

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE COMERCIO INTERNACIONAL, INTEGRACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA EMPRESARIAL

CARRERA DE LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

Tema: "Modelo de simulación y optimización del proceso de almacenamiento en la bodega Aduanor con base en redes de Petri y Simulación Digital"

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingenieros en Logística y Transporte

AUTORES: Arcos Pazmiño José Gabriel

Báez Játiva Aldair Nicolás

TUTOR: MSc. Mafla Bolaños Iván Gabriel

Tulcán, 2023

CERTIFICADO JURADO EXAMINADOR

Certifico que el estudiante Arcos Pazmiño José Gabriel con el número de cédula 0401680335 y el estudiante Báez Játiva Aldair Nicolás con el número de cédula 0402049878, ha desarrollado el trabajo de Integración Curricular: "Modelo de simulación y optimización del proceso de almacenamiento en la bodega Aduanor con base en redes de Petri y Simulación Digital"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación, por lo tanto, autorizo la sustentación de la presentación para la calificación respectiva.



MSc. Mafla Bolaños Iván Gabriel.

TUTOR

Tulcán, febrero de 2023

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingenieras en la Carrera de Logística y Transporte de la Facultad de Comercio Internacional, Integración, Administración y Economía Empresarial

Nosotros, Arcos Pazmiño José Gabriel y Báez Játiva Aldair Nicolás con cédula de identidad número 0401680335 y 0402049878 respectivamente declaramos que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que hemos llegado son de nuestra absoluta responsabilidad.



Arcos Pazmiño José Gabriel

AUTOR



Báez Játiva Aldair Nicolás

AUTOR

Tulcán, febrero de 2023

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Nosotros Arcos Pazmiño José Gabriel y Báez Játiva Aldair Nicolás declaramos ser autores de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Modelo de simulación y optimización del proceso de almacenamiento en la bodega Aduanor con base en redes de Petri y Simulación Digital" y se exime expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Arcos Pazmiño José Gabriel

AUTOR



Báez Játiva Aldair Nicolás

AUTOR

Tulcán, febrero de 2023

AGRADECIMIENTO

- En primer lugar, quiero agradecer a mi madre y familia que fue el motivo e impulso más grande por salir adelante, tanto en el ámbito social como profesional, forjándome valores, actitud y principios para convertirme lo que hoy por hoy he llegado a alcanzar como persona.
- Quiero agradecer desde el ámbito académico a mi tutor de tesis MSc. Iván Mafla por su gran aporte de conocimientos en todo el proceso de enseñanza, siendo este de calidad y clave para culminar el proyecto con éxitos; a mi compañero de investigación José Arcos, que fue un gran apoyo para obtener los resultados que se esperaba del proyecto.
- Finalmente quiero agradecer a mi persona, por jamás dudar de mis objetivos, nunca renunciar y creer en mí. Quiero agradecer por ser yo en todo momento.

Aldair Nicolás Báez Játiva

- A los miembros de mi familia agradezco por ser los pilares que cimientan mis logros y sueños, agradezco su fe y su apoyo incondicionalmente brindados y que se ven reflejados en este y en los logros venideros.
- De igual manera agradezco a mi compañero de investigación Aldair Báez quien con su soporte, compromiso y empeño contribuyó a la exitosa realización de este proyecto; a mi abnegado tutor MSc. Iván Mafla por ser guía, compañero y apoyo durante el periodo en que se desarrolló la investigación; a Diana Tucanés quien desinteresadamente dedicó un tiempo para analizar e interpretar los resultados de este proyecto ayudando a consolidar el mismo.
- Finalmente, agradezco a la gloriosa UPEC que fue el alma mater que me abrió sus puertas y me acogió dentro de su templo a lo largo de esta aventura y a todos aquellos que la conforman.

Arcos Pazmiño José Gabriel

DEDICATORIA

Quiero dedicar este éxito como pequeña parte de mi vida a un bello ángel que es mi Hermana, donde fue, es y siempre será la luz de como la vida y el universo se manifiesta para mí, siempre mejorando como persona e intentando hacer el bien. Por lo que cada momento de alegría va por ti, que ahora como energía en nuestros corazones te has convertido en la principal razón de siempre sonreírle y ver ese lado hermoso de la vida.

¡Ríe desde lo más alto!

Aldair Nicolás Báez Játiva

Dedico este trabajo a los miembros de mi familia; a mi incansable padre Sr. Pedro Arcos quien forjó en mí el carácter que sostiene mis anhelos; a mi soñadora madre Sra. Teresa Pazmiño quien me enseñó a creer en lo imposible; a mi testaruda hermana mayor Lcda. Tifany Arteaga que es para mí una firme imagen de constancia y triunfo; a mi inagotable hermano menor David Arcos quien me enseñó el significado de brillar con luz propia; a mi tenaz hermana menor Daniela Arcos quien sabe confortarme con tan solo un abrazo y a quien considero la bendición de la familia; a mi dulce sobrina Angely Paguay que es el más bello e inesperado obsequio que la vida me dio.

A mis abuelas, Sra. Rosa Pazmiño y Sra. Carmen Fiallos por inculcar en mí aspiraciones de crecimiento personal y profesional con el afán de augurarme un mejor porvenir.

Y a todos con quienes he compartido mis sueños y propósitos.

Arcos Pazmiño José Gabriel

ÍNDICE

RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
I. PROBLEMA	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.3. JUSTIFICACIÓN	20
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.4.1. Objetivo general.....	21
1.4.2. Objetivos específicos.....	21
1.4.3. Preguntas de investigación.....	22
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	23
2.1. ANTECEDENTES A LA INVESTIGACIÓN.....	23
2.2. MARCO TEÓRICO.....	25
2.2.1. Gestión de almacenes.....	25
2.2.2. Redes de Petri.....	33
2.2.3. Simulación Digital	39
2.2.4. Métodos de estimación de las funciones de distribución	44
2.2.5. Enfoque epistemológico.....	49
III. METODOLOGÍA	52
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO.....	52
3.1.1. Enfoque	52
3.1.2. Tipo de investigación	52
3.2. HIPÓTESIS.....	53
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	54

3.3.1. Definición de variables.....	54
3.3.2. Operacionalización de variables.....	55
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	60
3.4.1. Métodos	60
3.4.2. Técnicas.....	60
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	61
3.5.1. Población y Muestra.....	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. RESULTADOS.....	62
4.1.1. Descripción de la empresa.....	62
4.1.2. Diagnóstico de la situación actual del proceso de almacenamiento	64
4.1.3. Análisis de resultados de la gestión operativa del proceso de almacenamiento	71
4.1.4. Construcción del modelo de simulación	95
4.2. DISCUSIÓN	125
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	130
5.1. CONCLUSIONES.....	130
5.2. RECOMENDACIONES	131
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
VII. ANEXOS	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de almacén	29
Figura 2. Representación gráfica de una RdP	34

Figura 3. Resultado de disparar la transición activada T1	35
Figura 4. RdP coloreadas	37
Figura 5. Comparación de distribuciones paramétricas	45
Figura 6. Comparación de parámetros de distribución	46
Figura 7. Comparación de distribuciones similares	46
Figura 8. Replicación, escenarios y experimentación.....	47
Figura 9. Ejemplo de salidas en el <i>Experimenter</i> de <i>FlexSim</i>	48
Figura 10. Mapa organizacional Aduanor	62
Figura 11. Diagrama de operaciones del proceso de almacenamiento.....	63
Figura 12. Predio 1, Infraestructura bodegas Aduanor	65
Figura 13. Predio 2, Infraestructura bodegas Aduanor	65
Figura 14. Porcentaje de operaciones de cargue y descargue por vehiculo	71
Figura 15. Tiempo de operación de almacenaje en minutos por tipo de vehículo....	73
Figura 16. Porcentaje de operación mensual de cargue y descargue.....	74
Figura 17. Clientes con más operaciones realizadas en bodegas Aduanor	75
Figura 18. Diagrama de flujo del sistema de llegada de mercancías	78
Figura 19. Diseño de la RdP del proceso de recepción de mercancías.....	79
Figura 20. Diagrama de flujo del sistema de descargue y almacenamiento	80
Figura 21. Diseño de la RdP para el proceso almacenamiento de mercancías	81
Figura 22. Diagrama de flujo para el sistema de cargue de mercancías	82
Figura 23. Diseño de la RdP para el proceso inverso del pesaje de mercancías.....	83

Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de descargue y almacenamiento	84
Figura 25. Diseño de la RdP del proceso de cargue de mercancías	84
Figura 26. Diseño de la RdP del proceso total de almacenamiento	86
Figura 27. Árbol de cobertura de la RdP	88
Figura 28. Diseño de la RdP Coloreada del proceso total de almacenamiento	94
Figura 29. Ventana Principal <i>FlexSim (Statistics)</i>	96
Figura 30. Llegada de vehiculos para el proceso de cargue y descargue	97
Figura 31. Venatana de analisis " <i>Data</i> "	97
Figura 32. Ventana de análisis " <i>Models</i> "	98
Figura 33. Ventana de analisis " <i>Comparisons</i> "	99
Figura 34. Ventana de analisis <i>Applications</i>	101
Figura 35. Global Table 'Tipos de vehículos'	102
Figura 36. Global Table 'Frecuencia por tipo de vehículo para descarga'	102
Figura 37. Global Table 'Frecuencia por tipo de vehículo para carga'	102
Figura 38. <i>Sources</i> para llegada de vehículos y mercancía	103
Figura 39. Configuración del <i>Source</i> para la llegada de vehículos de descarga	103
Figura 40. Configuración del <i>Source</i> para la llegada de vehículos de carga	104
Figura 41. Configuración del <i>Source</i> para la llegada de mercancía	105
Figura 42. <i>Combiners</i> para la agrupación de vehículos con mercancía	105
Figura 43. Configuración del <i>Combiner</i>	106
Figura 44. Configuración del <i>Combiner</i>	107

Figura 45. Posición de <i>Combiners</i> en el modelo completo.....	107
Figura 46. <i>Processor</i> en el modelo	108
Figura 47. Configuración del <i>Processor</i>	108
Figura 48. Posición de <i>Processor</i> en el modelo completo	109
Figura 49. Posición de Bodegas en el modelo completo	110
Figura 50. Configuración de <i>Queues</i>	111
Figura 51. Posición de <i>Queues</i> en el modelo completo	111
Figura 52. Posición de <i>Recursos</i> en el modelo	112
Figura 53. Modelo final en movimiento	112
Figura 54. DashBoard, Columnas agrupadas. Escenario Inicial	114
Figura 55. Input de recursos para los Escenarios.....	115
Figura 56. Configuración de indicadores de productividad.....	117
Figura 57. Resumen de resultados 'Número de vehículos descargados'	117
Figura 58. Resumen de resultados 'Número de vehículos cargados'	118
Figura 59. Resumen de resultados 'Promedio de vehículos en cola'	119
Figura 60. Resumen de resultados 'Vehículos en cola'	119
Figura 61. Resumen de resultados 'Rendimiento de operarios'	120
Figura 62. Resumen de resultados.....	120
Figura 63. Distribución de recursos para el modelo <i>Propuesta</i>	122
Figura 64. Resultados generales del Escenario <i>Propuesta</i>	123
Figura 65. Comparación de resultados para cada Escenario	124

Figura 66. Comparación de mejora del escenario inicial vs propuesta.....	124
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas de un almacén	27
Tabla 2. Caracterización de mercancías según su tipo de carga.....	30
Tabla 3. Medios de almacenamiento en una bodega.....	31
Tabla 4. Propiedades de las RdP	36
Tabla 5. Componentes de un sistema de simulación.....	41
Tabla 6. Operacionalización de la Variable independiente	55
Tabla 7. Operacionalización de la Variable dependiente	58
Tabla 8. Estructura física de la bodega Aduanor	64
Tabla 9. Maquinaria de Aduanor.....	66
Tabla 10. Zonas de Bodega Aduanor.....	67
Tabla 11. Operarios de Aduanor	68
Tabla 12. Tipo de carga frecuentada en Aduanor	68
Tabla 13. Vehículos Frecuentados en Aduanor	69
Tabla 14. Descripción de vehículos que ingresan a la bodega	70
Tabla 15. Número de operaciones de cargue y descargue por tipo de vehículo....	71
Tabla 16. Promedio de tiempo y peso del proceso de cargue y descargue	72
Tabla 17. Número de operaciones por meses	73
Tabla 18. Clientes con más operaciones realizadas en bodegas Aduanor (2021) ...	74

Tabla 19. Caracterización del sistema (Bodega).....	76
Tabla 20. Prueba de verificación de hipótesis.....	129

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo optimizar el proceso de almacenamiento de la empresa Aduanor con base en teoría de sistemas orientados a eventos discretos, modelación matemática con Redes de Petri y simulación digital con Flexsim. Se realizó el análisis de la situación actual de la empresa para obtener las variables de estado que se utilizan en la modelación y simulación del sistema.

Utilizando las funciones de análisis estadístico y diseño experimental de Flexsim con Experfit se establecieron las distribuciones de probabilidad de los tiempos entre las llegadas de los vehículos a la bodega y de los tiempos de los procesos internos de carga, descarga y almacenamiento. Además, se determinó, primero: los parámetros de funcionamiento como el número de estibadores, número de montacargas, ubicaciones y trayectos; segundo: las métricas de rendimiento del sistema como el número y tipo de vehículos cargados y descargados, los tiempos de espera y el número de vehículos en cola; y tercero: los escenarios y el número de replicaciones necesarias para que los resultados obtenidos sean estadísticamente significativos.

El modelo de simulación se desarrolló por subsistemas del proceso general de almacenaje. Se evaluaron los escenarios alternativos en relación con el escenario inicial y se determinó el escenario óptimo. Los resultados presentaron mejoras en los indicadores, optimizando el proceso de almacenamiento de Aduanor. En el número de vehículos descargados se obtuvo una mejora del 83.33 % y un 87.5 % en el número de vehículos cargados. De igual forma, se logró procesar un 85 % más de vehículos que en el escenario actual. Se obtuvo una reducción del 50.19 % en el número promedio de vehículos en cola. Finalmente, el tiempo promedio de espera de los vehículos en cola se redujo en un 39.78 %.

Palabras clave: Simulación, redes de Petri, modelo, sistema, almacenamiento, carga y descarga, flujo de procesos.

ABSTRACT

The objective of this work is to optimize the storage process of the company Aduanor based on the theory of systems oriented to discrete events, mathematical modeling with Petri Nets and digital simulation with Flexsim. The analysis of the current situation of the company was carried out to obtain the state variables used in the modeling and simulation of the system. The statistical analysis and experimental design functions of Flexsim with Experfit allow to establish the probability distributions of the times between the arrivals of the vehicles at the warehouse and the times of the internal loading, unloading and storage processes. In addition, it was determined, first: the operating parameters such as the number of stevedores, number of forklifts, locations and routes; second: system performance metrics such as the number and type of the loaded and unloaded vehicles, waiting times, and the number of vehicles in queue; and third: the scenarios and the number of the necessary replications in order to obtain statistically significant results. The simulation model was developed by subsystems of the general storage process. The alternative scenarios were evaluated in relation to the initial scenario to determine the optimal setting. The results show improvements in the indicators, optimizing the storage process of Aduanor. The number of unloaded vehicles was improved by 83.33 % and by 87.5 % in the number of loaded vehicles. Similarly, it was possible to process 85 % more vehicles than in the current scenario. A 50.19 % reduction was obtained in the average number of vehicles in the queue. Finally, the average waiting time for vehicles in line was reduced by 39.78 %.

Keywords: Simulation, Petri nets, model, system, storage, loading and unloading, process flow.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en el análisis del proceso de almacenamiento de la empresa Aduanor con el uso de simulación digital y fundamentado en el modelo matemático de RdP. La automatización de este flujo a través de la digitalización representa una transformación a la logística integral, logrando un proceso operativo de almacenaje más eficiente y eficaz, y ayudando a que exista un mejor entendimiento de cómo se lleva a cabo cada una de las actividades que involucra el sistema.

A medida que los procesos se van digitalizando, se puede identificar que las empresas se vuelven más competitivas y buscan las mejores herramientas para satisfacer a los mejores estándares a su demanda, por lo que las empresas que componen la cadena de suministros deben modernizar su operativa con nuevas metodologías e innovación para cada proceso. La simulación digital es la indicada a implementar, con la que es posible estimar el desempeño del sistema real con cualquier herramienta que permita rediseñar los procesos, para una toma de decisiones segura y prácticas de mejoramiento.

La presente investigación está conformada por capítulos que permiten distribuir la información de manera organizada para su presentación. El capítulo I hace referencia a la problemática de investigación, objetivos y preguntas de investigación que presentan el argumento del diagnóstico de la situación actual de la empresa Aduanor.

El capítulo II se enfoca en la revisión bibliográfica de distintos estudios que respaldan la presente investigación y que ayudarán a sustentarla. Aquí se argumenta acerca de conceptos como: almacenamiento, simulación digital y redes de Petri. De igual forma, se consideraron diferentes antecedentes que permiten alinearse con el tema de investigación y presentar argumentos más sólidos para describir el fenómeno u objeto de investigación.

El capítulo III se enfoca en desarrollar la metodología aplicada para toda la investigación, como enfoque, operacionalización de variables, métodos de estudio, población objeto y técnicas, con el fin de extraer la información más valiosa para el presente estudio.

En el capítulo IV se analiza los resultados presentados una vez puesto en marcha la simulación del modelo, esto por medio del análisis de la situación actual del sistema, obtenido por los instrumentos de investigación como encuestas y entrevistas, para luego pasar con la discusión en base a los resultados y los antecedentes investigativos como sustento para la presente investigación.

En el capítulo V se encuentran los resultados finales de la investigación y sus conclusiones partiendo del análisis inductivo, trabajo práctico y fundamentación teórica. De esta forma, se logró determinar escenarios óptimos con características aplicables al sistema real y sus correspondientes recomendaciones, mismas que pueden ser consideradas por quien corresponda en la empresa estudiada para su adaptación.

I. PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, los avances en inteligencia artificial (IA) están impulsando una nueva era de la automatización de procesos, por medio de la automatización inteligente. "La automatización inteligente está cambiando la forma en que operan las empresas mediante el uso de los avances tecnológicos para optimizar los procesos, personalizar las experiencias de los clientes y mejorar la toma de decisiones" (Chao, 2018, p.2).

Organizaciones de todo el mundo están adoptando los nuevos procesos empresariales digitalizados y avances tecnológicos para implementar soluciones de automatización capaces de repetir las acciones humanas. De esta forma, se eliminan tareas 'rutinarias' y las tareas de los empleados evolucionan para ofrecer resultados de mayor valor.

La simulación digital es una herramienta que permite visualizar el comportamiento de un fenómeno de la vida real. Esto, con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible, el entendimiento y la evolución de todos los estados posibles de los procesos involucrados dentro del sistema real y con ello obtener una muestra de escenarios más representativos para la toma de decisiones y optimización.

