15	4.29
32	04-nov-15	10.3
33	12-nov-15	5.04
34	12-nov-15	3.24
35	19-nov-15	3.48
36	19-nov-15	4.31

ANEXO 4

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LAS MUESTRAS REQUERIDAS Y AJUSTE A DISTRIBUCIÓN PARA CADA UNO DE LOS SUBSISTEMAS DEL CEDIS

4.1. Cálculo del tamaño de la muestra y ajuste a distribución para el subsistema de recibo

I. Componente aleatorio alta en SAP del subsistema de recibo.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.1).

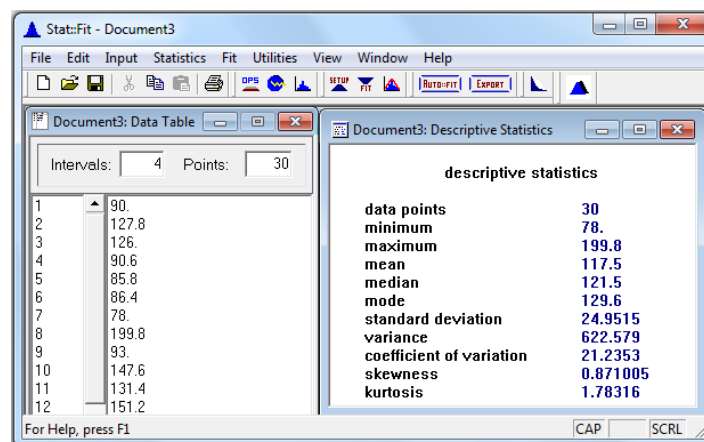


Figura 4.1. Descripción de datos estadísticos del componente aleatorio alta en SAP.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 117.5$
- $S = 24.9515$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(117.5) = 17.625$

- $T_{tablas} = t_{0,025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(24.9515)}{17.625} \right)^2 = 8$$

Se toman 8 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución para el componente aleatorio alta en SAP del subsistema de recibo (ver figura 4.2).

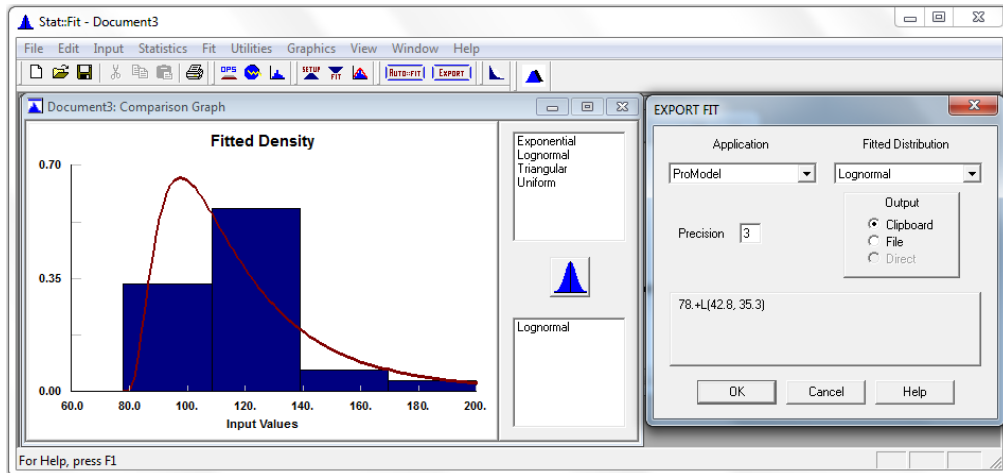


Figura 4.2. Ajuste a distribución lognormal del componente aleatorio alta en SAP.

II. Componente aleatorio del procesamiento de un paquete del subsistema de recibo.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.3).

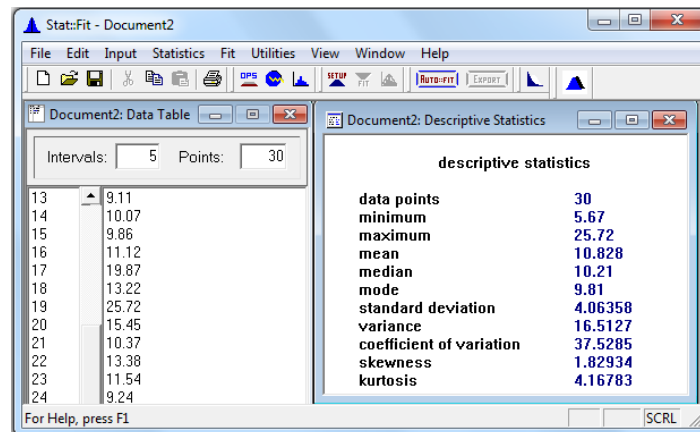


Figura 4.3. Descripción de datos estadísticos del componente aleatorio procesamiento de un paquete.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 10.828$
- $S = 4.06358$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(10.828) = 1.6242$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(4.06358)}{1.6242} \right)^2 = 26$$

Se toman 26 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución para el componente aleatorio procesamiento de un paquete del subsistema de recibo (ver figura 4.4).

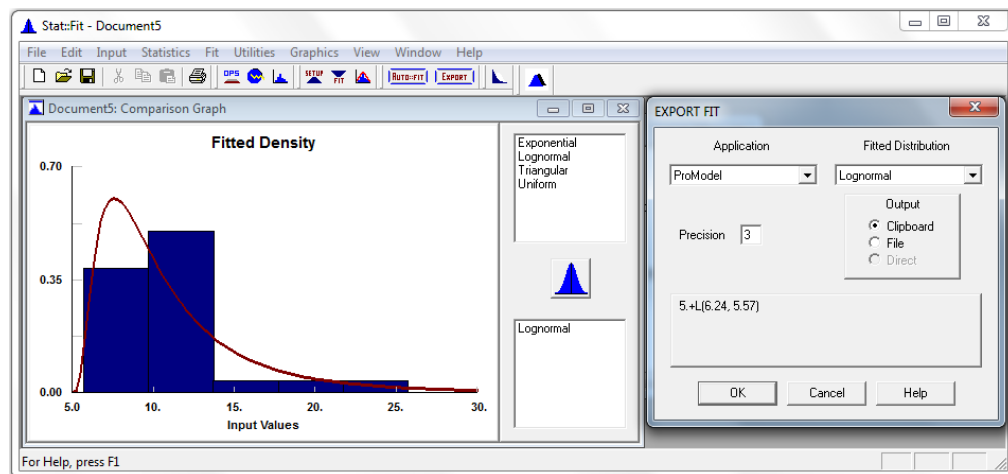


Figura 4.4. Ajuste a distribución lognormal del componente aleatorio procesamiento de un paquete.