A nivel global, la optimización de procesos dentro del sistema de almacenamiento va dirigido a convertirse en un entorno más competitivo por el alto nivel de flujo comercial internacional que ha venido experimentando el mercado durante estos últimos años. Sin embargo, las empresas se limitan a incorporar nuevas metodologías y no incluyen sistemas automatizados en la gestión de procesos, cuyo propósito es llevar el servicio a un nivel más sólido, eficaz y confiable.

La gestión logística de almacenamiento es el proceso encargado de la conservación de cualquier tipo de mercancía en el correcto estado, con el fin de poder visualizar y ubicar de la misma de una manera óptima. Los procesos encargados de una buena gestión de almacenaje consisten en manejar diferentes metodologías, tales como: manejo de inventarios, registro del lugar en la que se encuentran almacenados, planificación de zonas de almacenaje dependiendo el tipo de producto, facilitar el flujo de circulación dentro de la bodega y una correcta manipulación de la mercadería.

El uso de almacenes aduaneros a nivel del Ecuador ha sido primordial para el desarrollo de las operaciones logísticas, porque gracias a que las mercancías se encuentran almacenadas, la aduana tiene un mayor control sobre estas, concediendo un mayor resguardo, no solo al ente regulador sino también al propietario de la mercancía (Brito, 2019).

Grupo Aduanor, es una empresa ecuatoriana que se encuentra ubicada en la ciudad de Tulcán, dedicada a brindar el servicio de almacenaje de mercancías y servicios integrales en comercio exterior, destacada en su servicio por incorporar en sus instalaciones el uso de sistemas logísticos adecuados para la manipulación de mercancías, como lo son: montacargas, carretillas hidráulicas, básculas y además el grupo de operadores que se encargan de llevar a cabo el proceso de almacenamiento dentro de la bodega.

Sin embargo, dentro de la ejecución de este proceso se suscitan varios inconvenientes que afectan directamente a la dinámica de la bodega. Al ser un almacén que no tiene incorporado un proceso de automatización en sus operaciones, estas no se las realiza con un criterio técnico sino más bien con base en un criterio empírico.

De ahí que las dificultades más comunes que se presentan son demoras en el flujo de ingreso y salida de vehículos y fallas en el pronóstico de la disponibilidad de las zonas operativas en la bodega, por el cual no se hace un uso adecuado del espacio asignado para los servicios que esta ofrece. Además, debido a que no se ha realizado una simulación con apoyo computarizado del proceso de almacenamiento, en la

bodega no se tiene la certeza de estar haciendo un uso adecuado de los recursos y maquinaria disponibles para dicho fin.

Por tal motivo, surge la necesidad de modelar, simular, entender y evaluar todos los procesos llevados a cabo dentro del sistema de la bodega. Esto con el objetivo de optimizar el modelo actual y medir en que porcentaje estos procesos mejoraron.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué medida el modelo de simulación con base en redes de Petri y simulación digital optimizará el proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Dentro de la sociedad de la información actual, la tendencia de las empresas que ofrecen servicios de almacenamiento y de cualquier otro tipo están enfocándose en lograr estar a la vanguardia en la implementación de tecnologías, sistemas de control y de automatización que faciliten y optimicen el desarrollo de los procesos que en ellas se emplean.

El servicio que brinda la gestión de almacenamiento de un almacén temporal debe ser continuo, oportuno y adecuado para todo tipo de mercancía. Por tal motivo, la empresa Aduanor, debe garantizar el cuidado y control de las mercancías desde el momento de su recepción, y custodiarlas de manera segura hasta el momento de su salida.

La presente investigación determinará si los procesos que se manejan dentro de la bodega se están ejecutando de forma eficiente, oportuna y de una forma adecuada en cuanto a la asignación de recursos para cada operación. Con ello se podrá determinar si se está optimizando tiempos y carga de trabajo por parte de operarios encargados de las operaciones. Para esto, se considera la simulación digital como una herramienta alternativa que da el soporte adecuado para representar procesos que se desarrollan dentro de un sistema de almacenamiento porque permite realizar la virtualización de varios escenarios que se programan y evolucionan hasta encontrar el evento óptimo y adecuado del sistema.

La empresa Aduanor se beneficiará con el desarrollo de este estudio puesto que su principal objetivo se enfoca en la optimización de sus procesos, lo que involucra el incremento de su capacidad de procesamiento de vehículos y la reducción de sus tiempos de espera, gracias a esto, va a mejorar el flujo de sus operaciones y podrá brindar un servicio eficaz a sus clientes.

La propuesta de este modelo de simulación tiene como finalidad interrelacionar, establecer y coordinar las actividades que se desarrollan dentro del proceso de almacenamiento por medio de la reducción en tiempos, mejora del flujo de ingreso y salida de los vehículos y aumento de efectividad en su personal. De esta forma, se garantiza el uso adecuado de maquinaria y recursos y ayudar a que el servicio que brinda la empresa cumpla con las expectativas comerciales de sus clientes.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Optimizar el proceso de almacenamiento de la empresa Aduanor, utilizando modelación con redes de Petri y simulación digital.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual del proceso de almacenamiento de mercancías.
- Modelar el proceso de almacenamiento de mercancías con el uso de Redes de Petri.
- Simular distintos escenarios del proceso de almacenamiento de mercancías a partir del modelo matemático establecido, con herramientas de simulación digital.
- Determinar el modelo de simulación que optimiza el proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor.

1.4.3. Preguntas de investigación

- ¿Cuál es la situación actual del proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor?
- ¿Cómo se relaciona el modelo de simulación con el proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor?
- ¿Qué escenario de simulación se adapta al proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor?
- ¿Qué modelo optimiza el actual proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor y en qué porcentaje?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES A LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se presentan trabajos investigativos que se consideraron de soporte para la fundamentación del presente estudio.

Wang (2016), desarrolló un artículo con base en el sistema de logística de producción, tomando como objetivo la mejora de la eficiencia. Esta estuvo conformada por el estudio de cuello de botella y proponer métodos de optimización específicos para mejorar los procesos, reducir el desperdicio, mejorar la eficiencia y demostrar la racionalidad y validez del método de investigación.

El estudio comparó resultados en cuanto al tiempo de tacto de ensamblaje correspondiente a 1.75 min, donde el tiempo de inactividad y sobrecarga se reduce a un 60.69 % en comparación con un tiempo de tacto de 3.5 min. Se concluye que es conveniente implementar y usar modelos de red de Petri y software de simulación *Flexsim* para realizar investigaciones de simulación dentro del sistema de producción ya que los mismo son capaces de analizar con precisión, realizar mejoras y optimizaciones específicas al sistema logístico.

Gaudiani (2016), desarrolló su investigación enfocada en brindar una metodología para mejorar la calidad de la simulación de un modelo computacional de cauce de ríos, aplicando la técnica de optimización vía simulación por medio de los cómputos de alto rendimiento.

Como resultados y conclusión se logró una mejora en la predicción de Ezeiza entre el 10 % y el 25 % para el primer caso de estudio y comprobación del método y mejoras entre el 20 % y el 40 % para el segundo caso de experimentación. Estos porcentajes representan un promedio de 40 cm a 60 cm de altura del agua, y la importancia de estos valores radica en que pueden ser la diferencia entre la pérdida o no del ganado o de cubrir casas, al entrar el agua en las planicies de inundación afectadas.

Goicochea & Solano (2019), con base en su investigación logran determinar en qué medida se propone la distribución de Planta basado en el simulador *Flexsim* para reducir los Tiempos de Espera.

El estudio concluyó que la aplicación de la distribución de planta disminuye la distancia del recorrido de trabajo, que con la metodología SLP se obtuvo la disminución de 35.99 % con una distancia recorrida de 233 metros; la metodología CORELAP en 36.81 % con una distancia recorrida de 230 metros en comparación con la que se encontró al momento de la recolección de datos donde fue de 364 metros de recorrido.

Caicedo (2017), desarrolló un artículo investigativo con el objetivo de identificar el acople adecuado entre modelos heurísticos y aproximaciones de cálculo de probabilidad de falla en tuberías corroídas. El estudio tuvo el desarrollo de implementó en aproximaciones de cálculo de probabilidad de falla a partir de simulaciones de Monte Carlo, el método de confiabilidad de primer orden y el índice de confiabilidad. Los resultados de la investigación determinaron que los acoples adecuados varían de acuerdo con el caso de estudio. El estudio concluye que, para los tres casos, se obtuvo mejores resultados siguiendo una aproximación de Monte Carlo.

Hernández (2016), estudia el efecto de algunos factores de complejidad para el rendimiento de las cadenas de suministro. Se realizó la investigación de tipo análisis exploratorio para estudiar el efecto de algunas fuentes de complejidad de la cadena de suministro de tipo estático y dinámico sobre el desempeño de cadenas de suministro.

Los resultados de la investigación determinaron que se valida la hipótesis que las fuentes de complejidad tienen un efecto significativo sobre el rendimiento de una cadena de suministro medido a través de los indicadores: costes totales, inestabilidad del sistema, nivel de servicio y percepción de complejidad. Se concluye que las herramientas de valoración basada en simulación sirven para estudiar el efecto de algunas fuentes de complejidad e incertidumbre dentro de un sistema.

Cruz & Pravia (2016), desarrollaron un artículo con base en Redes de Petri como una vía de determinación de los puntos críticos para el control interno.

Como resultados se obtienen los subprocesos en los cuales existen puntos críticos que definen la jerarquización en el control de los procesos.

2.2. MARCO TEÓRICO

La fundamentación teórica de la investigación se compone de tres partes principales para abarcar en su totalidad con la teoría que compone el tema a desarrollar. La primera parte de las teorías afines con las variables de la investigación tiene que ver con la gestión del almacenaje. La segunda parte contiene terminología relacionada con el estudio de las Redes de Petri; y la tercera parte, es la relacionada con la simulación digital, tomando como referencia diferentes fuentes bibliográficas.

2.2.1. Gestión de almacenes

Es el proceso de la función logística que se encarga de la recepción, almacenamiento y movimiento dentro de un mismo almacén de cualquier material, así sea: materias primas, productos semielaborados o productos terminados, además del tratamiento e información de los datos generados (Valdemoro & Ferrer, 2012, p.10).

2.2.1.1. Proceso de la Gestión de Almacenes

La gestión de almacenaje está compuesta por dos ejes principales transversales que representa los procesos operativos principales, los cuales son: planificación, organización y el manejo del flujo de información. Además, se desenvuelve en tres subprocesos ideales para dar cumplimiento con la gestión de almacenaje, estos son: recepción, almacén y manipulación.

- Planificación y Organización: Este tiene el cumplimiento de dar soporte a los recursos que solicita el cumplimiento de políticas y objetivos que contempla la estrategia de la empresa para llevar a cabo cada una de las actividades del proceso en general.

Lo que se pretende en este punto es gestionar el flujo de la mercadería dentro de la bodega y los operarios encargados de realizar la manipulación de esta. Con el objetivo de tener accesibilidad oportuna de las mercancías en cuanto a la estructura del inventario disponible, por ejemplo, si se va a manejar distintas

unidades de carga será clave distribuir por zonas correspondientes para el manejo y manipulación. De este modo, se podrá controlar la procedencia de cada lote y así dar trazabilidad de los productos más fácilmente.

En resumen, lo que se busca con la planificación y organización es encontrar el equilibrio entre el flujo de personas y materiales que compone una bodega, además de la fácil accesibilidad de llegar a las mercancías en el almacén, espacios disponibles y la evaluación del comportamiento del stock.

- Recepción: Según Escudero (2019), esta hace referencia a la acción o momento en que la mercadería o productos llegan a las instalaciones de la bodega y termina cuando son ubicados en la zona de tránsito o muelle de manipulación para su post control y verificación de calidad.

Las zonas de recepción son donde se depositan transitoriamente la mercancía procedente de la zona de descarga, esta debe estar lo más próxima a la entrada y lo más independiente posible del resto de almacén

- Almacén: Según Zapatero (2011), hace referencia al área física donde se va a manipular y almacenar la mercadería, cumpliendo con requisitos y políticas según sus estándares. El fin es dar un correcto manejo a las operaciones como recepción, custodia, conservación y distribución de una manera organizada, lógica y sistemática de cada uno de la mercadería que ingresen al almacén. Es un espacio físico, instalación dentro de la empresa o parte de esta destinado y debidamente estructurado para almacenar, ubicar, mantener y regular el flujo de mercancías, y donde se realizan subprocesos que forman parte de la gestión de almacenes.

- Manipulación: Hace referencia con la expedición de mercancías por medio de la acción de movimiento o traslado de un punto a otro efectuado dentro del bodega, sin el involucramiento de transformación de este. Esto con la finalidad de mantener una logística fluida dentro del almacén y ordenada, con el objetivo de disminuir costes involucrados dentro de la bodega.

- Información: Según Salazar (2021), el flujo de información es de suma importancia en la gestión de almacenes para cada una de las operaciones, el cual incluye:

- ✓ Configuración del almacén: instalaciones, layout, etc.
- ✓ Datos relativos a los medios disponibles

- ✓ Datos técnicos de las mercancías almacenadas
- ✓ Informes de actividad para Dirección
- ✓ Evolución de indicadores
- ✓ Procedimientos e instrucciones de trabajo
- ✓ Perfiles y requisitos de los puestos
- ✓ Registros de la actividad diaria

Para ello lo realiza por tres vías:

- ✓ Información para gestión.
- ✓ Identificación de ubicaciones.
- ✓ Identificación y trazabilidad de mercancías.

- Zonas de un almacén: Es muy importante considerar un buen diseño interno del almacén, el cual permitirá tener una mejor organización de la mercancía y con ello una mejor accesibilidad de esta. Las decisiones que se tomen en cómo distribuir de manera general la bodega deben satisfacer una serie de objetivos para un mejor desempeño.

Según Escudero (2019) se debe tomar en cuenta las siguientes pautas:

- ✓ Conseguir el máximo índice de rotación de la mercancía
- ✓ Reducir al mínimo la manipulación de materiales
- ✓ Facilitar el acceso al producto almacenado
- ✓ Tener la máxima flexibilidad para la ubicación de productos
- ✓ Facilitar el control de las cantidades almacenadas
- ✓ Aprovechar eficientemente el espacio disponible

Considerando la Tabla 1 se detalla a mayor escala las zonas físicas que contiene un almacén o bodega.

Tabla 1. Zonas de un almacén

Zona de carga y descarga	Es de suma importancia ya que interviene en la recepción y designación de la mercancía dentro de la bodega. Es importante que la zona este integrada con la instalación del almacén, el cual permite un acceso directo a los diferentes tipos de vehículos de transporte.
--------------------------	---

Zona de recepción	Es donde se deposita transitoriamente la mercancía procedente de la zona de descarga; esta debe de estar lo más próxima a la entrada y lo más independiente posible al resto de las demás zonas u áreas.
Zona de almacenaje	<p>Lugar donde la mercancía hasta el momento de su expedición.</p> <p>Tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Almacenamiento en el suelo - Almacenamiento en estanterías
Zona de preparación de pedidos	<p>Es una zona necesaria cuando las mercancías salen del almacén con una composición diferente con la que tenían en su lugar de almacenaje.</p> <p>Tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zona de preparación de pedidos integrada a las estanterías de almacenaje. - Zona de preparación de pedidos independiente.
Zona de expedición	<p>Son las zonas destinadas en ubicar temporalmente la mercancía que salen del almacén. Mismo cuenta con las áreas de: consolidación, embalaje y control de salidas.</p> <p>Actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Embalaje - Etiquetado - Comprobación - Consolidación de pedido.
Zonas auxiliares	<p>Acciones u áreas que no tienen relación directa con el almacenaje, enfocadas en realizar actividades de apoyo en las operaciones de almacenaje.</p> <p>Áreas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Área de devoluciones - Área de envases o embalajes - Área de oficinas o administración - Área de servicios

Fuente: Escudero (2019)

En la Figura 1 se ilustra de mejor manera como se estructura internamente el flujo y sentido que conlleva un proceso de almacenamiento para una bodega.

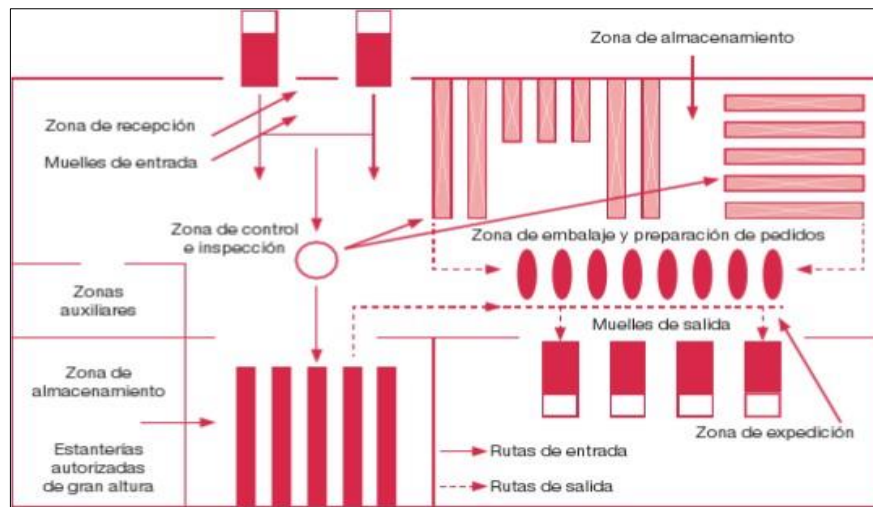


Figura 1. Zonas de almacén
Fuente: Campo Varela y Hervás Exojo (2013)

2.2.1.2. Almacenamiento

Es el proceso de conservar bienes con distintas características físicas, químicas, biológicas, etc., con el objetivo de dar custodia, manipulación y conservación de la mercancía en perfecto estado (seguridad y conservación) por un periodo de tiempo predeterminado para la consecución de un fin de fabricación o comercialización.

- Características de las mercancías

Cada mercancía tiene diferentes características en su estructura dependiendo del tipo de producto, por lo que cada una de estas requiere un tipo de manipulación, almacenamiento y cuidado distinto en su proceso de almacenaje.