III. Componente aleatorio del acomodo de cajas en P4 del subsistema de recibo.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.5).

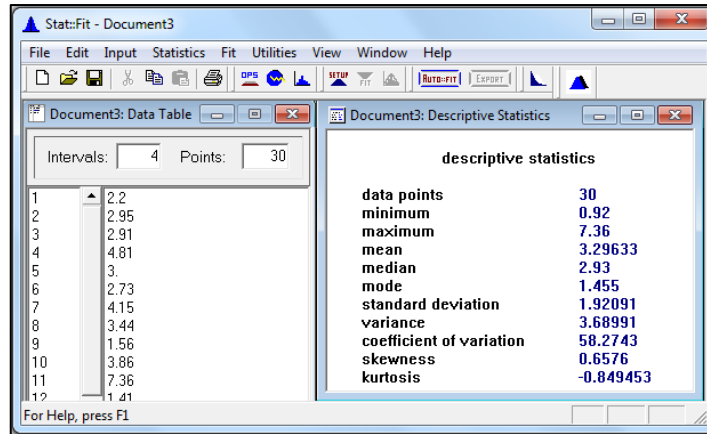


Figura 4.5. Descripción de datos estadísticos del componente aleatorio acomodo de cajas en P4.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 3.29633$
- $S = 1.92091$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(3.29633) = 0.4944495$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(1.92091)}{0.4944495} \right)^2 = 63$$

Se recolectan las 63 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución para el componente aleatorio acomodo de cajas en P4 del subsistema de recibo (ver figura 4.6)

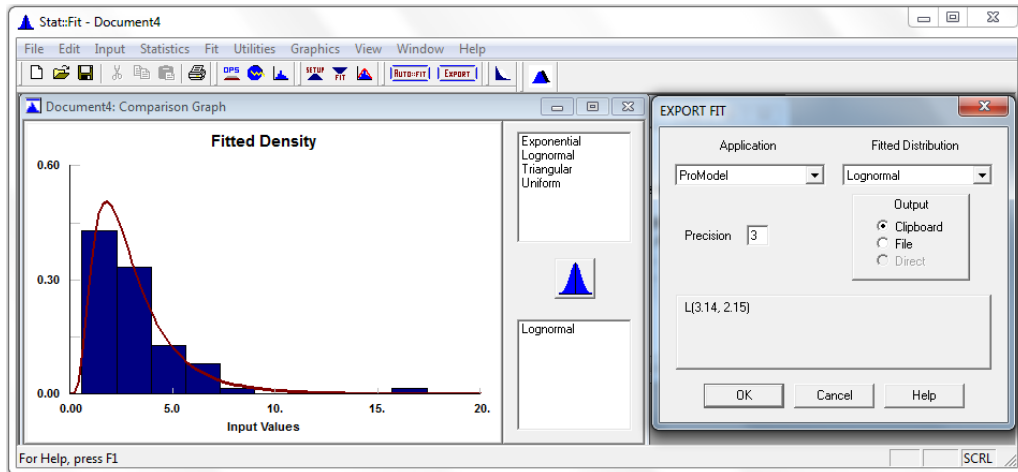


Figura 4.6. Ajuste a distribución lognormal del componente aleatorio acomodo de cajas en P4.

4.2. Cálculo del tamaño de la muestra y ajuste a distribución para el subsistema de resurtido de estantes

I. Componente aleatorio bajar cajas del subsistema resurtido de estantes.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.7).

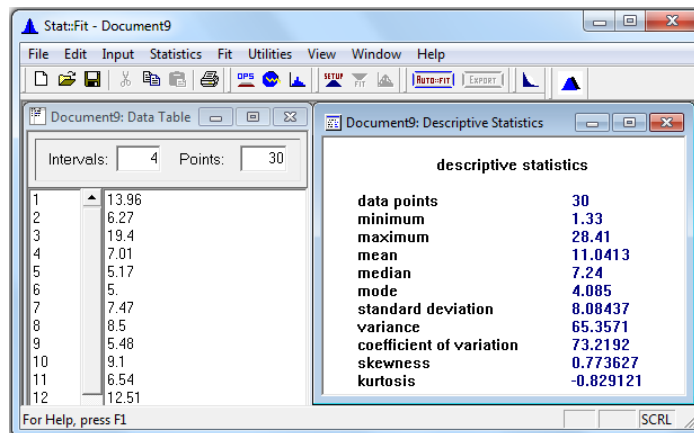


Figura 4.7. Descripción de datos estadísticos del componente aleatorio bajar cajas.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n = 30$

- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 11.0413$
- $S = 8.08437$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(11.0413) = 1.656195$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(8.08437)}{1.656195} \right)^2 = 99$$

Se recolectan las 99 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución del componente aleatorio bajar cajas del subsistema de resurtido de estantes (ver figura 4.8).