Según la Tabla 2, se muestran diferentes criterios de clasificación para cada tipo de carga de mercancía:

Tabla 2. Caracterización de mercancías según su tipo de carga

Criterios	Tipos de cargas	Características
Según su volumen o dimensiones	- Pequeñas, medianas y paletizadas - Voluminosas, de dimensiones especiales, muy voluminosas y de volumen excepcional.	- Su manipulación es manual, llegando a pesar hasta un máximo de 10kg. - Su manipulación mediante paletización, grúas y transportes especiales.
Según su peso	- Cargas ligeras, medianas, pesadas y muy pesadas.	- Llegan a pesar desde apenas 5kg hasta más de una tonelada.
Según la forma de apilarlas	- Cargas sencillas y apilables.	- Dimensiones normales, pero no se pueden apilar unas encima de otras sino por separado.
Según el lote	- Cargas unitarias y por lotes.	- Lotes constituidos desde 3 a 100 unidades, dependiendo la dimensión del pallet y características del producto.
Según la fragilidad	- Cargas resistentes, ligeras y frágiles.	- Aquellas mercancías que pueden soportar peso encima de otra hasta mercancías que no soportan ni un peso (individuales).

Fuente: Noega Systems (2016)

- Medios de almacenamiento

Son equipos o vehículos dinámicos que se trasladan con mayor o menor facilidad de desplazamiento dentro del almacén mientras se realizan operaciones de almacenaje. Sirven para realizar operaciones de carga, descarga, almacenamiento, acomodo y traslado de mercancías. Según Escudero (2019) su nivel de uso depende del tamaño, grado de automatización de las actividades y de los medios de transporte empleados con el fin de minimizar los tiempos en realizar tareas.

Los medios necesarios utilizados para el proceso de almacenamiento varían de acuerdo con la manipulación y el tipo de mercancías, las variables asociadas son:

- ✓ Dimensión de la carga.
- ✓ Peso de la carga.
- ✓ Estándares de almacenamiento.
- ✓ Rotación de inventario.
- ✓ Selectividad.

Tabla 3. Medios de almacenamiento en una bodega

Según el grado de automatización		
Equipos con movimiento sin traslado	Equipos con movimiento y traslado	
<ul style="list-style-type: none"> - Cinta transportadora de rodillos - Cinta transportadora de banda 	<ul style="list-style-type: none"> - Transpaletas - Apiladoras - Carretillas elevadoras - Transelevadores 	
Medios automáticos	Medios manuales	Vehículos automatizados
<ul style="list-style-type: none"> - Transpaleta - Autopropulsada - Apilador autopropulsado - Carretillas elevadoras - Transelevadores 	<ul style="list-style-type: none"> - Transpaleta manual - Apilador manual 	<ul style="list-style-type: none"> -Carretillas automáticas de pasillo estrecho -Transelevadores automatizados -AGV's: carros filoguiados y robots móviles
Según las actividades que mejor realizan		
Para el almacenamiento convencional	Para carga y descarga de camiones	Para almacenamiento Automatizado
<ul style="list-style-type: none"> - Cinta transportadoras - Transportadores aéreos - Transpaletas - Apiladoras - Carretillas elevadoras - Transelevadores 	<ul style="list-style-type: none"> - Transpaletas - Apiladoras - Carretillas elevadoras 	<ul style="list-style-type: none"> - Carretillas trilaterales - Transelevadores -Vehículos de guiado automático: carros filoguiados y robots móviles

Fuente: Escudero (2019)

2.2.1.3. Personal Operativo de una bodega

- Operario de montacargas

Funciones principales:

- ✓ Manipular diferente tipo de mercancías, paletizada o suelta durante el proceso de carga y descarga.
- ✓ Descarga y carga de mercancías de vehículos entrantes y su acopio en los lugares correspondientes.
- ✓ Inspeccionar que la mercancía que ingrese a la bodega se recepte en buenas condiciones.
- ✓ Realizar el respectivo mantenimiento o limpieza al montacargas y demás maquinaria que se utilizan en el proceso de almacenamiento.

- Operario de báscula

Funciones principales:

- ✓ Operar máquinas correspondientes en los puestos de báscula fija.
- ✓ Responsable de informar el pesaje de cada vehículo que ingresa y sale de la bodega con su respectiva mercancía u vacío, además del registro de las horas de ingreso y datos de la unidad.
- ✓ Receptar el manifiesto de carga con el sello de la aduana.

- Inspector de Bodega

Funciones principales:

- ✓ Recepción de documentos para realizar el respectivo ingreso a bodega del vehículo en el sistema interno.
- ✓ Planificar actividades de bodega, asegurando el pleno funcionamiento del proceso de almacenaje.
- ✓ Realizar los respectivos envíos electrónicos al sistema de ECUAPASS-SENAE
- ✓ Mantener siempre la gestión y el orden de las instalaciones e identificación de la mercadería ya almacenada.
- ✓ Inspección del equipo o maquinaria usada dentro de la bodega para determinar la necesidad de reparaciones y garantizar la seguridad.
- ✓ Cumplir con la zona de aforo de la mercancía ingresada a la bodega para su post almacenaje.

- ✓ Mantener actualizados los registros de actividad e inventario.
- Estibador

Funciones principales:

- ✓ Manipulación de mercancías manualmente y uso de montacargas manuales en las operaciones de almacenamiento.
- ✓ Trincaje de carga.
- ✓ Cuidado y protección de las mercancías.
- ✓ Manipulación de distintos tipos de mercancías en las operaciones de almacenamiento.

2.2.2. Redes de Petri

Para Murata (1989), las RdP (Redes de Petri) representan una alternativa gráfica y matemática para el modelado de sistemas de información paralelos, concurrentes, asíncronos, no-determinísticos, distribuidos y/o estocásticos.

Una RdP es un modelo matemático enfocado con el flujo de información para dar análisis a procesos y sistemas reales, ya que permite modelar el comportamiento y la estructura de este, llevando a condiciones límite que en un sistema real es complejo de lograr.

Según Piera (2004), una RdP matemáticamente se define como una quintupla:

$$PN = (P, T, F, W, M_0)$$

Donde:

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ es un conjunto finito de lugares.
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ es un conjunto finito de transiciones.
- F es un conjunto de arcos dirigidos.
- $W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ es una función de pesos de los arcos.
- $M_0: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ es el marcado inicial de la red.

El estado del sistema queda totalmente determinado por el número de marcas en cada nodo tipo lugar, y puede describirse matemáticamente por el vector P .

2.2.2.1. Representación gráfica de una RdP

Gráficamente una RdP se representa por medio de grafos dirigidos, con pesos en nodos tipo lugar que son representado gráficamente por círculos y las barras a las transiciones, dichos lugares y transiciones se conectan por medio de arcos dirigidos etiquetados con un número entero natural llamado peso de arco, pero nunca se conectan lugares con lugares ni transiciones con transiciones, esto según Castellanos (2006).

Por otra parte, los tokens residen en los nodos tipo lugar y controlan la activación de las transiciones de la red, determinando así el estado en la que se encuentra el grafo, dichos tokens pueden ser simbolizados como pequeños puntos negros y pueden encontrarse de cero varios en un mismo lugar.

La Figura 2 ilustra el sentido de una RdP con todas sus propiedades mencionadas anteriormente.

Para Murata (1989), es importante limitar el número de token en un lugar, dependiendo del tipo de sistema a modelar, lo que recibe el nombre como RdP de capacidad finita, donde a cada nodo tipo lugar p se le asigna una capacidad $K(p)$ que indica el máximo número de tokens que pueden abastecer al mismo tiempo.

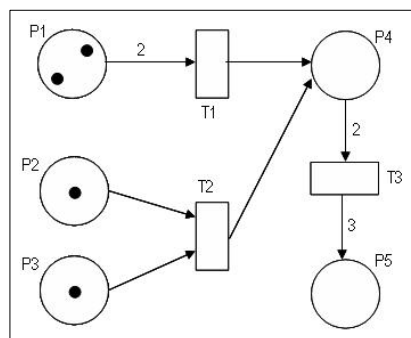


Figura 2. Representación gráfica de una RdP
Fuente: Castellanos (2006)

2.2.2.2. Reglas de las RdP

- “Una transición “T” es activada cuando consume un token para cada nodo lugar de entrada “P” y produce un token para cada lugar de salida” (Castellanos, 2006, p.52).

$$M'(p) = M(p) - I(p,t) + O(t,p), \forall p \in P$$

Según Murata (1989), la activación de marcas en un flujo de grafos para una RdP con capacidad finita de activaciones es conocida como reglas de transición estrictas, las cuales deben cumplir con el número de marcas (tokens) de cada nodo lugar de salida P de T no debe excederse en su capacidad K(P) después de un disparo de la transición (T).

- Una transición activada puede dispararse en cualquier instante.
- "Una transición t es activada, si cada lugar inhibidor contiene un número de tokens estrictamente más pequeño que la multiplicidad correspondiente al arco inhibidor" (Castellanos, 2006, p.52).

$$\forall p \in H(t), M(p) < w(p,t)$$

- "Como resultado de disparar una transición activada, se eliminan $W(P_j, T_i)$ marcas de cada nodo P_j a la entrada de T_i , y se añaden $W(T_i, P_k)$ marcas a cada nodo P_k de salida de T_i " (Piera, 2004, p.120).

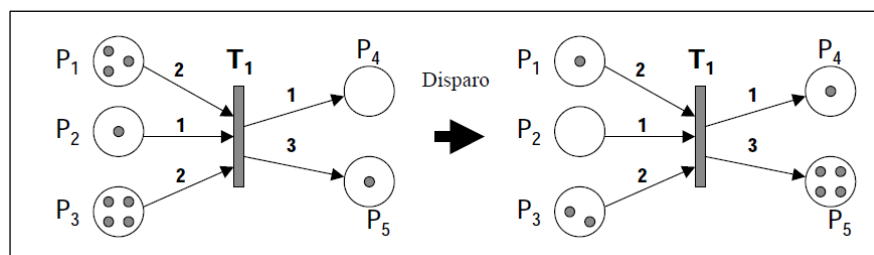


Figura 3. Resultado de disparar la transición activada T1
Fuente: Castellanos (2006)

La Figura 3 ilustra mediante un ejemplo siguiendo las reglas antes detalladas, donde se puede observar en la parte izquierda una transición activada (las marcas de los nodos de entrada contienen cantidades mínimas según el peso de los arcos que conectan con la transición secuencial: $M(P1) = 3 \geq 2$, $M(P2) = 1 \geq 1$ & $M(P3) = 4 \geq 2$). Para la figura de la derecha se ha representado el estado del mismo grafo de la RdP una vez que se ha disparado los tokens de la transición (se eliminaron 2 marcas de los nodos P1 y P3, y una del nodo P2, y consecuencia de ello se añade 1 marca en el nodo P4, y 3 marcas sobre el nodo P5).

Piera (2004), menciona algunas de las ventajas de las RdP que permiten representar de forma elegante los mecanismos propios de los procesos orientados a eventos discretos:

- Ejecución secuencial
- Toma de decisiones
- Concurrencia
- Sincronización
- Agrupación

2.2.2.3. Propiedades de las RdP

Después del modelado al sistema real por medio de las RdP, es crucial realizar la comprobación de propiedades, principal con problemas concurrentes, por un lado, para demostrar que el diseño realizado es correcto y que cumple las especificaciones con las que ha sido concebido, y por otro, poder extraer propiedades sobre el comportamiento del sistema. Según Castellanos (2006), en las RdP se pueden encontrar dos tipos de propiedades: las que dependen del marcado inicial llamadas propiedades de comportamiento y las que son independientes del marcado inicial llamadas propiedades estructurales.

En la Tabla 4 se detalla algunas de las propiedades de comportamiento de una RdP.

Tabla 4. Propiedades de las RdP

Propiedades	Características
Alcanzabilidad (Reachability)	Consiste en verificar si $M_k \in R(M_0)$ dada una RdP N con un marcado M_0 y un marcado M_k .
Seguridad (Safeness)	Se dice que un lugar de una RdP es seguro si el número de marcas en ese lugar nunca excede la unidad.
Persistencia (Persistence)	Se dice que una RdP es persistente sí, dos transiciones activadas cualesquiera, el disparo de una de las transiciones no desactiva a la otra.
Vivacidad (Liveness)	Una RdP viva garantiza las operaciones libres de bloqueos, sin importar la secuencia de disparo realizada.

Acotamiento estructural (Structural Boundedness)	Una RdP es estructuralmente acotada si $M(P_i) \leq k$ para todos sus estados $M \in R(M_0)$.
Controlabilidad (Controllability)	RdP es completamente controlable si un marcado es alcanzable desde cualquier otro marcado.
Repetitividad (Repetitiveness)	Una RdP N es repetitiva si existe un marcado M_0 y una secuencia de disparos finitos desde M_0 hasta encontrar su alcanzabilidad.
Vivacidad estructural (Structural Liveness)	Una RdP N es estructuralmente viva si existe un marcado inicial vivo para N.

Fuente: Castellanos (2006)

2.2.2.4. Redes de Petri Coloreadas

Las RdP permiten construir modelos más compactos o simplificados en cuanto a la construcción del grafo, lo que facilita considerablemente su clasificación y análisis. Este tipo de modelo requerirá de diferentes componentes y criterios con el formalismo de las RdP.

La Figura 4 ilustra el modelo y construcción de una Red de Petri coloreada.

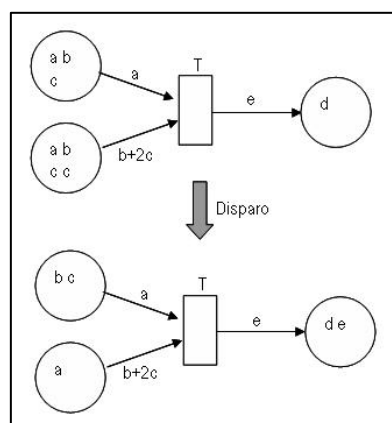


Figura 4. RdP coloreadas
Fuente: Castellanos (2006)

Las RdP coloreadas en objetivo proporcionan una estructura para la construcción de sistemas distribuidos y concurrentes. El funcionamiento común de este tipo de RdP

consiste en la incorporación de marcas de diferentes colores (criterios, tipos de datos, variables o valores) con ello la red tendrá la circulación de diferentes tipos de tokens; por tal motivo, las RdP coloreadas deben especificar un dominio de color asociado a cada arco.

Según Piera (2004), la principal diferencia entre una RdP con una RdP coloreada es la capacidad de asociar a cada objeto (marca) un tipo de datos (conjunto de valores) denominado color del objeto (color de la marca). El uso de colores es análogo al uso de tipos de datos en, lo cual dota a las RdP coloreadas de la potencia necesaria para poder formalizar el modelo de cualquier sistema, por complejo que éste sea.

Matemáticamente, una RdP coloreada puede definirse a partir de la siguiente tupla:

$$\text{RdPC} = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, I)$$

Según Piera (2004), caracteriza a cada componente de la siguiente manera:

- $\Sigma = \{C1, C2, \dots, Cnc\}$: conjuntos finitos y no vacíos de colores. Permite especificar los atributos que deben definirse para cada tipo de entidad que se quiera modelar.
- $P = \{P1, P2, P3, \dots, Pnp\}$: conjunto finito de nodos lugar que permiten especificar el estado del sistema.
- $T = \{T1, T2, T3, \dots, Tnt\}$: conjunto finito de nodos tipo transición. Las transiciones en el modelo de simulación corresponden a eventos que suelen codificarse como el inicio o fin de una cierta actividad.
- $A = \{A1, A2, \dots, Ana\}$: conjunto finito de arcos.
- N : función de nodo, $N(Ai)$, que permite asociar a cada arco sus nodos terminales.
- C : conjunto de funciones color, $C(Pi)$.
- G : función guarda asociada a los nodos tipo transición, $G(Ti)$, que suele utilizarse para desinhibir el evento asociado a la transición.
- I : función de inicialización, $I(Pi)$, que permite especificar los valores de los colores.

2.2.3. Simulación Digital

La simulación digital es una técnica que permite imitar o simular diferentes eventos de un sistema real para evaluar con ello su comportamiento tomando en cuenta ciertas condiciones de operación. Antes de abarcar con la mejora en el sistema se debe desarrollar un modelo conceptual que describa las dinámicas, para luego implementarlo en un simulador para poder analizar los resultados.

La simulación permite modelar sistemas reales o complejos, que incluyen las características de una organización apegadas al proceso de transporte, recolección, distribución y logística. La herramienta digital es de gran soporte puesto que realiza ensayos o eventos aplicado en los sistemas reales complejos, con el objetivo de prever los altos costos y sobre todo sin correr riesgos que se puedan presentar en algún cambio de los procesos si se ejecutasen en el sistema real.

La simulación puede tener diferentes tipos de proceso, uno de los más usados y sobre todo en el que se enfoca el presente proyecto se refiere a la simulación de eventos discretos, el cual está fundamentado en el uso de ecuaciones matemáticas y estadísticas. Para Dunna (2006), "Este proceso consiste en relacionar los diferentes eventos que pueden cambiar el estado de un sistema bajo estudio por medio de distribuciones de probabilidad y condiciones lógicas del problema que se esté analizando".

Al simular el ambiente de una bodega de almacenamiento con todos sus elementos y procesos y, además, modelando un sistema eficiente y lo más apegado a la realidad posible, esta simulación lograría expresar una optimización de costos, recursos, tiempos y sobre todo podría detectar inconsistencias en el flujo de circulación dentro de la bodega debido a una mala programación de sus recursos.

2.2.3.1. Tipos de sistemas

- Continuos: las variables de estado del sistema crecen de manera continua a lo largo del tiempo. Ejemplo: cambio de temperatura en una habitación.

- Discretos: las propiedades del sistema cambian en cierto instante o secuencia de momentos de tiempo que obedecen a un patrón periódico. El resto del tiempo permanecen constantes.
- Orientados a eventos discretos: iguales que los discretos, pero los cambios en la secuencia de instantes obedecen a un patrón aleatorio.
- Combinados: combinación de sistemas continuos y discretos en diversos periodos de tiempo.
- Discreta/continua: Según Valdés (2007), la define como "modelación de un sistema por medio de una representación en la cual unas variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo y otras cambian instantáneamente en instante de tiempo separados".

2.2.3.2. Componentes de un sistema de simulación

Para un proceso de simulación, es importante fundamentar con las pruebas estadísticas necesarias para comprobar la aleatoriedad. Así mismo, se debe considerar la generación de variables aleatorias y distribuciones probabilísticas, el cual permitirán el correcto inicio y ejecución del proceso.

Peña y Forero (2012), mencionan algunos elementos que componen un sistema para el desarrollo de una simulación detallados en la Tabla 5:

- Entidades: son los objetos en si del sistema, y los responsables de que este cambie de estado.
- Atributos: son las propiedades o características de los objetos, y son de importancia porque ayudan a diferenciar entidades y pueden asignarse durante el proceso.
- Actividades: representa una acción del sistema en un cierto periodo de tiempo.
- Eventos: son ocurrencias que cambian el estado del sistema. Pueden asignarse dos tipos de eventos; aquellos que suceden en un momento determinado y los que representan algún tipo de cambio una vez realizada la simulación.
- Variables de estado: son el conjunto de variables para describir en cualquier momento, representadas por medio de ecuaciones o relaciones

matemáticas. Son de mayor importancia para contabilizar los ciclos de operación al igual que determinar sus características.

- Locaciones: lugares físicos en el sistema real donde ocurren los eventos.
- Llegada: representan las colas de llegadas cuando un objeto o entidad ingresa al sistema y es ubicada en una locación específica; moviéndose al tiempo y tipo de distribución del modelo.
- Redes de camino: cola de camino que representan dentro del modelo simulado.
- Recursos: dispositivos o máquinas necesarias para llevar a cabo el funcionamiento operativo del sistema.

Tabla 5. Componentes de un sistema de simulación

Etapas	Nombre Componente	Definición y aspectos para tener en cuenta
		<p>Según Blanco Rivero & Fajardo Piedrahita (2003), esta etapa pretende ilustrar de la manera más completa posible el sistema en el cual se va a trabajar, se necesita entender muy bien el funcionamiento de las condiciones reales, sus elementos, relaciones y metas e imaginarlas como un sistema.</p> <p>Con ello se obtiene una idea cercana de los componentes del sistema sobre el cual se va a realizar la simulación, determinando si herramienta se adapta para dar solución al problema o se debe trabajar con otras técnicas de métodos numéricos para obtener los mismos resultados.</p> <p>Para esta etapa se consideran los siguientes aspectos:</p>
	Objetivos de la simulación	<ul style="list-style-type: none"> - Recursos requeridos: <ul style="list-style-type: none"> a. Mano de Obra b. Financiero c. Tecnológico d. Disponibilidad del personal - Definir el alcance que se va a tener con la simulación, el cual consiste en establecer si el modelo de simulación se va a realizar sobre todo el sistema o sobre subprocesos del sistema en general, determinando su inicio y fin con especificidad.

Definición del Sistema	<p>Las variables de interés:</p> <p>a) De decisión</p> <p>b) De respuesta</p> <p>c) Exógenas</p>	<p>Son los elementos que definen el comportamiento del sistema y que son relevantes para su funcionamiento, con las cuales éste es representado de manera genérica. Según Calderón (2003), se puede establecer tres tipos de variables:</p> <p>a. De decisión: Son las que describen el estado del sistema en cualquier instante y definen su comportamiento.</p> <p>b. De respuesta: Son las variables cuyo valor se trata de predecir a través del modelo.</p> <p>c. Exógenas: Afectan el comportamiento del sistema, no son afectados por el sistema.</p>
	Medidas de desempeño	<p>Hacen referencia a las variables que miden el comportamiento del sistema evaluado en el modelo y sirven para determinar qué escenario de desempeño es mejor que otro.</p>
	Se contempla los siguientes puntos:	
Plan General del Proyecto	Programas para utilizar en el desarrollo de la simulación	Es necesario establecer que programas (softwares) se adaptan al sistema con el que se dará la simulación digital.
	Resultados esperados al final de cada etapa.	Resultados de cada etapa del proyecto con el tiempo programado, a fin de evaluar el progreso completo de simulación.
	¿Cuándo no se tienen datos, que se hace?	<p>Existen algunas formas de conseguir información que pueden orientar en la distribución a escoger y en la formulación del modelo, aunque no existan datos, esto según Banks, Carson, Barry L., & Nicol (2005).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datos de ingeniería, información proporcionada por fuentes oficiales de la big data. - Juicio de expertos, pueden permitir identificar situaciones, como tiempos de fallo, tiempos optimistas y pesimistas en un proceso, entre otros. - La naturaleza del proceso, enfocado en determinados tipos de procesos.
Análisis de Entrada	Para esta etapa se evalúan los datos recolectados para previa simulación en el software seleccionado.	
	Uso de programas o software estadísticos a utilizar.	Determinar qué aplicativos estadísticos se usarán para este fin de acuerdo con el tipo de prueba a realizar y

		a su disponibilidad.
Construcción del Modelo	Conocimiento del sistema a modelar	La elaboración del modelo requiere de una comprensión de la funcionalidad del sistema real en su totalidad, con el fin de que sea lo más apegado con la realidad.
	Lenguaje de Simulación	La elaboración del modelo requiere de una comprensión de la funcionalidad del sistema real en su totalidad, con el fin de que sea lo más apegado con la realidad.
Validación	La validación del modelo se realiza para ver si los datos estadísticos se adaptan con el sistema real.	
	Opinión del experto en el sistema.	Es necesario evaluar la opinión de quien mejor conoce el sistema, porque es quien lo opera e interactúa constantemente con él.
	Evaluación estadística con un determinado nivel de error	Busca realizar pruebas estadísticas a través de establecer intervalos de confianza, para verificar si existe diferencia significativa entre los datos simulados y los datos reales.
	Usar lo que hace fallar el sistema real	Si al correr el modelo del sistema dentro de la simulación digital este no presenta cambio alguno, significa que el mismo necesitará modificaciones.
	Análisis de sensibilidad	Buscar la comparación de distintos escenarios reales del sistema, lo que puede despejar dudas en la comprensión de este.
Experimentación	Busca experimentar o evaluar diversos comportamientos o escenarios del sistema, realizando un análisis de sensibilidad con el fin de comparar los que presentan los mejores resultados comparando el sistema real con los esperados del sistema de simulación.	
	Planeación	<p>Establece posibles alternativas, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si se debe realizar cambios a los parámetros o comportamiento de las variables. - Modificaciones a las lógicas de funcionamiento del sistema. - Determinar el modelo optimo, considerando el número de eventos simulados.

	Resultados de experimentos	- Comportamiento del sistema después de la simulación.
Interpretación	Toma de decisiones	Cómo se debe afrontar el problema detectado del sistema real por medio de la simulación y cómo adaptar las nuevas métricas optimas al mundo real para una mejor ejecución en sus procesos.
Una vez realizados los análisis correspondientes y presentación de reportes, es conveniente tener claro lo siguiente:		
Toma de Decisiones	<ul style="list-style-type: none"> - Los costos en los que incurrirá ejecutando los cambios que fueron sugeridos por parte del experto en simulación. - El tiempo que tardará en realizar los cambios propuestos. 	

Fuente: Herrera y Becerra (2014)

2.2.4. Métodos de estimación de las funciones de distribución

2.2.4.1. Enfoque paramétrico

Para dar marcha a una simulación es importante especificar la distribución de probabilidad paramétrica o teórica de la llegada de objetos dentro del sistema a modelar.

Algunas de los análisis de datos más importantes a considerar son:

- *Heuristic*
- *Goodnes of Fit test*
- *Difference plot*

Todos estos métodos son bastante similares, su objetivo es comparar varias distribuciones de probabilidad. La principal diferencia que considerar es el grado de formalidad y la cantidad de información utilizada de los datos a ser evaluados.

Tomando en cuenta lo observado en la Figura 5, el enfoque heurístico o de juicio supone mentalmente varias distribuciones para el histograma. Analizando de esa manera se observa que la distribución uniforme es la más alejada a comparación de las otras, esto analizando con todos los valores posibles de la variable igualmente

probables; la función de densidad no coincidirá muy bien con el patrón del histograma.

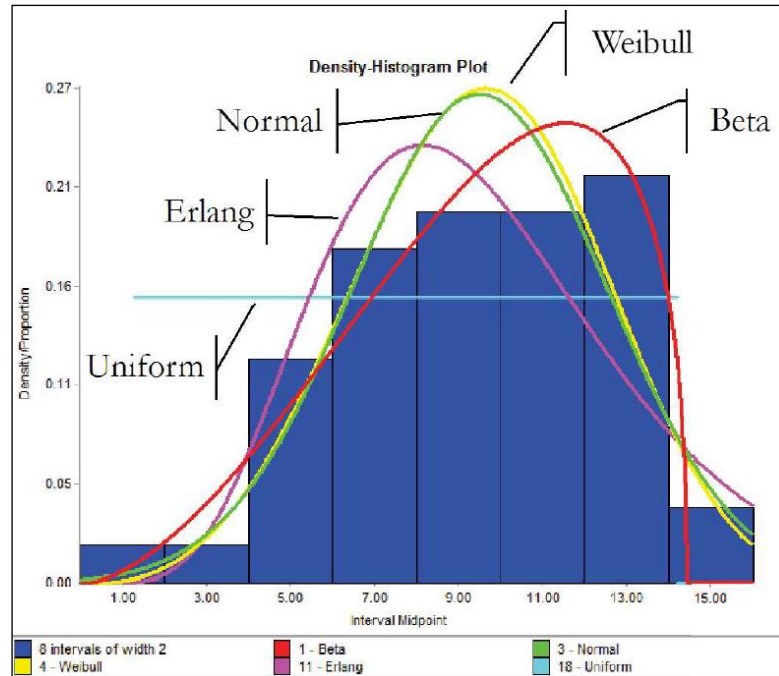


Figura 5. Comparación de distribuciones paramétricas
Fuente: Beaverstock (2017)

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas análogas de comparaciones que ayudan a obtener una valoración más acertada y a determinar qué tan bien se ajustan las diferentes distribuciones teóricas a los datos de la muestra, pero en un enfoque más formal y riguroso ya que se fundamenta en estadísticas. Existe una serie de métodos estadísticos a considerar para probar la Bondad de ajuste, como la prueba Chi-Cuadrado, Anderson Dearling, y la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Otro enfoque para evaluar la distribución de los datos es trazar las diferencias entre la muestra y distribuciones acumulativas hipotéticas sobre el rango de los datos. Para la Figura 6, se muestra un ejemplo de un gráfico llamado "función de distribución", que es prácticamente el conjunto de datos de muestra y las distribuciones Normales, Beta y distribuciones Normales Teóricas.

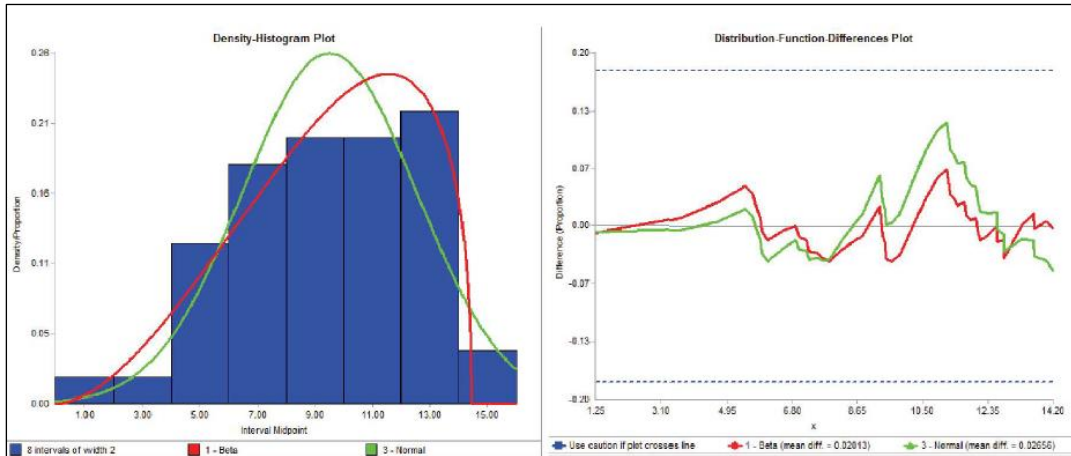


Figura 6. Comparación de parámetros de distribución
Fuente: Beaverstock (2017)

Para la simulación discreta otro caso de distribución a considerar es la distribución *Weibull* y *Lognormal*. Estas son usadas para el modelado con tendencias a distribuciones cuando los datos del sistema real no estén disponibles. Pues como muchos casos es difícil especificar el valor máximo de una muestra de datos, esas distribuciones permiten que el extremo superior de las distribuciones se especifique por percentiles en lugar de un máximo absoluto.

En la Figura 7 se representan diferentes distribuciones como *Triangular*, *Lognormal* y *Weibull*, donde para todas se identifica el mismo mínimo y medias aproximadamente similares además de sus desviaciones estándar.

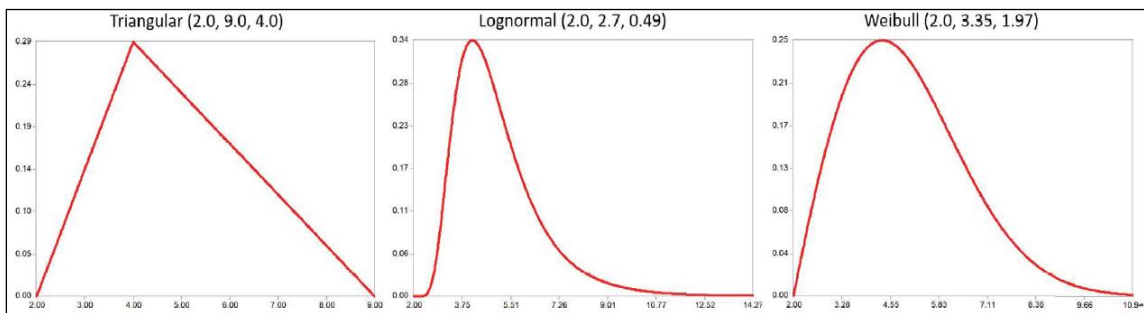


Figura 7. Comparación de distribuciones similares
Fuente: Beaverstock (2017)

Una de las desventajas de aplicar este tipo de distribuciones *Lognormal* y *Weibull* es que en sus parámetros de ubicación, escala y forma son menos intuitivos que la distribución triangular (mínimo, máximo).

Siempre para proceder con la especificación de una distribución de probabilidad es necesario analizar la sensibilidad sobre la variable incierta, con el fin de identificar cual es la más significativa en cuanto al impacto de resultados para la simulación del modelo.

2.2.4.2. Experimentación

Se comentan los distintos escenarios a simular. Para ello el presente modelo de simulación se basa en la herramienta de experimentación llamada *Experimenter*.

Los experimentos se componen de escenarios y los escenarios de réplicas. Una replicación es una sola ejecución de un modelo de simulación que genera un conjunto de medidas de rendimiento bajo un único conjunto de condiciones durante un periodo específico. Un conjunto de condiciones definirá un escenario; esto quiere decir que cada escenario se basa en un conjunto de variables, de las cuales sus valores se pueden modificar de un escenario a otro. Estas variables son típicamente las variables de decisión.

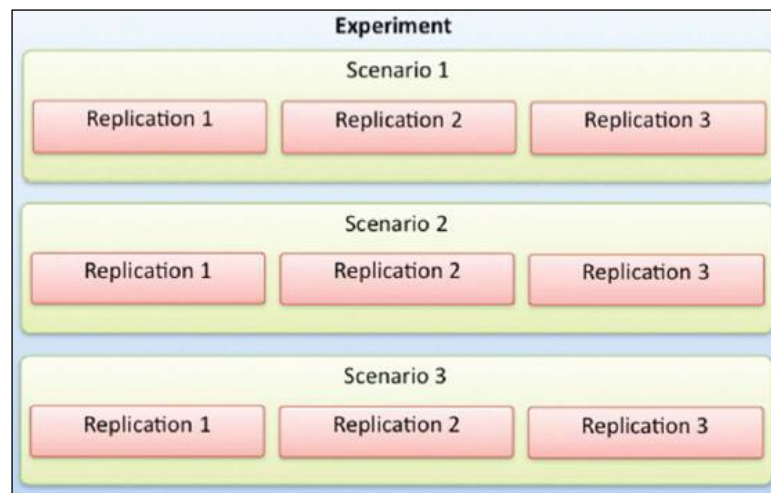


Figura 8. Replicación, escenarios y experimentación
Fuente: Beaverstock (2017)

El Experimentador se configura recorriendo las pestañas de la interfaz:

- Escenarios: configuraciones o condiciones alternativas del modelo que se está considerando.

- Medidas de desempeño: variables clave para decidir qué escenario se prefiere o es el óptimo.
- Ejecución: tiempo de ejecución, número de replicaciones y duración del periodo de calentamiento.
- Diseño del optimizador: todos pertenecen a optimización o búsqueda de la mejor simulación.

Una vez completadas todas las ejecuciones de simulación que están definidas en el *Experimentador*, se encuentran disponibles una variedad de resultados para analizar y seleccionar el óptimo.

Por ejemplo, en la Figura 9 se muestra un diagrama de réplicas para un único escenario, y, además del gráfico de valores de replicación, el gráfico de *caja-bigotes* muestra los valores mínimos y máximos (externos de los bigotes), los percentiles 25 y 75 (los extremos de la caja), el percentil 50 correspondiente a la mediana y su intervalo de confianza del 90 %.

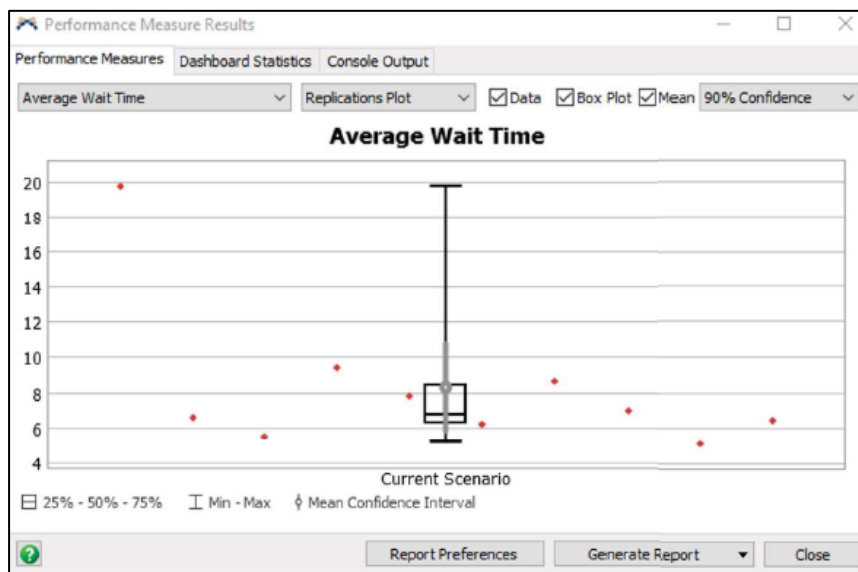


Figura 9. Ejemplo de salidas en el *Experimentador* de *FlexSim*
Fuente: Beaverstock (2017)

2.2.5. Enfoque epistemológico

2.2.5.1. Teoría de colas

La teoría de colas es un campo de estudio que se enfoca en el análisis matemático y estadístico del comportamiento de las colas o filas de espera en sistemas.

Generalmente se lo utiliza para modelación matemática que sirven para escribir la forma en que los componentes o marcas llegan al sistema, cuánto tiempo pasan en el sistema y cómo se procesan y atienden las solicitudes o transacciones. Estos modelos permiten a los administradores de sistemas planificar y diseñar de manera efectiva los sistemas de servicio para garantizar que se utilicen los recursos adecuados, y así optimizar el rendimiento del sistema.