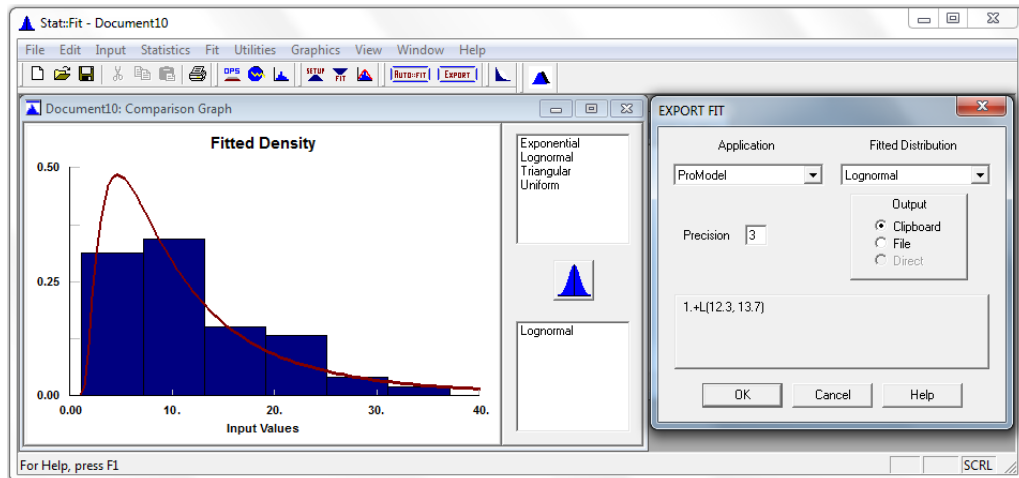


Figura 4.8. Ajuste a distribución lognormal del componente aleatorio bajar cajas.

II. Componente aleatorio apertura de cajas del subsistema de resurtido de estantes.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.9).

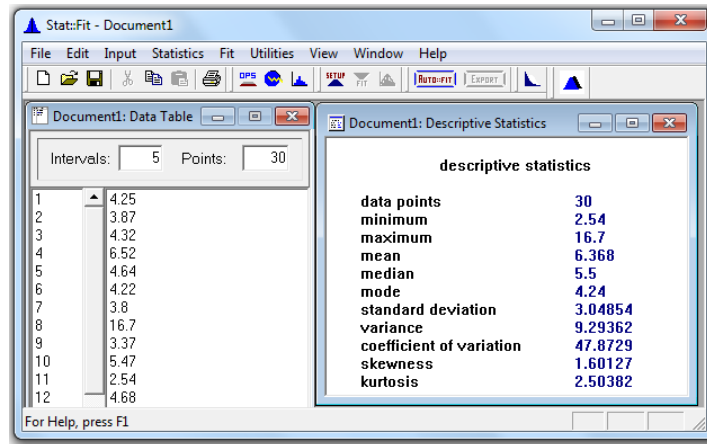


Figura 4.9. Descripción de datos estadísticos del componente aleatorio apertura de cajas.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 6.368$
- $S = 3.04854$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(6.368) = 0.9552$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(3.04854)}{0.9552} \right)^2 = 43$$

Se recolectan las 43 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución del componente aleatorio apertura de cajas del subsistema de resurtido de estantes (ver figura 4.10).

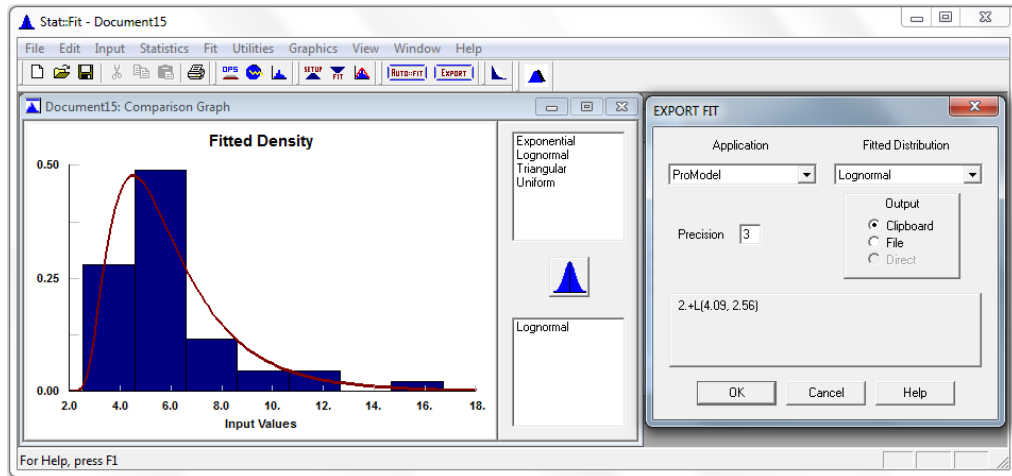


Figura 4.10. Ajuste a distribución Lognormal del componente aleatorio apertura de cajas.

III. Componente aleatorio acomodo de cajas en estante del subsistema resurtido de estante.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos del componente aleatorio acomodo de cajas en estante (ver figura 4.11).

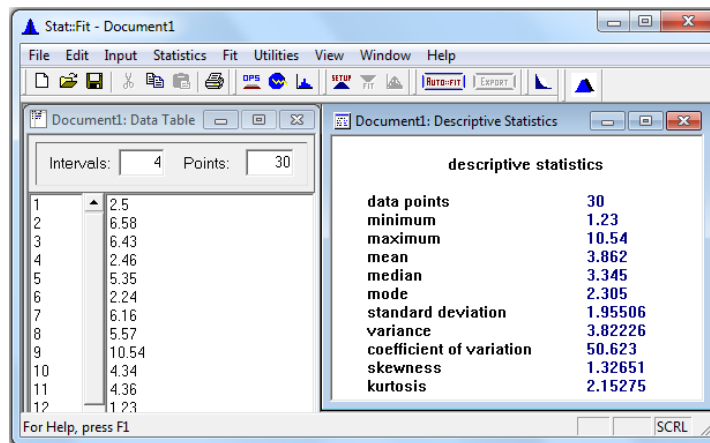


Figura 4.11. Descripción de datos estadísticos del componente aleatorio acomodo de cajas en estante.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 3.862$
- $S = 1.95506$

- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(3.862) = 0.5793$
- $T_{tablas} = t_{0,025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(1.95506)}{0.5793} \right)^2 = 48$$

Se recolectan las 48 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución del componente aleatorio acomodo de cajas en estante del subsistema de resurtido de estantes (ver figura 4.12).