Según Pikara (2014), un sistema de colas se conforma de varios servidores para atención a las entidades o marcas que ingresan al sistema. En el caso de que los servidores se mantengan ocupados, las marcas permanecen en un estado de espera. En el cual se considera la Notación de Kendal para definir sistema en una sola cola. La estructura y componentes de presenta de la siguiente manera:

- ✓ Distribución de los tiempos entre llegadas. Algunos de los valores posibles son:
- ✓ Distribución del tiempo de servicio.
- ✓ Número de servidores.
- ✓ Capacidad máxima de la cola. Por defecto, la cola tiene capacidad infinita.
- ✓ Número de clientes que llegarán. Por defecto, el número es infinito.
- ✓ Disciplina de la cola: FIFO (*First-in-first-out*), LIFO (*Last-in-first-out*).

2.2.5.2. Teoría de restricciones

Se puede aplicar en el contexto de la simulación para identificar y mejorar los cuellos de botella en un sistema. En la simulación, la teoría de restricciones se utiliza para modelar un sistema y encontrar la restricción o cuello de botella que limita su capacidad para alcanzar los objetivos establecidos.

Según Pikara (2014), la teoría de restricciones se puede aplicar en la simulación de diferentes tipos de sistemas, incluyendo sistemas de manufactura, sistemas de servicios, sistemas de transporte y sistemas de atención médica, entre otros. En cada caso, la teoría de restricciones ayuda a identificar y mejorar los cuellos de botella específicos en el sistema.

2.2.5.3. Teoría general de sistemas

Según Vega (2016), la teoría general de simulación (TGS) se refiere a un enfoque interdisciplinario que se aplica a una amplia variedad de campos y que se enfoca en el estudio de los sistemas y su comportamiento. En general, la TGS puede considerarse un enfoque que toma entradas (*inputs*) y produce salidas (*outputs*). A continuación, se describen brevemente las entradas y salidas de la TGS.

Entradas:

- ✓ Componentes del sistema: la TGS parte del reconocimiento de que los sistemas están compuestos por componentes interconectados.
- ✓ Interacciones: la TGS también toma en cuenta las interacciones entre los componentes del sistema, es decir, cómo se relacionan y cómo se influyen mutuamente.
- ✓ Ambiente: la TGS considera el entorno o ambiente en el que el sistema opera, y cómo éste puede afectar el comportamiento del sistema.

- ✓ Objetivos: los objetivos o metas que persigue el sistema también son una entrada importante en la TGS, ya que pueden influir en la forma en que se diseñan y operan los componentes.

Salidas:

- ✓ Comportamiento del sistema: la TGS permite entender cómo se comporta el sistema en su conjunto.
- ✓ Modelos: a partir de la TGS se pueden construir modelos de simulación y representaciones gráficas que permiten analizar el comportamiento del sistema y predecir su desempeño en diferentes condiciones.

- ✓ Optimización: la TGS puede utilizarse para optimizar el desempeño del sistema, identificando las variables que más influyen en su comportamiento y ajustando los componentes o las interacciones para mejorar los resultados.

2.2.5.4. Teoría de simulación

Se refiere al conjunto de conceptos, técnicas y herramientas utilizadas para modelar y simular sistemas complejos, con el objetivo de entender mejor su comportamiento y tomar decisiones informadas. La simulación se utiliza comúnmente en áreas como la ingeniería, la gestión de operaciones, la planificación estratégica y la toma de decisiones en general.

Este se construye un modelo matemático o computacional de un sistema que se desea estudiar, a menudo en forma de un programa de ordenador. Este modelo debe ser capaz de simular el comportamiento del sistema en cuestión, permitiendo a los usuarios hacer experimentos virtuales para evaluar cómo puede responder el sistema a diferentes situaciones y cambios en las variables de entrada.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

Dado que se busca comprobar la idea a defender previamente establecida, así como los objetos planteados, el presente trabajo será elaborado bajo el planteamiento metodológico de enfoque cuantitativo, ya que busca medir y comparar cada una de las variables de estudio.

- Cuantitativo

Según Fernández & Baptista (2014), utiliza la recolección y análisis de los datos para contestar a las preguntas de investigación y probar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

3.1.2. Tipo de investigación

- Investigación de Campo

Se aplica este tipo de investigación porque se pone en contacto directo con el entorno de la bodega, lo que comprende el acercamiento a sus instalaciones físicas y recolectar la mayor información que permita diagnosticar la situación actual del manejo del proceso de almacenamiento.

- Investigación Analítica

Se aplica este tipo de investigación porque pone a prueba la hipótesis de la investigación con la tendencia a manipular las variables.

- Investigación documental

Técnica de investigación que recolecta, recopila y selecciona información de libros, revistas, periódicos, entre otros; en esta se encuentra presente el análisis de datos y la selección y articulación con el objeto de estudio. También puede ser llamada como

investigación bibliográfica, la cual se caracteriza por utilizar los datos secundarios como fuente de información.

El objetivo principal de esta investigación es direccionar la investigación con la relación de datos ya existentes que proceden de distintas fuentes y proporcionar una visión panorámica y sistémica de una determinada cuestión.

- Investigación explicativa

en situaciones donde el investigador está interesado en establecer relaciones de causa y efecto entre las variables de estudio. La meta de la investigación explicativa es responder la pregunta universal de por qué. Esta va a ir más allá de lo exploratorio y descriptivo de una investigación para determinar qué causas reales provocan un fenómeno.

El uso de la investigación explicativa:

- ✓ Explica un fenómeno, situación o evento en término de cómo, por qué y en qué condiciones sucede, sobre evidencia empírica.
- ✓ Comprueba experimentalmente los postulados de leyes y teorías sobre las causas de determinados fenómenos.

3.2. HIPÓTESIS

La hipótesis en la presente investigación se establece para la guía y análisis de datos. Se formula en términos de predicciones específicas que se pueden poner a prueba y se utiliza para formar una dirección clara y específica del estudio, determinada de la siguiente manera:

H_0 : El modelo de simulación y optimización con base en redes de Petri y simulación digital no optimiza el proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor.

H_1 : El modelo de simulación y optimización con base en redes de Petri y simulación digital optimiza el proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1. Definición de variables

- Variable independiente: Modelo

Según Mayorga (2013) la define como: “una representación simplificada de un sistema real, un proceso o una teoría, con el que se pretende aumentar su comprensión, hacer predicciones y posiblemente ayudar a controlar el sistema”.

- Variable dependiente: Almacenamiento

Proceso que consiste en ubicar la mercadería en la zona más idónea del almacén, con el fin de poder acceder a ella y localizarla fácilmente. Para ello se utilizan medios de transporte interno (elevadores, montacargas, cintas transbordadoras) y medios fijos (soportes, estanterías, depósitos).

3.3.2. Operacionalización de variables

En la Tabla 6 y 7, se presenta el cuadro de operacionalización de variables (independiente y dependiente) para el tema planteado en la presente investigación. Las tablas muestran los siguientes ítems: Variables; Definición; Dimensión; Indicadores; Instrumento.

Tabla 6. Operacionalización de la Variable independiente

VARIABLES	DEF. CONCEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE	Mayorga (2013), Es una representación simplificada de un sistema real, un proceso o una teoría, con el que se pretende aumentar su comprensión, hacer predicciones y posiblemente ayudar a controlar el sistema.	Será medida a través del modelo analítico, por medio de: redes de Petri, redes de Petri coloreadas, teoría de colas, líneas de espera (notación de Kendall) y leyes de Little. Además de la simulación asistida por computador, por medio de diferentes paquetes informáticos (softwares).	Sistema físico: Componentes del modelo, características y comportamiento de los componentes, eventos del modelo, actividades del modelo, estado del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Número de recursos fijos • Número de recursos móviles (Flow ítems) • Número de ejecutores de tareas • Número de nodos tipo lugar $P=\{P1,P2,P3,\dots,Pn\}$ • Número de colores $\Sigma = \{C1, C2,\dots,Cm\}$ • Número de nodos tipo transición $T = (T1, T2,T3,\dots,Tk)$ • Número de arcos $A=(A1, A2,A3,\dots,AI)$. 	

MODELO

Conjunto de ecuaciones que representa procesos, variables y relaciones entre variables de un fenómeno del mundo real y que proporciona indicios aproximados de su comportamiento bajo diferentes manejos de sus variables.

Sistema lógico:

relaciones del modelo, interacciones del modelo, restricciones, lógica de operación.

- Tipos de ejecutores.
- Número de Conexiones de entrada.
- Número de conexiones de salida.
- Número de conexiones de puerto central.
- Número de reglas de envío.
- Tipos de reglas de envío.
- Funciones de Nodo $N(A_i)$.
- Funciones de color $C(P_i)$.
- Funciones de Guarda $G(T_i)$.
- Expresiones de Arcos $E(A_i)$.
- Funciones de Inicialización $I(P_i)$.

Check List

Cuestionario

RdPC

Software Simulator

Sistema de

información: flujo de información.

- Tiempo de simulación.
- Número de replicaciones
- Distribución de los tiempos de llegadas.
- Distribución del tiempo de: carga, descarga y almacenamiento.

-
- Variabilidad, sensibilidad, rendimiento.
 - Variabilidad, desviación estándar, coeficiente de relación.
-

Tabla 7. Operacionalización de la Variable dependiente

VARIABLES	DEF. CONEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE DEPENDIENTE	Anaya Tejero, J. J. (2008), conceptualiza como el proceso que consiste en ubicar la mercadería en la zona más idónea del almacén, con el fin de poder acceder a ella y localizarla fácilmente. Para ello se utilizan medios de transporte interno (elevadores, montacargas, cintas transbordadoras) y medios fijos (soportes, estanterías, depósitos).	Se realizará mediante métricas de rendimiento que ayudaran a evaluar la eficacia del equipo, medios y el proceso de almacenamiento.	Proceso de cargue- descargue y almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de recepción - Precisión de la recolección de pedidos - Número de vehículos en cola - Número de productos en cola - Tiempo promedio de espera de vehículos - Tiempo promedio de espera de productos - Número de productos en el sistema - Tiempo promedio del proceso de descarga - Porcentaje de utilización de los recursos (estibadores, montacargas, administrativos) - Variabilidad del proceso de descarga 	<p><i>Check List</i></p> <p>Cuestionario</p>

Proceso de la función logística que trata de la recepción, almacenamiento y movimientos que se realizan dentro de un mismo almacén, hasta el punto de consumo de cualquier material.

- Trabajo en proceso WP (unidades descargadas TP * CT)
- Rendimiento TP (unidades / tiempo)
- Tiempo de proceso o ciclo CT
- Porcentaje de ahorro mensual
- Costos mensuales
- Efecto de la variabilidad en el tiempo de espera
- Efecto de porcentaje de utilización en el tiempo de espera
- Lead Time (Tiempos de espera + tiempos de proceso)

Herramientas de análisis estadísticos
(DashBoards)

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Métodos

- Método deductivo: Según Sierra (2012) es el proceso por el cual se realiza el razonamiento que pasa de lo universal a lo particular, es decir, obtener conclusiones particulares a partir de ideas universales. Este método permite tomar premisas universales de teorías relacionadas con el transporte urbano para poder llegar a una conclusión particular, las mismas que ayudaran a mejorar el sistema de transporte público.

Con la recolección de información mediante fichas de observación, encuesta y conversatorio con operarios se realizó un análisis y construcción de datos, mismos que permitieron obtener resultados específicos que aportaron al desarrollo de la investigación.

- Método inductivo: Según Pikara (2014), el método conocido como inductivismo, científicamente es aquel que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se recolectó información de cada área de trabajo de la bodega, para realizar una conclusión general tanto de la situación operativa del almacenamiento y la medición de tiempos que involucra un proceso.

3.4.2. Técnicas

Las técnicas que se utiliza en el desarrollo del presente trabajo de investigación son:

- Encuesta (CheckList): Es un estudio del cual el investigador obtiene datos a través de un cuestionario prediseñado para conocer la opinión, características de hechos específicos. La encuesta se la realiza a los operarios de Aduanor, a través de preguntas abiertas, cerradas y de opción múltiple, con el fin de conocer los requerimientos en la aplicación de los procesos operativos y de almacenaje.
- Entrevista no estructurada: La entrevista se la realiza a profesionales conocedores del proceso de almacenamiento, detallando cada uno de los procesos y subproceso que conlleva su flujo de actividades.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.5.1. Población y Muestra

La población finita para considerarse fueron los 13 empleados de la empresa Aduanor, los mismos que a través de sus respuestas permitirá analizar la situación actual de la empresa.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Descripción de la empresa

Empresa Aduanor es un depósito temporal de Aduanas desde el año 1987 ofreciendo servicios integrales de Comercio Exterior a diferentes empresas ecuatorianas y colombianas en los procesos de embodegaje y almacenaje de mercancías, trámites aduaneros y transporte de carga.

4.1.1.2. Estructura Organizativa

La Figura 10 ilustra mediante un organigrama, la función estructural que maneja la empresa para llevar a cabo los procesos de almacenamiento de carga y descarga.

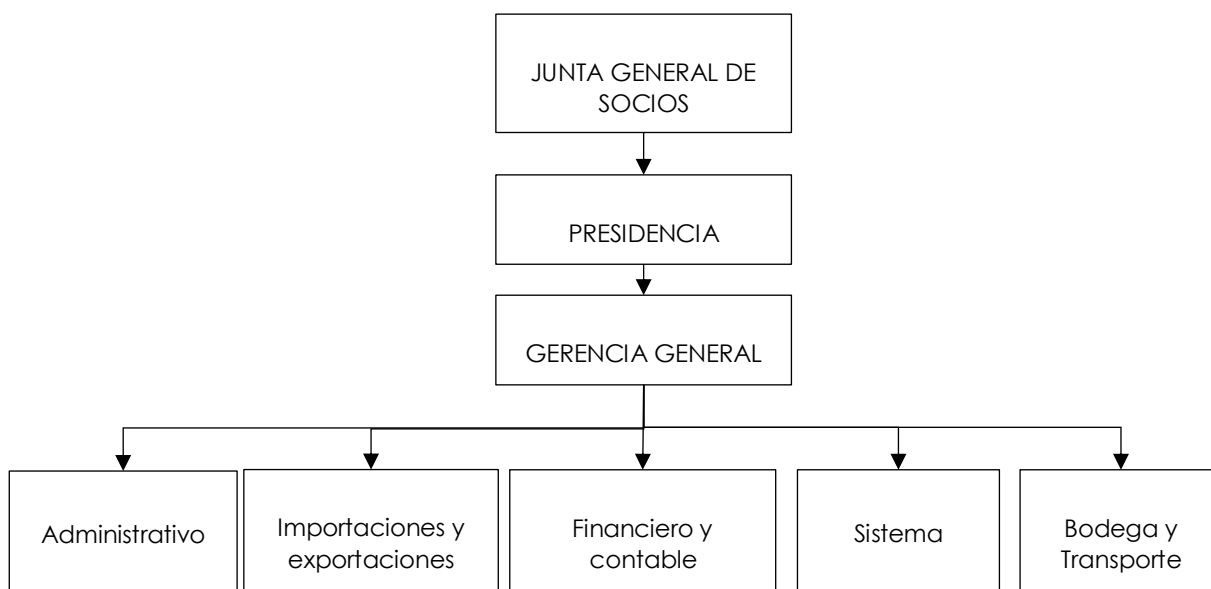


Figura 10. Mapa organizacional Aduanor

Por otro lado, la Figura 11, muestra el diagrama del flujo operacional del proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor.

4.1.1.3. Diagrama de flujo de operaciones

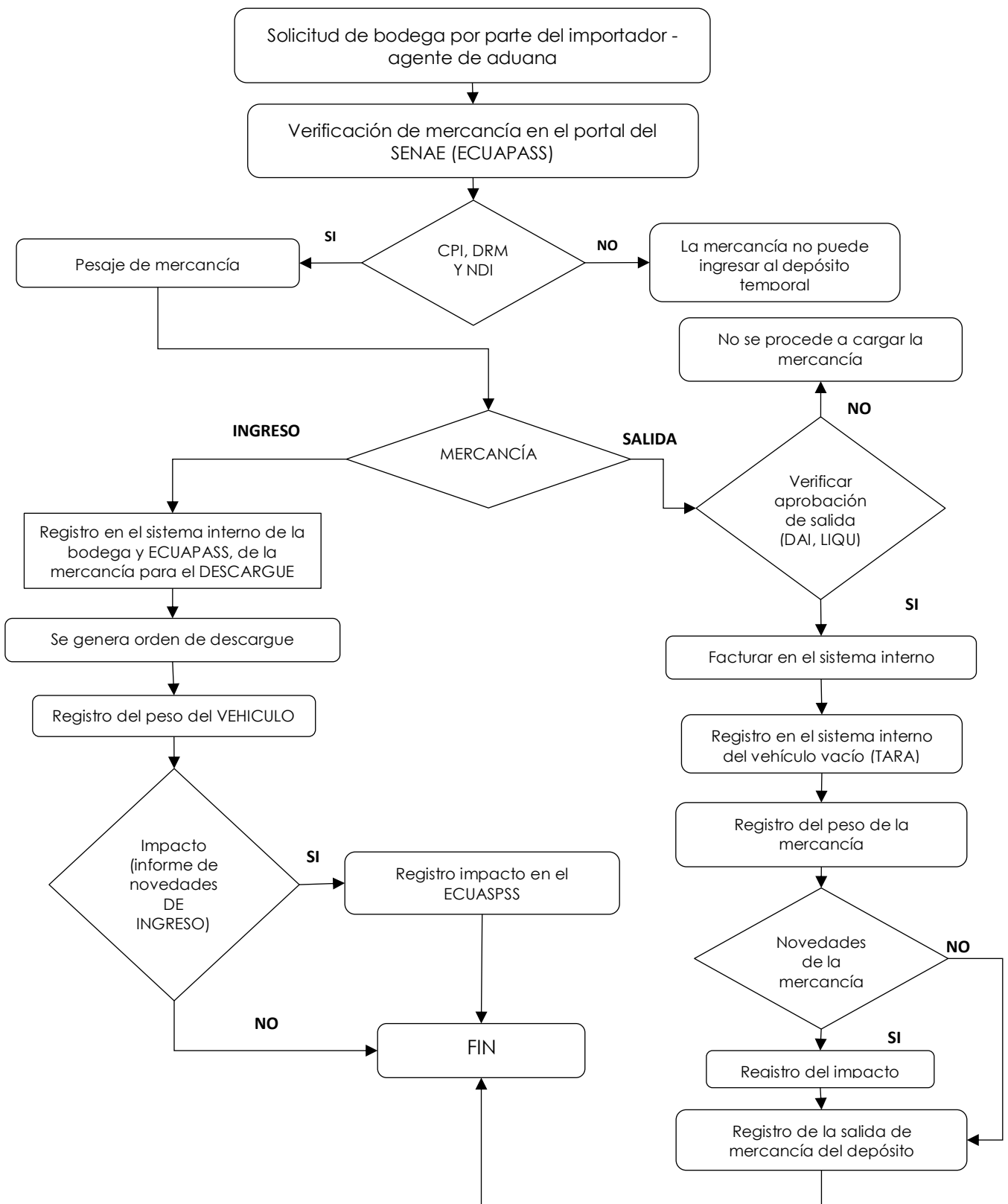


Figura 11. Diagrama de operaciones del proceso de almacenamiento de Aduanor

4.1.2. Diagnóstico de la situación actual del proceso de almacenamiento

La bodega Aduanor cuenta con las siguientes áreas físicas:

Tabla 8. Estructura física de la bodega Aduanor

Área m²	Predio N1
751.20	Bodega 1
776.62	Bodega 2
786.80	Bodega 3
4327.37	Patio descubierta 1
335	Plataforma de C/D
122.40	Oficina
19.28	Vestidores y Baños
3.5	Guardia
907.62	Patio cubierto 1/A
278.21	Patio cubierto 1/B
8308	Total
Área m²	Predio N2
3624.29	Patio descubierta 2
836.15	Área de contenedores
54	Bascula
14.56	Oficina de bascula
4529	Total

Las Figuras 12 y 13 respectivamente ilustran de mejor manera el croquis de la estructura física de la bodega Aduanor, describiendo cada una de las zonas con las que cuenta en sus instalaciones.