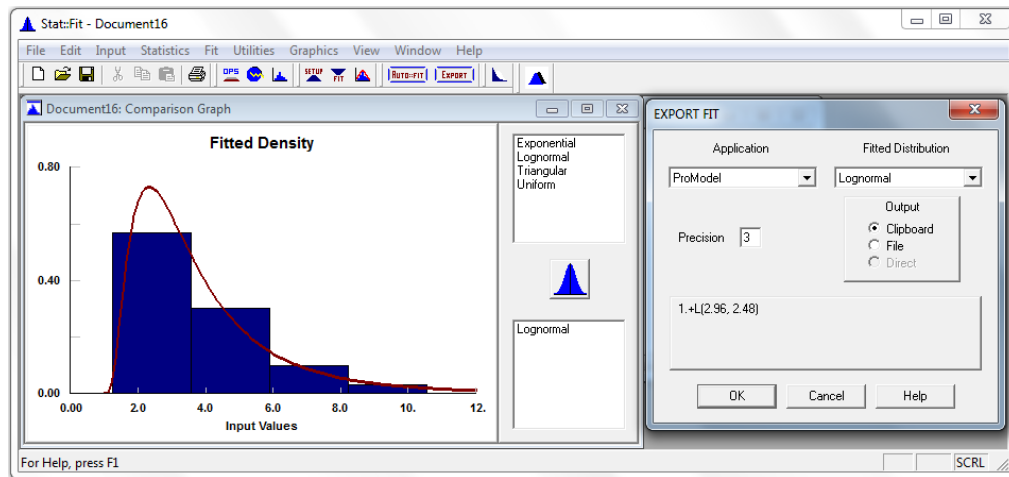


Figura 4.12. Ajuste a distribución Lognormal del componente aleatorio acomodo de cajas en estante.

4.3. Cálculo del tamaño de la muestra y ajuste a distribución para el subsistema de picking

I. Componente aleatorio preparación de la caja del subsistema de picking.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.13).

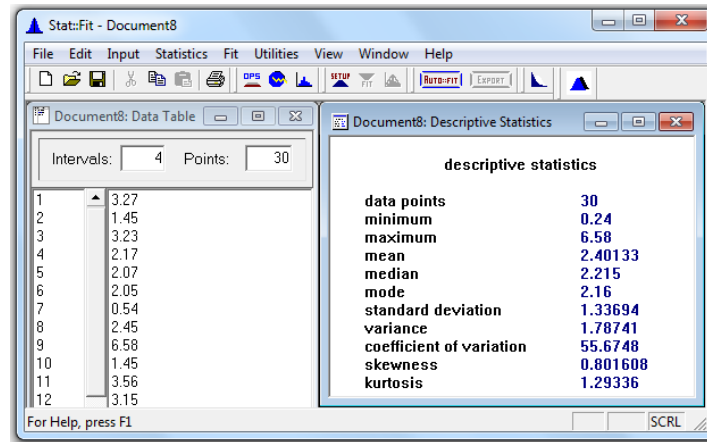


Figura 4.13. Descripción de los datos descriptivos del componente aleatorio preparación de la caja.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 2.40133$
- $S = 1.33694$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(2.40133) = 0.3601995$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(1.33694)}{0.3601995} \right)^2 = 58$$

Se recolectan las 58 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución del componente aleatorio preparación de la caja del subsistema de picking (ver figura 4.14).

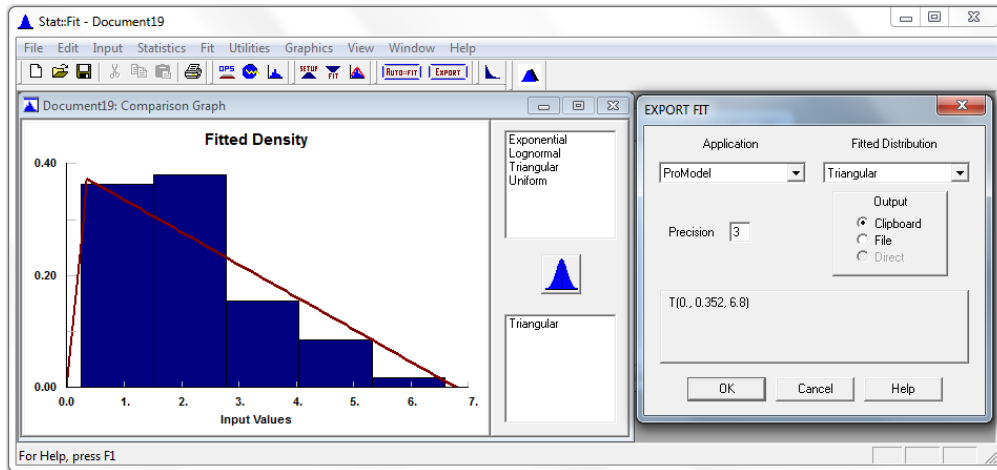


Figura 4.14. Ajuste a distribución triangular del componente aleatorio preparación de la caja.

II. Componente aleatorio recolección de producto en caja del subsistema de picking.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.15).