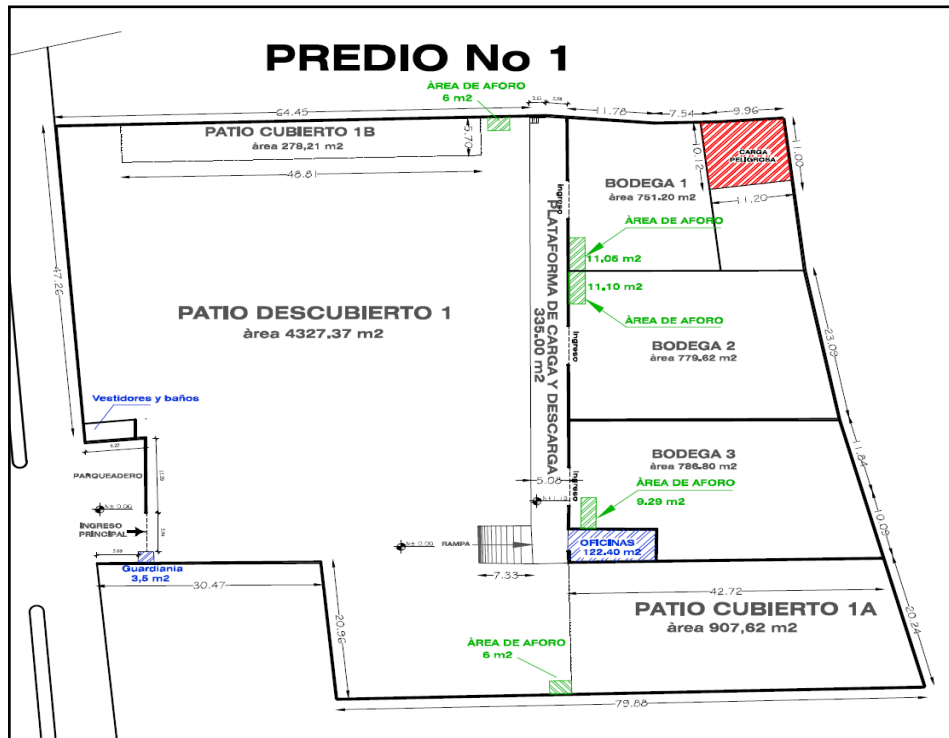


Figura 12. Predio 1, Infraestructura bodegas Aduanor
Fuente: Área Administrativa, Aduanor

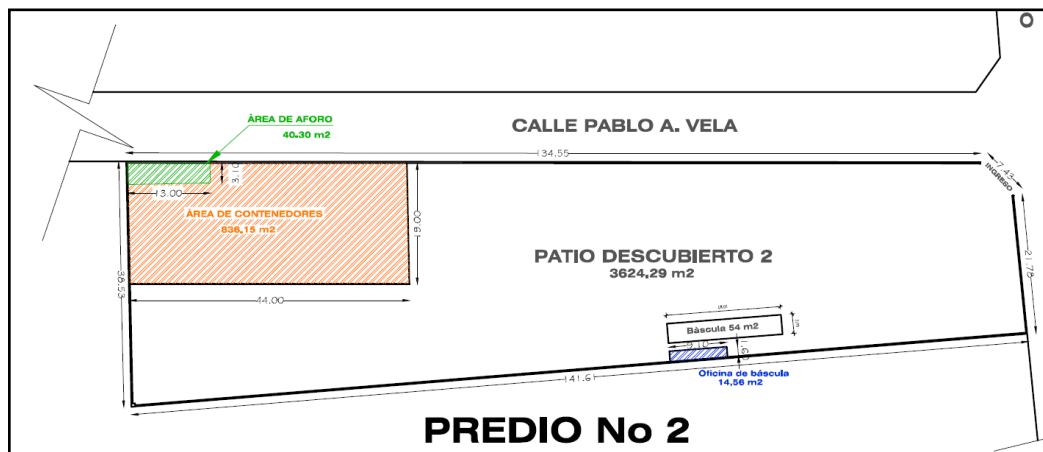


Figura 13. Predio 2, Infraestructura bodegas Aduanor
Fuente: Área Administrativa, Aduanor

Los recursos operativos de la empresa, tanto móviles como fijos se encuentran establecidos y numerados de la siguiente manera:

- Maquinaria

Tabla 9. Maquinaria de Aduanor

Concepto	Si	No	Número
Montacargas Manuales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18
Montacargas Hidráulico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4
Basculas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
Apiladoras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
Paleteras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	200
Galpones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
Transportadoras	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
Estanterías	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5

Dentro de la sección para maquinaria tal como se detalla en la Tabla 9, la bodega cuenta con las herramientas indispensables para poder ofrecer un servicio óptimo de almacenamiento carga y descarga de mercancía.

- ✓ Cuenta con un total de 18 montacargas manuales que son aquellos que el trabajador puede accionar con sus propias manos, se utilizan para alzar cargas desde el suelo para transportarlas desde un lugar hasta otro. Su principal ventaja es que no requieren baterías ni combustibles ni el uso de motores.
- ✓ La bodega maneja un total de 4 montacargas que son utilizados para transportar y ubicar cargas pesadas en las que la fuerza del hombre no es suficiente.
- ✓ Para realizar el pesaje de los vehículos que van a hacer uso del servicio de almacenaje, la bodega cuenta con 2 básculas con certificación INEN.
- ✓ El número de pallets con que cuenta la bodega es de 200 que son utilizados para apilar la mercancía, además de facilitar su transporte y almacenaje.
- ✓ Las instalaciones físicas de la bodega tienen un total de 3 galpones cubiertos que suman un total de 2320 m^2 .

- Zonas de la bodega

Tabla 10. Zonas de Bodega Aduanor

Zonas o áreas	Si	No	Número
Ingreso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
Recepción	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
Almacenaje	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	22
Muelles de carga y descarga	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12
Picking	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
Inspección o de aforo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6
Técnica	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-
Administrativa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2

Las zonas de la bodega tal como se detalla en la Tabla 10, misma cuenta con distintas instalaciones para poder realizar el proceso de almacenamiento de forma más oportuna al momento del arribo de distintos tipos de mercancías.

- ✓ Zona de ingreso: entradas por la que es posible acceder al interior de la bodega.
- ✓ Zona de recepción: se presenta para la detección de mercancías dañadas y así poder clasificar al resto para ser correctamente almacenadas.
- ✓ Zona de carga y descarga: conocida como muelle, zona de manipulación o zona de carga y descarga. Habilitada para distintos medios de transporte para efectuar el proceso de cargue o descargue de la mercancía y así poder trasladarla a una siguiente zona.
- ✓ Zona de almacenamiento: es el espacio habilitado para que las mercancías queden depositadas de manera segura y poder organizar todo el stock hasta el momento de su salida o expedición.
- ✓ Zona de picking: es el área donde el producto se prepara para su posterior traslado a la zona de expediciones.
- ✓ Zona de inspección o aforo: es el área donde se realiza la respectiva revisión del estado de la mercancía.
- ✓ Zona técnica: corresponde al lugar de mantenimiento para medios técnicos y mecánicos que son utilizados para el proceso de almacenamiento y en la operación general de la bodega.

- ✓ Zona administrativa: corresponde a cada una de las oficinas para la gestión organizativa de la bodega, espacio específicamente para el personal administrativo y responsables de bodega.

- Operarios

Tabla 11. Operarios de Aduanor

Concepto	Si	No	Número
Para montacargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2
Para montacargas manuales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10
Para manejo de bascula	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
Para inspección de bodega	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1
Administrativos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
Estibadores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10

La estructura del personal operativo de la bodega cuenta con la siguiente información, tal como se detalla en la Tabla 11:

- ✓ Dos operarios para montacargas,
- ✓ Diez operarios para montacargas manuales,
- ✓ Un operario para manejo de báscula,
- ✓ Un operario para inspección del proceso de la bodega,
- ✓ Tres funcionarios para la parte administrativa,
- ✓ Diez operarios para la manipulación de la mercadería (estibadores).

- Tipos de carga que se frecuente en la bodega

Tabla 12. Tipo de carga frecuentada en Aduanor

Concepto	Si	No	Frecuencia de carga por vehículo
Carga peligrosa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3 veces al día
Carga a granel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30 veces al día
Carga perecedera	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10 veces al día
Carga frágil	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 veces al día
Carga general	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 veces al día

La Tabla 12 detalla el tipo de mercancía que frecuenta o ingresa a la bodega para su proceso de almacenamiento.

Frecuencias de llegada de mercadería por vehículo:

- ✓ Para carga peligrosa: arribo a la bodega en promedio tres (3) veces por día.
- ✓ Para carga a granel: evidentemente el tipo de mercadería que más arriba a la bodega, con un promedio de treinta (30) veces por día.
- ✓ Para carga perecedera: arribo a la bodega en promedio diez (10) veces por día.
- ✓ Para carga frágil: se observa que es el tipo de carga que menos arriba a la bodega con tan solo dos (2) arribos por día.
- ✓ Para carga general: arribo a la bodega en promedio cinco (5) veces por día.

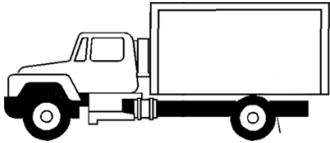
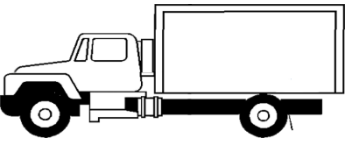
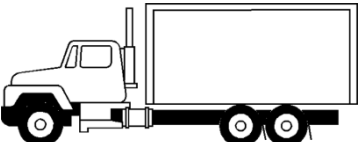
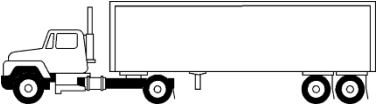
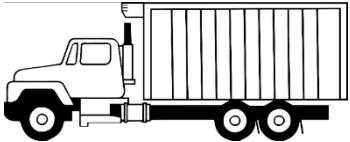
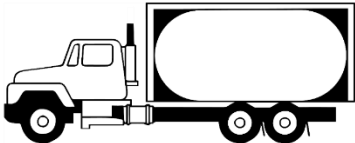
- Tipos de vehículo que frecuentan en la bodega

Tabla 13. Vehículos Frecuentados en Aduanor

Concepto	Si	No	Frecuencia por tipo de vehículo
<i>Turbo</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7 veces al día
<i>Sencillo</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15 veces al día
<i>Doble Troque</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 veces al mes
<i>Tráiler</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10 veces al día
<i>Frigoríficos</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10 veces al mes
<i>Cisterna</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 veces al año
<i>Porta coches</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	25 veces al mes

La llegada de mercancía a la bodega esta frecuentaba por distintos tipos vehículos tal como se detalla en la Tabla 13.

Tabla 14. Descripción de vehículos que ingresan a la bodega

Nombre	Descripción	Carga	Volumen de Carga m^3	Ilustración
Turbo	Camión rígido de dos ejes, Camión sencillo	4.5 - 5 TON	21.5	
Sencillo	Camión rígido de dos ejes, Camión sencillo	8.5 - 10 TON	37	
Doble Troque	Camión rígido de tres ejes	17 TON	40	
Tráiler	Tractocamión de dos ejes con semirremolque de dos ejes	24 TON	72	
Frigoríficos	Tractocamión de dos ejes con semirremolque de dos ejes	31 TON	85	
Cisterna	Tractocamión de dos ejes con semirremolque de dos ejes	20 000 - 45 000L	-	

Con base en los resultados obtenidos por medio de datos históricos de la bodega en el periodo de junio a diciembre del 2021, se obtuvieron un total de 7024 operaciones entre los procesos de cargue y descargue de mercancías. Considerando la Figura 13, el tipo de vehículo que mayor número de operaciones realizó fue el REMOLQUE con un total de 3267 operaciones representando el 47 % del total, entre las cuáles realizó 1644 operaciones de cargue y 1623 operaciones de descargue, representando el 23.4 % y 23.1 % respectivamente.

El segundo tipo de vehículo que realiza más operaciones es el SENCILLO que durante este período suma un total de 2163 entre cargue y descargue, y representa el 31 % del total de operaciones de la bodega, entre ellas realizó 1236 operaciones de cargue que representa un 17.6 % del total general y 927 operaciones de descargue que representa un 13.2 % del total.

En la tabla 15 también se puede determinar una paridad entre el número de operaciones de cargue y descargue, inclinándose cerca de la mitad de las operaciones para cada caso. Así, se determina que, el 49.6 % equivale para los casos de las operaciones de cargue y con un porcentaje del 50.4 % para los casos de las operaciones de descargue. Esto indica que la bodega procesa una demanda de servicio tanto para el manejo de importaciones como de exportaciones en gran número.

Tabla 16. Promedio de tiempo y peso del proceso de cargue y descargue

	Operación				Total, Peso Neto (Kg)	Total, Tiempo (min)
	Cargue		Descargue			
Tipo de Vehículo	Peso Neto (Kg)	Tiempo (min)	Peso Neto (Kg)	Tiempo (min)		
CISTERNA	27755.1	221	27999.3	17	27906.3	95
REMOLQUE	18192.6	85	20922.3	86	19548.6	85
PORTA COCHES	6561.7	85	10801.0	40	8927.1	60
CAMION			13112.9	59	13112.9	59
SENCILLO	5746.4	45	5436.5	41	5613.5	43
TURBO	1823.9	35	1369.3	19	1540.3	25
Total, general	11076.5	63	11730.9	56	11406.1	60

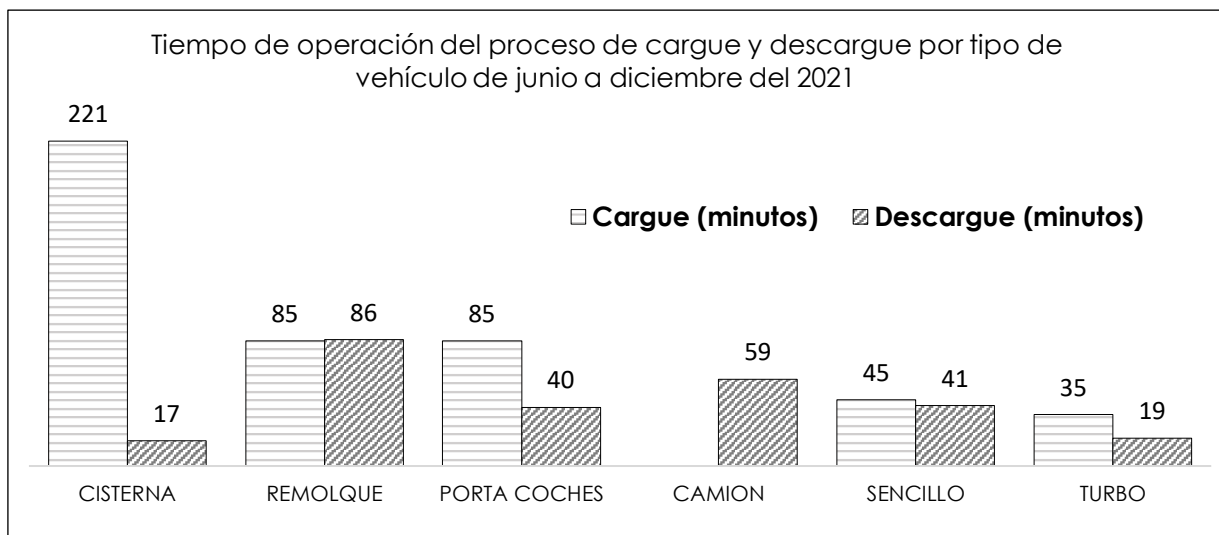


Figura 15. Tiempo de operación de almacenaje en minutos por tipo de vehículo

Según análisis de la Tabla 15 en referencia al tiempo promedio y peso en el proceso de cargue y descargue para el período junio a diciembre del 2021, ubica al tipo de vehículo TURBO con el menor tiempo de operación para el proceso operativo con un tiempo total promedio para ejecutar ambas operaciones de 25 minutos.

Se observa además que, se ocupa más tiempo en realizar operaciones de cargue con un tiempo total promedio de 63 minutos para todos los casos analizados, a diferencia de las operaciones de descargue que ocupan en promedio de 56 minutos aproximadamente. Finalmente, como resultado entre ambas operaciones se ocupa un tiempo promedio de 60 minutos para el total promedio de 11406.1 Kg netos que se manipularon durante este período.