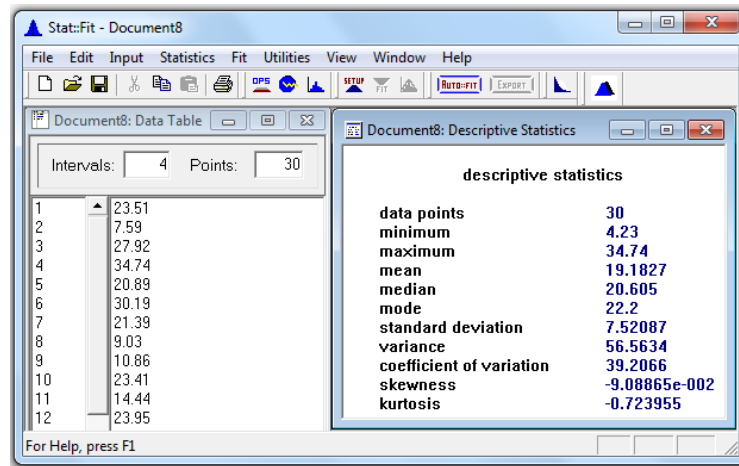


Figura 4.15. Descripción de los datos estadísticos del componente aleatorio recolección de producto en caja.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 19.1827$
- $S = 7.52087$

- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(19.1827) = 2.877405$
- $T_{tablas} = t_{0,025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(7.52087)}{2.877405} \right)^2 = 29$$

Se toman las 29 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución del componente aleatorio recolección de producto en caja del subsistema de picking (ver figura 4.16).

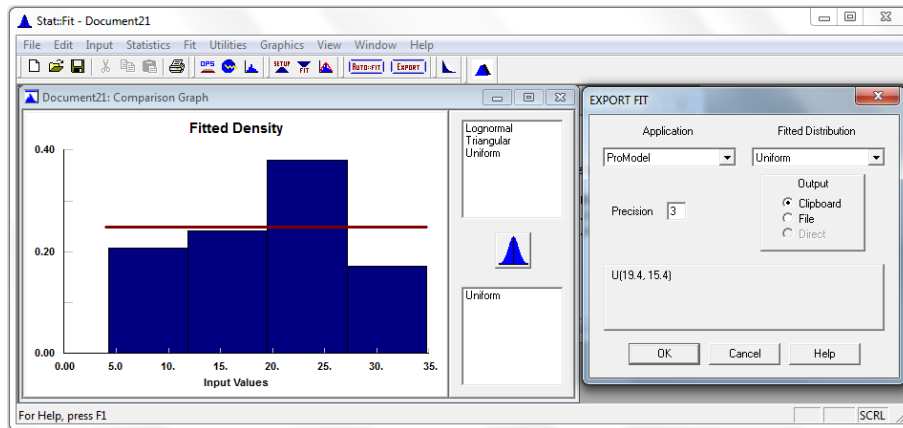


Figura 4.16. Ajuste a distribución uniforme del componente aleatorio recolección de producto en caja.

III. Componente aleatorio impresión de hoja de contenido del subsistema de picking.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.17).

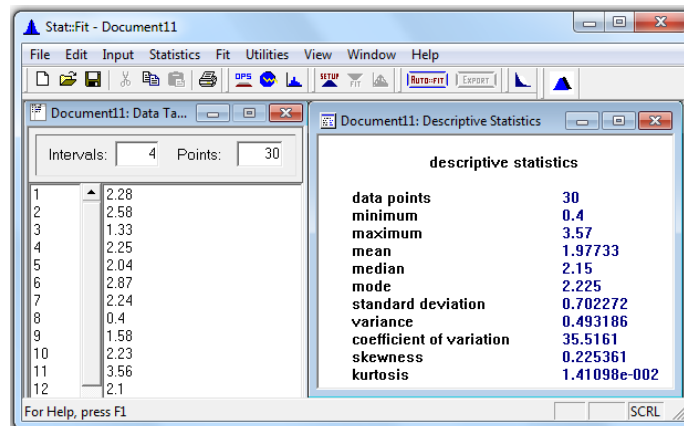


Figura 4.17. Descripción de datos estadísticos del componente aleatorio impresión de hoja de contenido.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 1.97733$
- $S = 0.702272$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(1.97733) = 0.2965995$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(0.702272)}{0.2965995} \right)^2 = 23$$

Se toman las 23 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución de probabilidad del componente aleatorio impresión de contenido del subsistema de picking (ver figura 4.18).

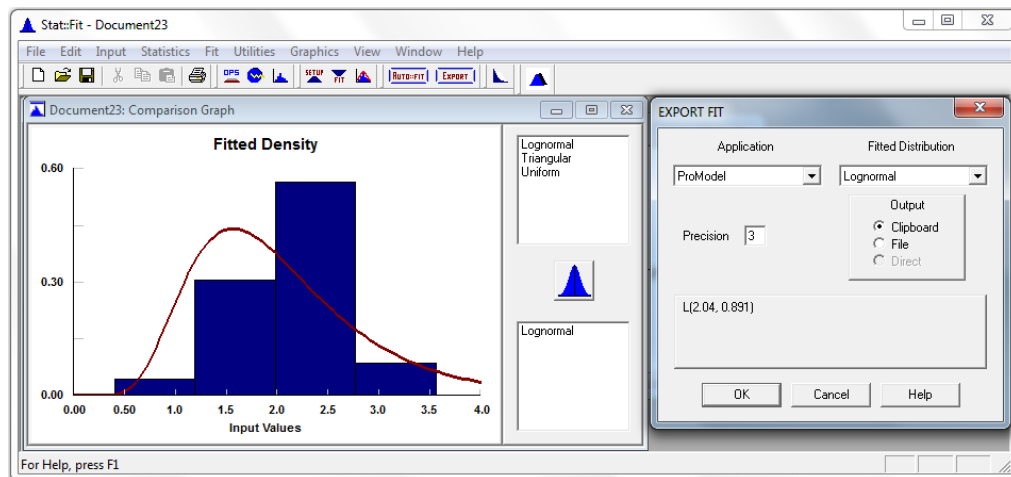


Figura 4.18. Ajuste a distribución lognormal del componente aleatorio impresión de hoja de contenido.

4.4. Cálculo del tamaño de la muestra y ajuste a distribución para el subsistema de empaque

I. Componente aleatorio cerrar cajas del subsistema empaque.

Se introducen 30 muestras en el STAT-FIT para obtener los estadísticos descriptivos (ver figura 4.19).

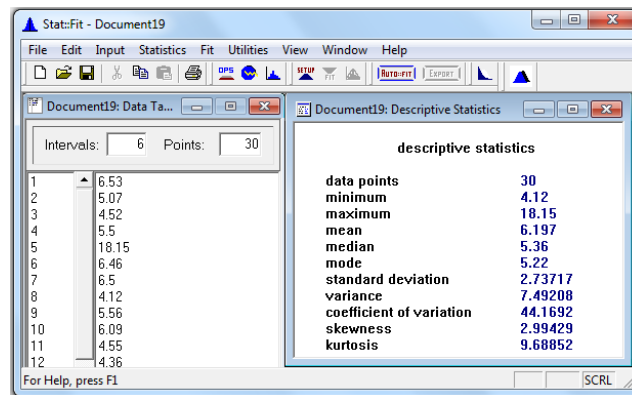


Figura 4.19. Descripción de los datos del componente aleatorio cerrar cajas.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 6.197$
- $S = 2.73717$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(6.197) = 0.92955$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(2.73717)}{0.92955} \right)^2 = 36$$

Se recaudan las 36 muestras y se introducen en el STAT-FIT para obtener la gráfica de ajuste a distribución del componente aleatorio cerrar cajas del subsistema empaque (ver figura 4.20).

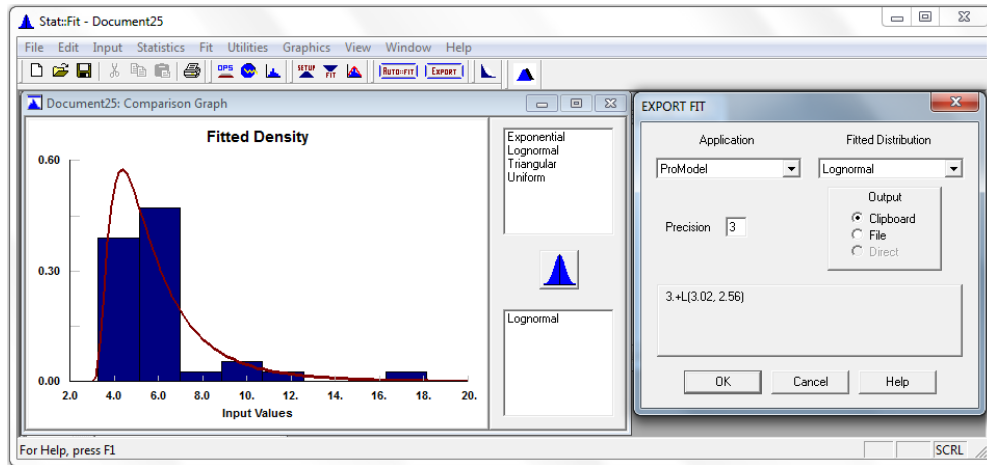


Figura 4.20. Ajuste a distribución lognormal del componente aleatorio cerrar cajas.

ANEXO 5

COLECCIÓN DE LOS DATOS DEL TIEMPO DE CICLO DE LOS SUBSISTEMAS DEL CEDIS TOMADOS DEL SISTEMA REAL O ARCHIVO HISTÓRICO

5.1. Métricos para el subsistema de recibo

Tabla 5.1. Datos del tiempo de ciclo del subsistema de recibo.

MÉTRICOS RECIBO SISTEMA REAL (TC1)		
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
1	04-dic-15	228
2	01-dic-15	307.8
3	30-nov-15	246
4	27-nov-15	228.6
5	25-nov-15	211.8
6	21-nov-15	206.4
7	20-nov-15	276
8	09-nov-15	517.8
9	06-nov-15	333
10	03-nov-15	387.6
11	31-oct-15	515.4
12	30-oct-15	331.2
13	23-oct-15	385.2
14	21-oct-15	288.6
15	20-oct-15	310.2
16	16-oct-15	309.6
17	14-oct-15	300
18	13-oct-15	253.8
19	09-oct-15	266.4
20	09-oct-15	232.8
21	08-oct-15	271.2
22	29-sep-15	295.2
23	24-sep-15	256.2
24	18-sep-15	309
25	17-sep-15	264.6
26	11-sep-15	294
27	05-sep-15	260.4
28	03-sep-15	231.6
29	01-sep-15	277.2

Tabla 5.1. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)
30	25-ago-15	306.6
MEDIA =		296.74
DESVIACIÓN ESTANDAR =		74.2647

Se calcula el tamaño de muestra necesario de los datos.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 30$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 296.74$
- $S = 74.2647$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(296.74) = 44.511$
- $T_{tablas} = t_{0.025,29} = 2.045229642$

$$n = \left(\frac{(2.045229642)(74.2647)}{0.929544511} \right)^2 = 11 \text{ Por lo tanto ya se cuenta con las suficientes.}$$

5.2. Métricos para el subsistema de resurtido de estantes

Tabla 5.2. Datos del tiempo de ciclo del subsistema de resurtido de estantes.

MÉTRICOS RESURTIDO DE ESTANTES SISTEMA REAL (TC2)			
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)	MEDIA
1	15-dic-15	22.83	24.22
	15-dic-15	18.11	
	15-dic-15	31.72	
2	16-dic-15	18.54	18
	16-dic-15	18.57	
	16-dic-15	16.89	
3	24-dic-15	23.56	23.2867
	24-dic-15	26.97	
	28-dic-15	19.33	
4	28-dic-15	32.78	25.22
	28-dic-15	33.53	
	28-dic-15	9.35	