Tabla 17. Número de operaciones por meses

Mes	Operación				Total	Total, Porcentaje
	Cargue	Porcentaje	Descargue	Porcentaje		
Junio	425	6.1 %	517	7.4 %	942	13.4 %
Julio	624	8.9 %	586	8.3 %	1210	17.2 %
Agosto	478	6.8 %	458	6.5 %	936	13.3 %
Septiembre	593	8.4 %	582	8.3 %	1175	16.7 %
Octubre	494	7.0 %	499	7.1 %	993	14.1 %

Noviembre	599	8.5 %	620	8.8 %	1219	17.4 %
Diciembre	273	3.9 %	276	3.9 %	549	7.8 %
Total, general	3486	49.6 %	3538	50.4 %	7024	100 %

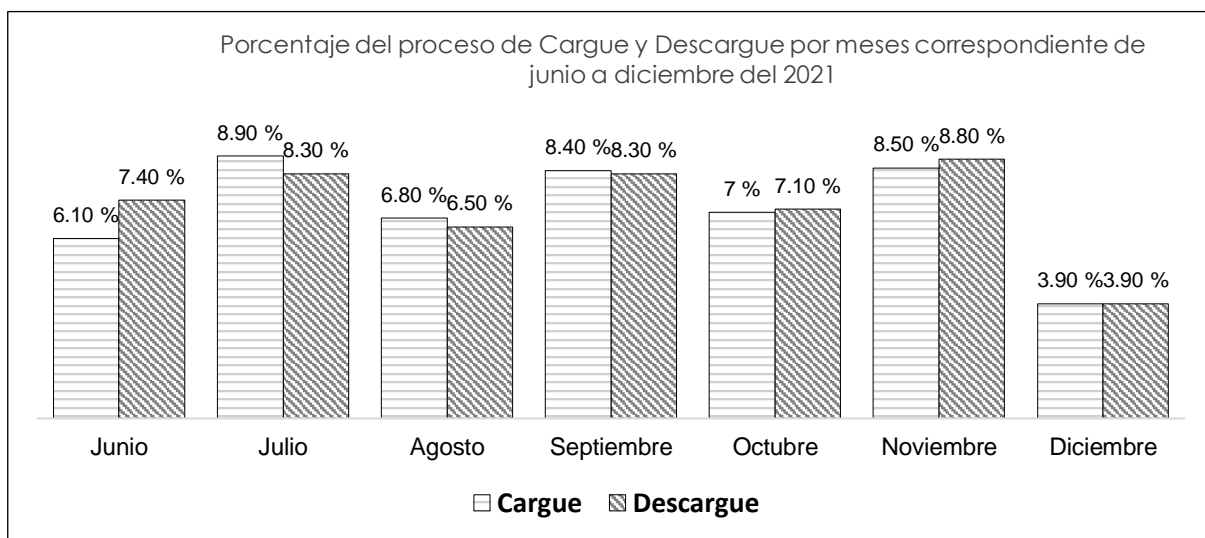


Figura 16. Porcentaje de operación mensual de cargue y descargue

Dentro del análisis para la Tabla 17, el número de operaciones de cargue y descargue que se llevaron a cabo en la bodega para el período de junio a diciembre del 2021 se observó que, los meses que representan una mayor afluencia son julio y noviembre con un total de 1210 y 1219 operaciones entre cargue y descargue respectivamente.

Para el mes de diciembre se obtuvo un total de 273 operaciones de cargue que representan el 3.9 % del total general, y 276 operaciones de descargue que representan el 8.3 %. Ambas operaciones suman un porcentaje del 7.8 % del total representado 549 operaciones, así generando el mes más bajo en operaciones de almacenamiento debido a la temporada de cierre de año.

Tabla 18. Clientes con más operaciones realizadas en bodegas Aduanor (2021)

Empresas	Número de Operaciones	Porcentaje General
ETERNIT ECUATORIANA SA	293	4.2 %
TEOJAMA COMERCIAL S. A	286	4.1 %
LA FABRIL S. A	252	3.6 %
CEDETEC S.A.	236	3.4 %
ECOLAB ECUADOR CIA. LTDA.	221	3.1 %

PYDACO	204	2.9 %
TEOJAMA COMERCIAL	199	2.8 %
PYDACO CIA. LTDA	197	2.8 %
SAUD BENITEZ WAHIB ESTEFANO	88	1.3 %
MUNDIACABADOS CIA. LTDA.	87	1.2 %
SODERAL SOCIEDAD DE DESTILACION DE ALCOHOLES S.A.	84	1.2 %
Otras (703)	4877	69.40 %
Total, general	7024	100 %

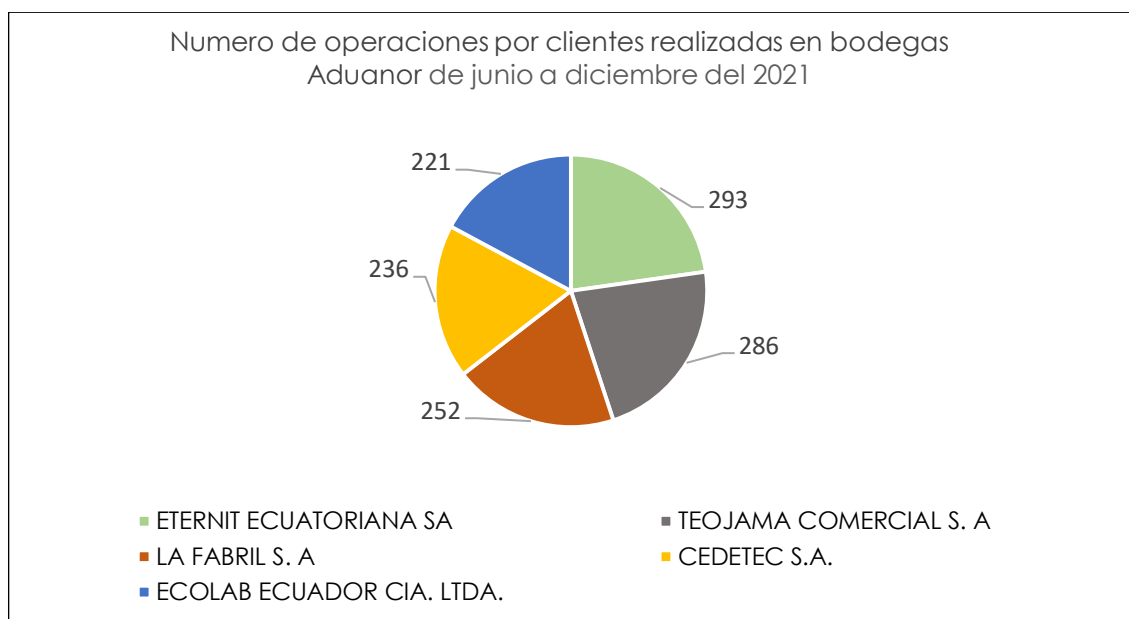


Figura 17. Clientes con más operaciones realizadas en bodegas Aduanor

El análisis de los principales clientes que se benefician de los servicios que ofrece la bodega Aduanor ubica a ETERNIT ECUATORIANA S.A., TEOJAMA COMERCIAL S.A. Y LA FABRIL S.A., como las tres principales empresas con las que se realizan operaciones de cargue y descargue en la bodega.

Durante el período de junio a diciembre del 2021 ETERNIT ECUATORIANA S.A. realizó un total de 293 operaciones que representan el 4.2 % del total de operaciones realizadas durante el periodo en cuestión. Le sigue de TEOJAMA COMERCIAL S.A. con un total de 286 operaciones realizadas y de LA FABRIL S.A. con un total de 252

operaciones realizadas, las cuales representan el 4.1 % y un 3.6 % del total general respectivamente.

4.1.3.1. Caracterización del sistema físico de almacenamiento

Dentro de la bodega se lleva a cabo el proceso de recepción, almacenamiento y despacho de mercancías, caracterizado con base en la información obtenida del diagrama de flujo de la empresa el cual hace referencia a las políticas que se manejan actualmente dentro de la misma.

Para realizar la simulación es necesario establecer la caracterización del sistema con el objetivo de:

- Establecer las entidades que participarán en la simulación.
- Determinar las actividades y procedimientos para cada entidad.
- Definir las entradas y salidas dentro del flujo de procesos.
- Realizar un esquema de la distribución del proceso dentro de la planta.

Tabla 19. Caracterización del sistema (Bodega)

Sistema	Entidades	Atributos	Actividades	Eventos	Variables de Estado
Mercancía	Cantidad, mercancía, pesos referencia.	Descargue, almacenamiento y descargue.	Recepción, almacenamiento y despacho de mercancías.	Cantidad de mercancía en un determinado tiempo	
Locaciones	Capacidad	Distribución en almacén.	Ingreso y salida de mercancía.	Aplica para organización y distribución de almacén.	
Recursos (vehículo)	Capacidad, cantidad y peso.	Arribo de mercancía.	Arribo de mercancía.	Entrega de mercancía. Tiempo que está realizando trabajo útil, factor de utilización, capacidad, variación del tiempo en espera y que está trabajando, maquinaria de la bodega	

La información del sistema de bodegaje se incorporará al modelo de simulación para el análisis de operaciones del proceso de almacenaje, exponiendo diferentes escenarios y criterios a evaluar para esta investigación.

En relación con esta caracterización, se define los objetos de estudio en la simulación bajo las siguientes pautas:

- Mercancía: Hace referencia a cualquier objeto o bien que es factible de comercialización en el mercado.
- Vehículos: Hace referencia a la máquina para desplazar la mercancía de un lado a otro.

Este sistema se basa en imitar el comportamiento a situaciones futuras del modelo real, bajo un grado de aleatoriedad teniendo en cuenta cada uno de los datos obtenidos en la investigación, los cuales serán sometidos a pruebas en la simulación y a repeticiones para cada parte del proceso de almacenaje.

4.1.3.2. Diseño del Modelo mediante RdP (Redes de Petri).

Teniendo en cuenta que la simulación es una técnica para procesar ensayos u eventos a través de un software, las redes de Petri ayudarán entender de mejor manera el sistema de almacenaje teniendo en cuenta las relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y estructura del modelo.

Locaciones (Locations): Representa diferentes zonas fijas en el sistema donde ocurren los eventos, considerando cada una de las entidades de almacenamiento y actividades.

Entidades: Son aquellos elementos que fluyen a través del sistema. Para el sistema de almacenaje estas entidades vienen a ser representadas por las mercancías que arriban a la bodega por medio de los vehículos de transporte.

Recursos: Son los recursos que se tiene a disponibilidad para poder iniciar un proceso, acción u operación. En este caso la bodega cuenta con más de 20 operarios entre ellos: estibadores, montacarguistas y auxiliares de bodega.

Llegadas: Corresponde a cada una de las actividades dentro del proceso de almacenaje establecida por: recepción, traslado, almacenamiento y despacho. El

primer arribo corresponde a la recepción o arribo de mercancías en la entrada de la bodega por parte de las empresas que optan por el servicio de distribución. El segundo arribo corresponde al traslado de la mercancía a la zona de almacenamiento correspondiente. El tercer arribo corresponde al almacenamiento de la mercancía donde se guarda en estantería, patio o zona correspondiente de acuerdo con su referencia.

- Sistema de recepción

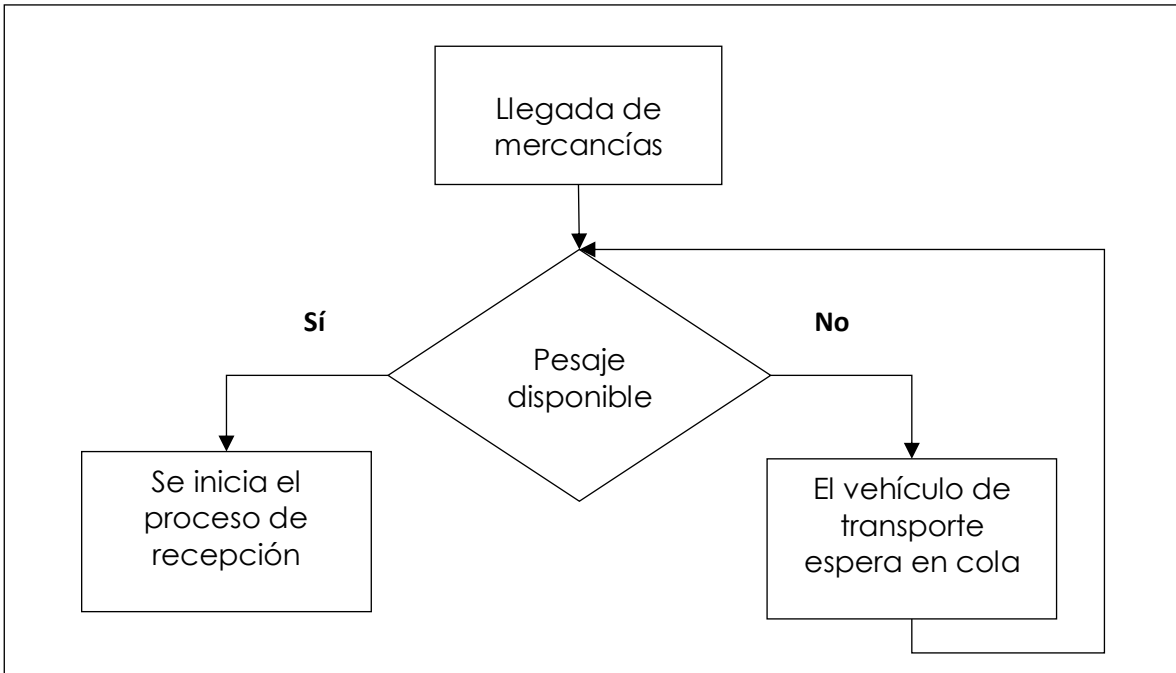


Figura 18. Diagrama de flujo del sistema de llegada de mercancías

La Figura 18 representa las acciones relacionadas al evento de la llegada de mercancía. Al finalizar el proceso de la llegada, la báscula queda libre. Si hay arribo de mercancía en cola, la máquina (báscula) trabajará en sistema PEPS, que se refiere a que la primera unidad que llega al sistema es la primera en ser atendida. En caso contrario, la máquina permanece a la espera de la llegada de nuevas unidades.

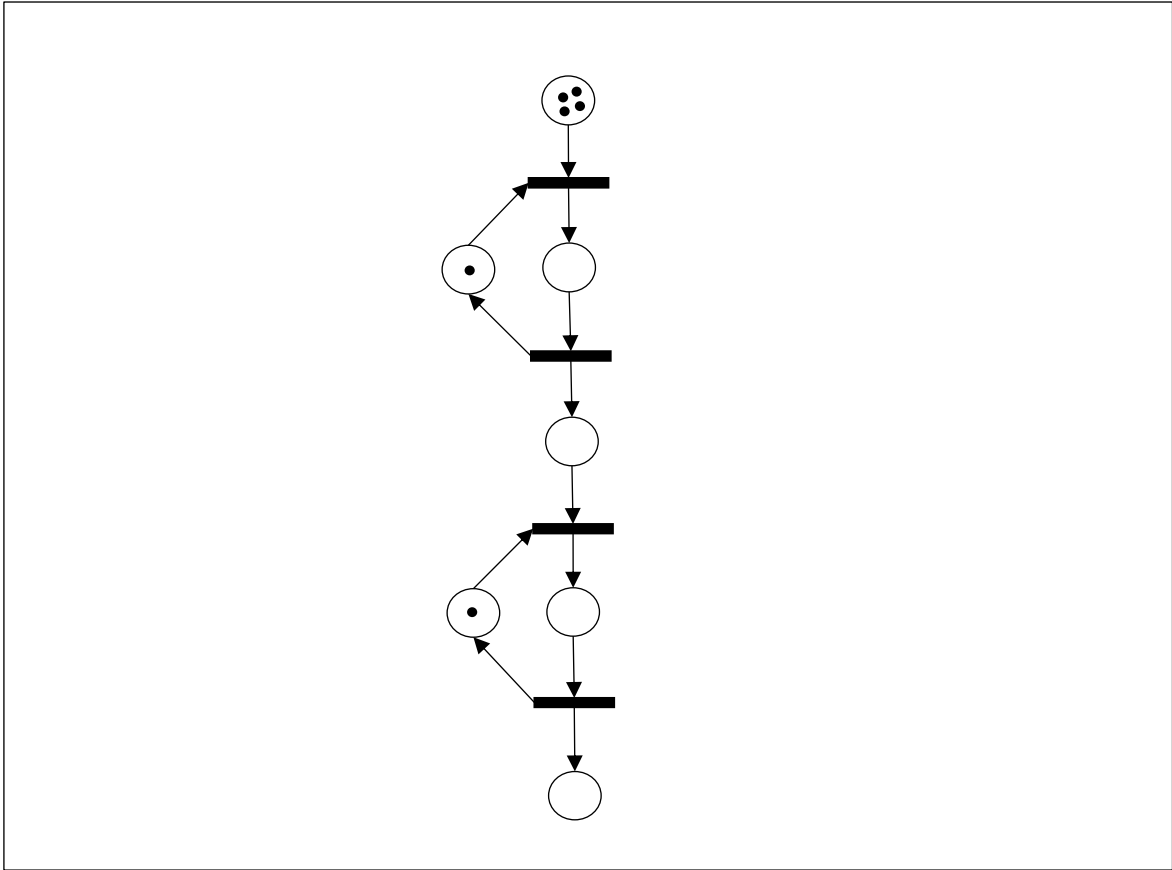


Figura 19. Diseño de la RdP del proceso de recepción de mercancías

El modelo mediante RdP representado en la Figura 19, consiste en la esquematización del proceso de recepción de la bodega con los elementos predispuestos para simbolizar cada uno de los procesos a ejecutarse en esta operación.