Tabla 5.2. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)	MEDIA
5	13-ene-16	42.48	27.9867
	13-ene-16	25.67	
	13-ene-16	15.81	
6	15-ene-16	14.62	18.7
	15-ene-16	22.58	
	15-ene-16	18.9	
7	18-ene-16	17.68	25.3933
	18-ene-16	13.84	
	18-ene-16	44.66	
8	20-ene-16	23.07	22.6467
	20-ene-16	22.01	
	20-ene-16	22.86	
9	25-ene-16	20.8	30.15
	25-ene-16	31.74	
	25-ene-16	37.91	
10	28-ene-16	29.25	23.05
	28-ene-16	19.76	
	28-ene-16	20.14	
11	29-ene-16	23.39	20.3767
	29-ene-16	22.18	
	29-ene-16	15.56	
12	02-feb-16	54.13	37.9833
	02-feb-16	37.94	
	02-feb-16	21.88	
13	04-feb-16	25.57	22.8867
	04-feb-16	21.43	
	04-feb-16	21.66	
14	08-feb-16	14.01	23.9633
	08-feb-16	25.76	
	08-feb-16	32.12	
15	09-feb-16	29.62	28.54
	09-feb-16	28.17	
	09-feb-16	27.83	
16	10-feb-16	30.19	26.34
	10-feb-16	34.11	
	10-feb-16	14.72	
17	15-feb-16	15.54	23.7567
	15-feb-16	33.01	
	15-feb-16	22.72	
18	17-feb-16	14.09	16.9867
	17-feb-16	20.1	
	17-feb-16	16.77	
19	19-feb-16	34.74	23.6567
	19-feb-16	17.96	
	19-feb-16	18.27	

Tabla 5.2. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)	MEDIA
20	22-feb-16	30.59	29.4267
	22-feb-16	32.22	
	22-feb-16	25.47	
MEDIA =			24.6285
DESVIACIÓN ESTANDAR =			4.7651

Se calcula el tamaño de muestra necesario de los datos.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 20$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 24.6285$
- $S = 4.76517$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(24.6285) = 3.694275$
- $T_{tablas} = t_{0.025,19} = 2.09302454$

$$n = \left(\frac{(2.093024054)(4.76517)}{3.694275} \right)^2 = 7 \text{ Por lo tanto ya se cuenta con las suficientes.}$$

5.3. Métricos para el subsistema de picking

Tabla 5.3. Datos del tiempo de ciclo del subsistema de picking.

METRICOS PICKING SISTEMA REAL (TC3)			
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)	MEDIA
1	10-sep-15	30.47	29.54
	10-sep-15	27.13	
	10-sep-15	31.02	
2	29-sep-15	26.42	27.9833
	29-sep-15	35.34	
	29-sep-15	22.19	
3	30-sep-15	38.5	24.4867
	30-sep-15	20.43	
	30-sep-15	14.53	
4	27-oct-15	24.56	30.3833
	27-oct-15	38.17	

Tabla 5.3. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)	MEDIA
4	27-oct-15	28.42	30.3833
5	04-nov-15	35	27.29
	04-nov-15	22.52	
	04-nov-15	24.35	
6	11-nov-15	21.2	24.7867
	11-nov-15	18.16	
	11-nov-15	35	
7	02-dic-15	31.52	36.2067
	02-dic-15	46.62	
	02-dic-15	30.48	
8	10-dic-15	28.49	27.6467
	10-dic-15	28.1	
	10-dic-15	26.35	
9	11-dic-15	25.35	36.1933
	11-dic-15	33.02	
	11-dic-15	50.21	
10	22-dic-15	21.16	25.9933
	22-dic-15	33.34	
	22-dic-15	23.48	
11	14-ene-16	28.6	34.3933
	14-ene-16	38.04	
	14-ene-16	36.54	
12	27-ene-16	26.45	29.95
	27-ene-16	44.08	
	27-ene-16	19.32	
13	29-ene-16	32.57	25.0867
	29-ene-16	12.22	
	29-ene-16	30.47	
14	03-feb-16	29.18	29.3067
	03-feb-16	31.57	
	03-feb-16	27.17	
15	05-feb-16	13.25	20.3433
	05-feb-16	22.2	
	05-feb-16	25.58	
16	08-feb-16	35.01	27.7433
	08-feb-16	26.09	
	08-feb-16	22.13	
17	12-feb-16	15.46	26.6833
	12-feb-16	23.59	
	12-feb-16	41	
18	16-feb-16	20.5	23.65
	16-feb-16	20.27	
	16-feb-16	30.18	
19	19-feb-16	26.28	24.0033
	19-feb-16	30.32	

Tabla 5.3. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)	MEDIA
19	19-feb-16	15.41	24.0033
MEDIA =			27.9826
DESVIACIÓN ESTANDAR =			4.21665

Se calcula el tamaño de muestra necesario de los datos.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 19$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 27.9826$
- $S = 4.2166$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(27.9826) = 4.19739$
- $T_{tablas} = t_{0.025,18} = 2.10092204$

$$n = \left(\frac{(2.10092204)(4.2166)}{4.19739} \right)^2 = 7 \text{ Por lo tanto ya se cuenta con las suficientes.}$$

5.4. Métricos para el subsistema de empaque

Tabla 5.4. Datos del tiempo de ciclo del subsistema de empaque.

MÉTRICOS EMPAQUE SISTEMA REAL (TC4)			
MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)	MEDIA
1	01-oct-15	5.59	6.443333
	01-oct-15	7.06	
	01-oct-15	6.68	
2	12-oct-15	7.67	7.276667
	12-oct-15	7.28	
	12-oct-15	6.88	
3	26-oct-15	6.88	6.123333
	26-oct-15	5.77	
	26-oct-15	5.72	
4	29-oct-15	5.85	7.97
	29-oct-15	12.49	
	29-oct-15	5.57	

Tabla 5.4. Continuación.

MUESTRA	FECHA	TIEMPO (MIN)	MEDIA
5	03-nov-15	7.21	7.226667
	03-nov-15	6.9	
	03-nov-15	7.57	
6	04-nov-15	5.64	8.073333
	04-nov-15	7.35	
	04-nov-15	11.23	
7	12-nov-15	7.37	6.85
	12-nov-15	6.39	
	12-nov-15	6.79	
8	19-nov-15	4.68	5.633333
	19-nov-15	5.62	
	19-nov-15	6.6	
9	20-nov-15	6.75	7.656667
	20-nov-15	10.12	
	20-nov-15	6.1	
10	25-nov-15	9.02	6.883333
	25-nov-15	5.32	
	25-nov-15	6.31	
11	27-ene-16	7.59	7.106667
	27-ene-16	6.88	
	27-ene-16	6.85	
MEDIA =			7.02212
DESVIACIÓN ESTANDAR =			0.75103

Se calcula el tamaño de muestra necesario de los datos.

Datos:

- $\alpha = 0.05$
- $n_0 = 11$
- $\%e = 0.15$
- $\bar{X} = 7.02212$
- $S = 0.75103$
- $E = \%e * \bar{X} = (0.15)(7.02212) = 1.053318$
- $T_{tablas} = t_{0.025,10} = 2.228138852$

$$n = \left(\frac{(2.228138852)(0.75103)}{1.053318} \right)^2 = 7 \text{ Por lo tanto ya se cuenta con las suficientes.}$$

ANEXO 6

GLOSARIO DE TÉRMINOS

TÉRMINO	DEFINICIÓN	PÁG.
ANOVA	Análisis de Varianza. En estadística es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas.	(57)
Bulto	Son dos cajas de madera unidas horizontalmente con un fleje de plástico.	(64)
Cadena de Suministro	Está formada por todos aquellos procesos involucrados de manera directa o indirecta en la acción de satisfacer las necesidades del cliente. La cadena de suministro incluye a los proveedores, los almacenes de materia prima, la línea de producción, almacenes de producto terminado, canales de distribución, mayoristas, minoristas y el cliente final.	(1)
CEDIS	Centros de Distribución. Son una infraestructura logística en la cual se almacenan productos y se dan órdenes de salida para su distribución al comercio minorista o mayorista.	(1)
Componente aleatorio	Contabiliza la variabilidad aleatoria en una serie de tiempo ocasionada por factores imprevistos y no recurrentes.	(75)
Corridas de simulación	Son las réplicas o cantidad de veces que se requiere que se reproduzca el programa.	(90)

TÉRMINO	DEFINICIÓN	PÁG.
Cross docking	Es un sistema de distribución en el cual la mercancía recibida por un centro de distribución no es almacenada, sino preparada inmediatamente para su próximo envío.	(5)
DCA	Diseño Completamente al Azar. Es una prueba basada en el análisis de varianza, en donde la varianza total se descompone en la “varianza de los tratamientos” y la “varianza del error”. si la primera es lo suficientemente alta según la distribución F.	(56)
Delivery	Número de reparto o entrega.	(64)
DFLP	Modelos dinámicos de distribución de planta, por sus siglas en inglés Dynamic Facilities Layout Problem. Incluyen varios periodos de tiempo y permiten actualizar el diseño de las instalaciones.	(8)
DGC	Distribución general de conjunto. Es la segunda fase para realizar una distribución de planta donde se plantea en forma general la organización completa.	(14)
DOE	Diseño de experimentos. Son como un conjunto de técnicas activas que manipulan un proceso para inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo mediante los cambios en sus variables y su interacción o secuencia de ejecución.	(54)
ERP	Planeamiento de recursos empresariales, por sus siglas en inglés Enterprise Resource Planning. Esta práctica tiene que ver con el gerenciamiento de los distintos recursos, negocios, aspectos y cuestiones productivas y distributivas de bienes y servicios en una empresa.	(25)

TÉRMINO	DEFINICIÓN	PÁG.
FED	Diseño factorial de experimentos. Es un tipo de experimento diseñado que permite estudiar los efectos que pueden tener varios factores sobre una respuesta.	(27)
FLP	Problema de distribución de planta, por sus siglas en inglés Facilities Layout Problem.	(7)
FRLP	Proyectos de redistribución de planta, por sus siglas en inglés Facilities Relayout Problem.	(8)
GPSS	Es un software para simular llamado General Purpose System Simulator.	(18)
Hoja HU	Hoja que contiene código de barras y número serial que se le coloca a las cajas para identificarlas y saber su ubicación.	(65)
IID	Se refiere a datos que son Independientes e Idénticamente Distribuidos.	(38)
IO	Investigación de operaciones. Consiste en el uso de modelos matemáticos, estadística y algoritmos con objeto de realizar un proceso de toma de decisiones.	(52)
Logística	Conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución.	(18)

TÉRMINO	DEFINICIÓN	PÁG.
LSD	Diferencia mínima significativa por sus siglas en inglés Least Significant Difference. Se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores, mientras se controla la tasa de error individual en función de un nivel de significancia que especifique.	(59)
Paquete	Son cuatro cajas de madera unidas por un fleje de plástico.	(64)
PDD	Plan Detallado de Distribución.	(14)
Picking	Preparación de pedidos. Es el proceso de recogida de material extrayendo unidades o conjuntos empaquetados de una unidad de empaquetado superior que contiene más unidades que las extraídas.	(3)
ProModel®	Software que sirve para simular eventos discretos.	(27)
SAP	Sistemas, Aplicaciones y Productos para el procesamiento de datos. Es un software para computadora que ayuda al planeamiento de los recursos empresariales.	(64)
SFLP	Modelos estocásticos de distribución de planta, por sus siglas en inglés Stochastic Facilities Layout Problem.	(8)
SGP	Empresa Servicios Generales del Perú.	(11)
STAT-FIT	Es un software estadístico ajustador de curvas.	(28)
Simrunner	Es un módulo de optimización básico en el simulador.	(28)

TÉRMINO	DEFINICIÓN	PÁG.
TC	Tiempo de ciclo. Es un parámetro que queda definido para cada proceso. Será el tiempo en el que un proceso tarda en ejecutarse.	(83)
TICS	Tecnologías de información y comunicaciones.	(2)
VSM	Mapa de flujo de valor, por sus siglas en inglés Value Stream Map. Es una técnica gráfica que permite visualizar todo un proceso, permite detallar y entender completamente el flujo tanto de información como de materiales necesarios para que un producto o servicio llegue al cliente, con esta técnica se identifican las actividades que no agregan valor al proceso.	(7)
WIP	Trabajo en proceso, por sus siglas en inglés Work In Process.	(8)