Los lugares son:

- ✓ P_1 : cola de espera de mercancía recepción (v)
- ✓ P_2 : vehículo registrándose
- ✓ P_3 : guardia libre
- ✓ P_4 : vehículo registrado
- ✓ P_5 : vehículo pesándose
- ✓ P_6 : báscula libre
- ✓ P_7 : vehículo pesado

y las transiciones:

- ✓ T_1 : inicio registro de vehículo
- ✓ T_2 : fin registro
- ✓ T_3 : inicio de pesaje de vehículo
- ✓ T_4 : fin de pesaje

- Sistema de descargue y almacenamiento

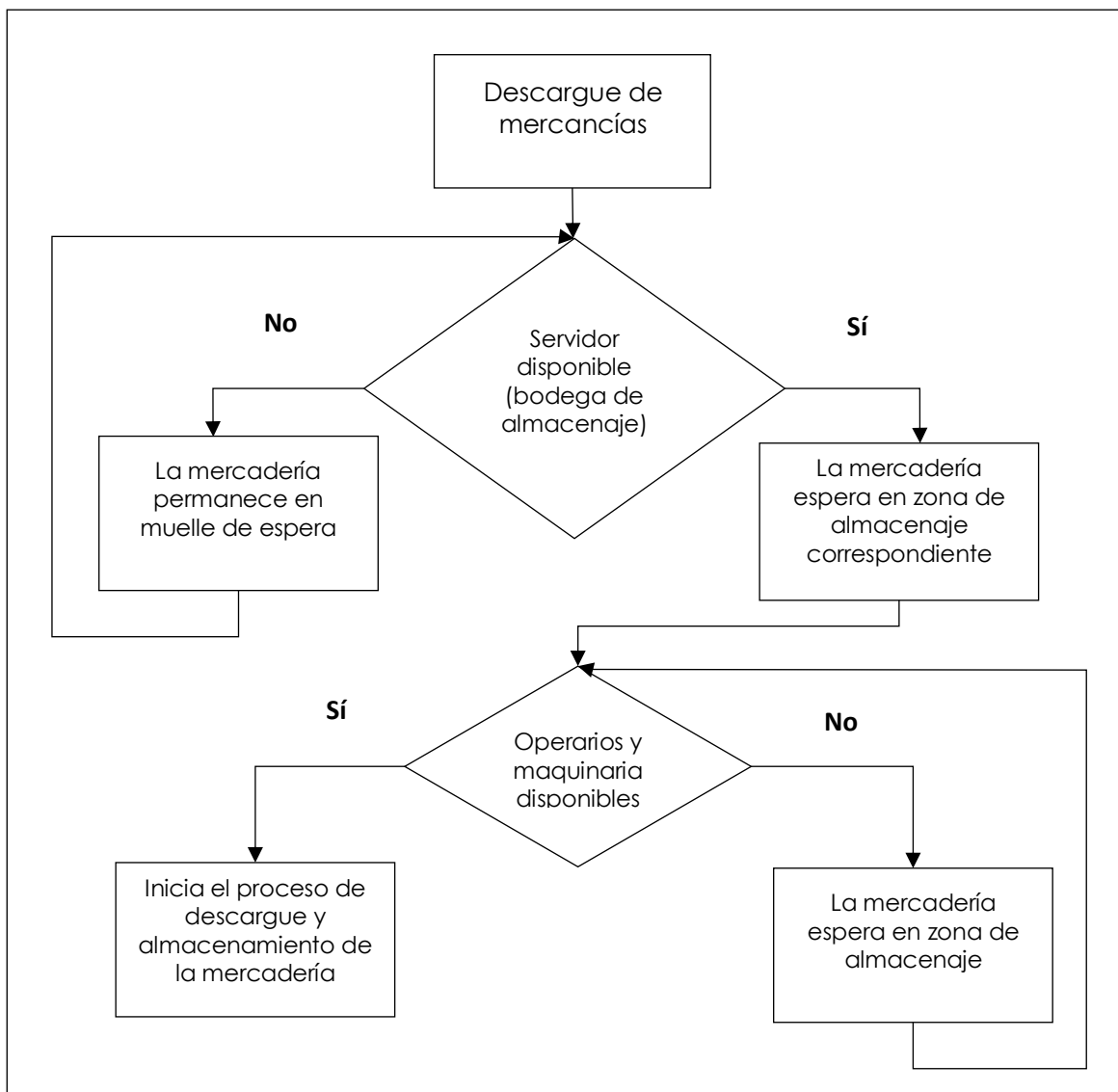


Figura 20. Diagrama de flujo del sistema de descargue y almacenamiento de mercancías

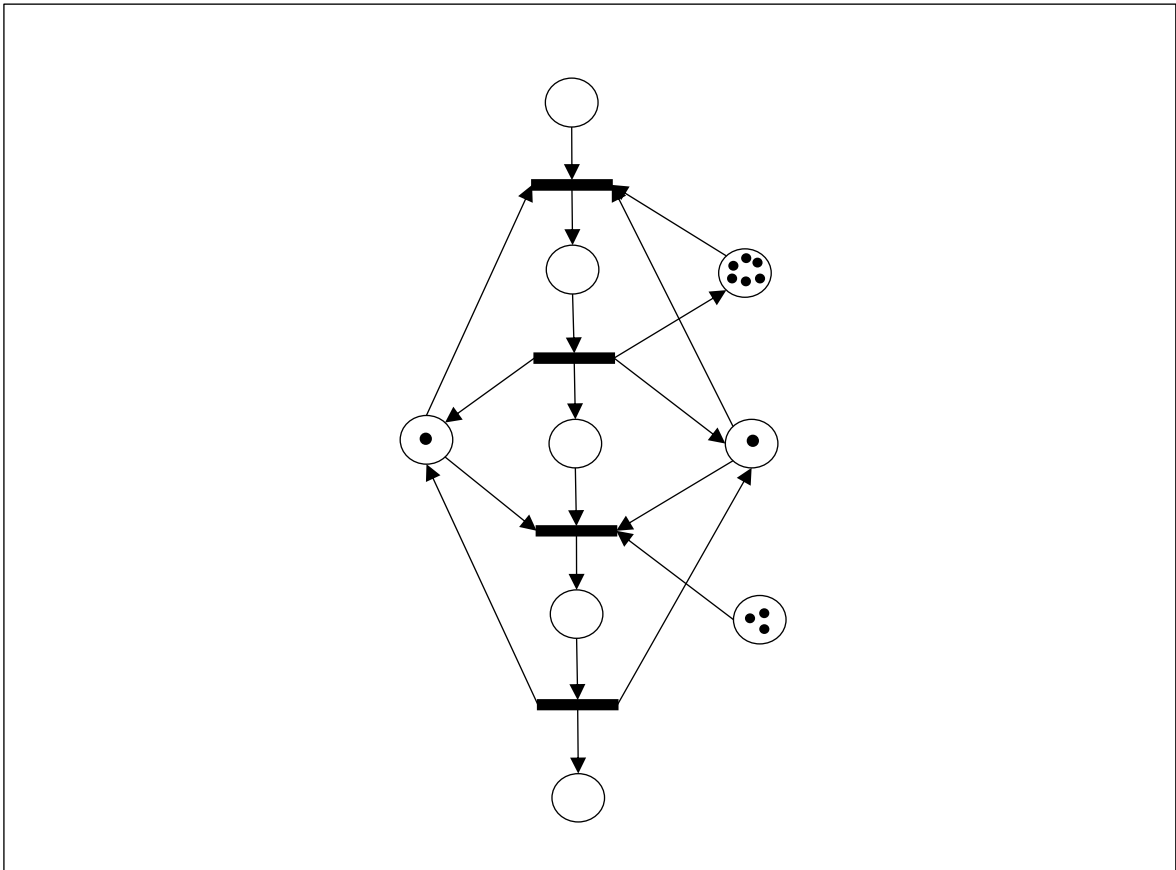


Figura 21. Diseño de la RdP para el proceso almacenamiento de mercancías

El modelo mediante RdP representado en la Figura 21 consiste en la esquematización del proceso de descargue y almacenamiento de la mercadería en las instalaciones de la bodega, considerando los elementos predispuestos para simbolizar cada uno de los procesos a ejecutarse en esta operación.

Los lugares son:

- ✓ P_7 : vehículo pesado (red 1)
- ✓ P_8 : mercancía descargándose
- ✓ P_9 : mercancía descargada
- ✓ P_{10} : mercancía almacenándose
- ✓ P_{11} : mercancía almacenada
- ✓ P_{12} : operarios libres
- ✓ P_{13} : muelles disponibles
- ✓ P_{14} : maquinaria libre

✓ P_{15} : bodegas (servidores) disponibles

y las transiciones:

- ✓ T_5 : inicio de descarga
- ✓ T_6 : fin de descarga
- ✓ T_7 : inicio de almacenamiento
- ✓ T_8 : fin de almacenamiento

- Sistema de recepción del vehículo de carga

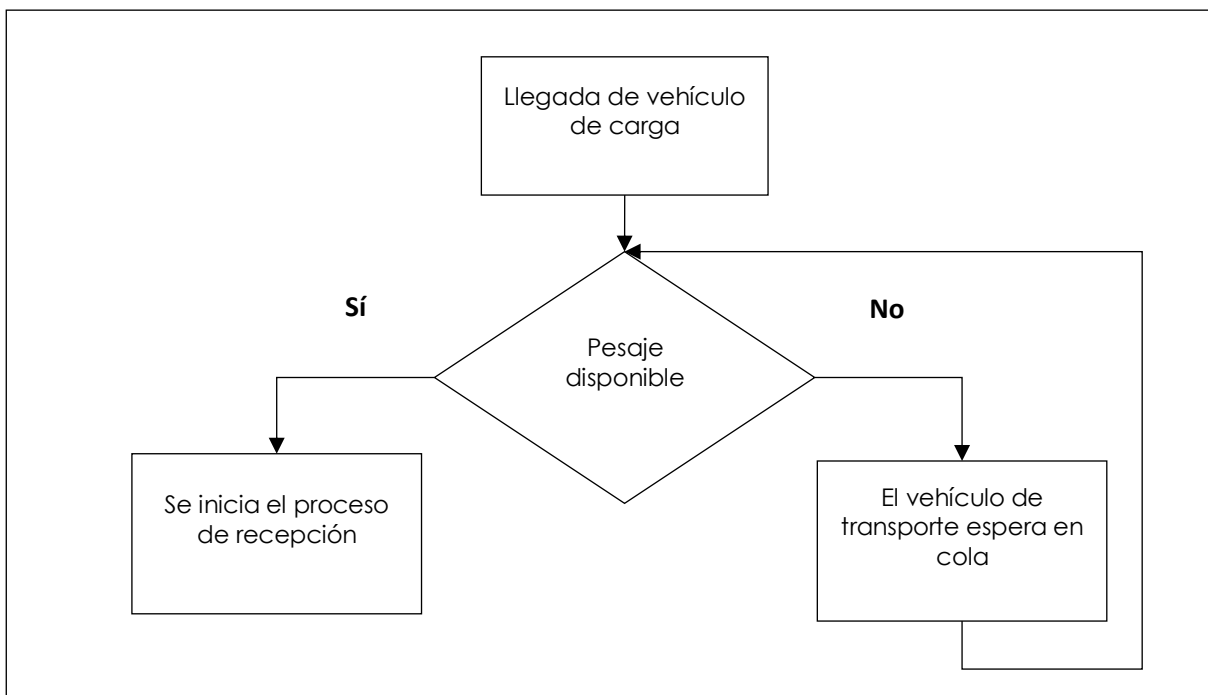


Figura 22. Diagrama de flujo para el sistema de cargue de mercancías

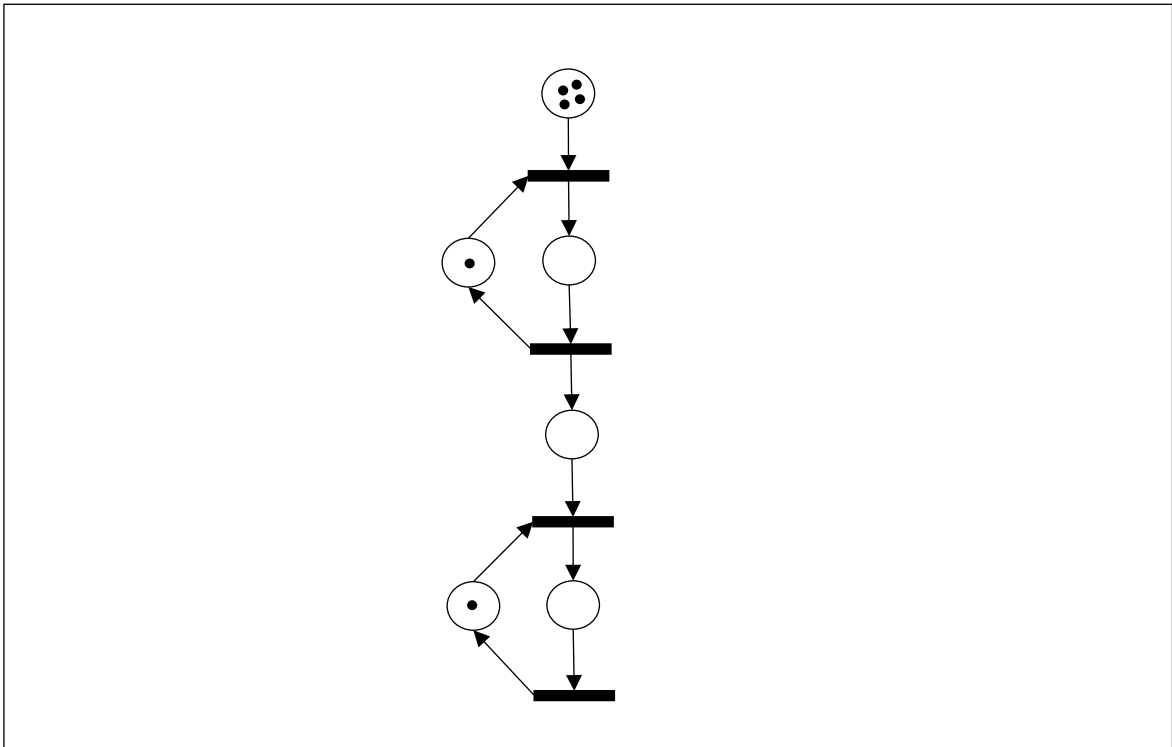


Figura 23. Diseño de la RdP para el proceso inverso del pesaje de mercancías

El modelo mediante RdP representado en la Figura 23 consiste en la esquematización del proceso de recepción de vehículos vacíos para el proceso de cargue de mercancías.

Para la esquematización de cada uno de los procesos se obtiene lo siguiente.

Los lugares son:

- ✓ P_{16} : cola de espera de vehículo en la recepción (v)
- ✓ P_{17} : vehículo registrándose
- ✓ P_{18} : vehículo registrado
- ✓ P_{19} : vehículo pesado

y las transiciones:

- ✓ T_9 : inicio registro de vehículo
- ✓ T_{10} : fin registro
- ✓ T_{11} : inicio de pesaje de vehículo
- ✓ T_{12} : fin de pesaje

- Sistema de carga de mercancía

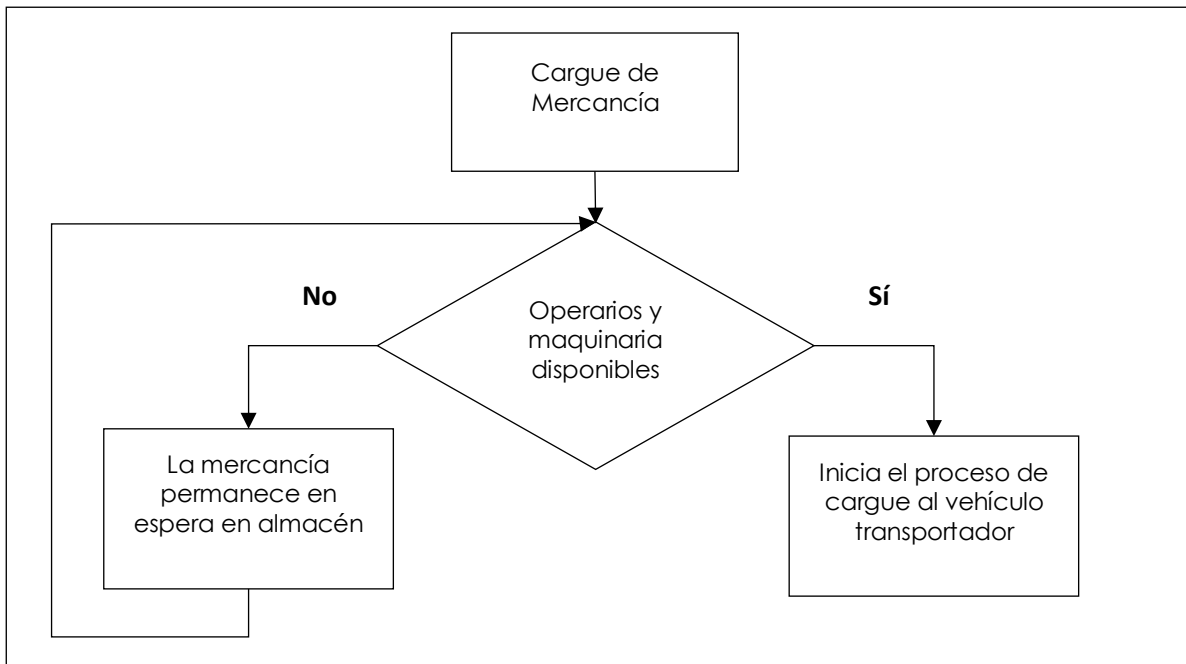


Figura 24. Diagrama de flujo del proceso de descargue y almacenamiento de mercancías

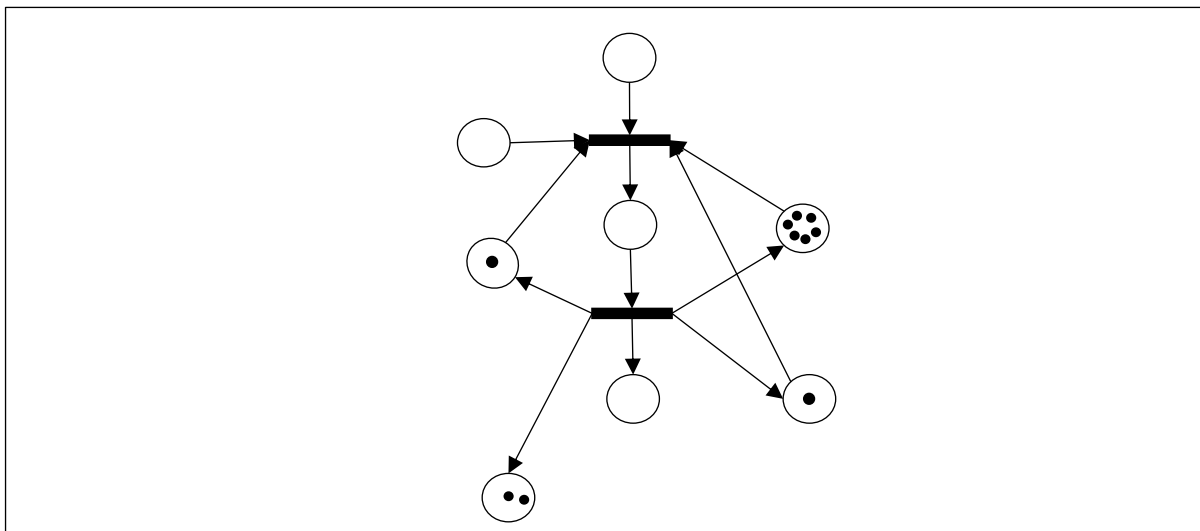


Figura 25. Diseño de la RdP del proceso de cargue de mercancías

Los lugares son:

- ✓ P_{20} : vehículo pesado
- ✓ P_{21} : mercancía cargándose

- ✓ P_{22} : mercancía cargada
- ✓ P_{11} : mercancía almacenada en bodega (servidor)
- ✓ P_{12} : operarios libres
- ✓ P_{13} : muelles disponibles
- ✓ P_{14} : maquinaria libre
- ✓ P_{15} : bodegas libres

y las transiciones:

- ✓ T_8 : inicio de pesaje de tara del vehículo
- ✓ T_9 : fin de pesaje de tara

Una vez se han construido cada uno de los sistemas para cada proceso, es posible construir el modelo que abarca todo el sistema de la bodega a partir de la interacción entre los subsistemas ilustrados en la Figura 21, 23 y 25.

La Figura 26 muestra la RdP en su totalidad conforme al sistema real de la bodega Aduanor, alineado con cada uno de sus procesos que conlleva para el almacenaje de mercancías, con ello ayuda a entender de mejor manera cada uno de los eslabones para tomar mejores decisiones en cuanto a modificaciones.

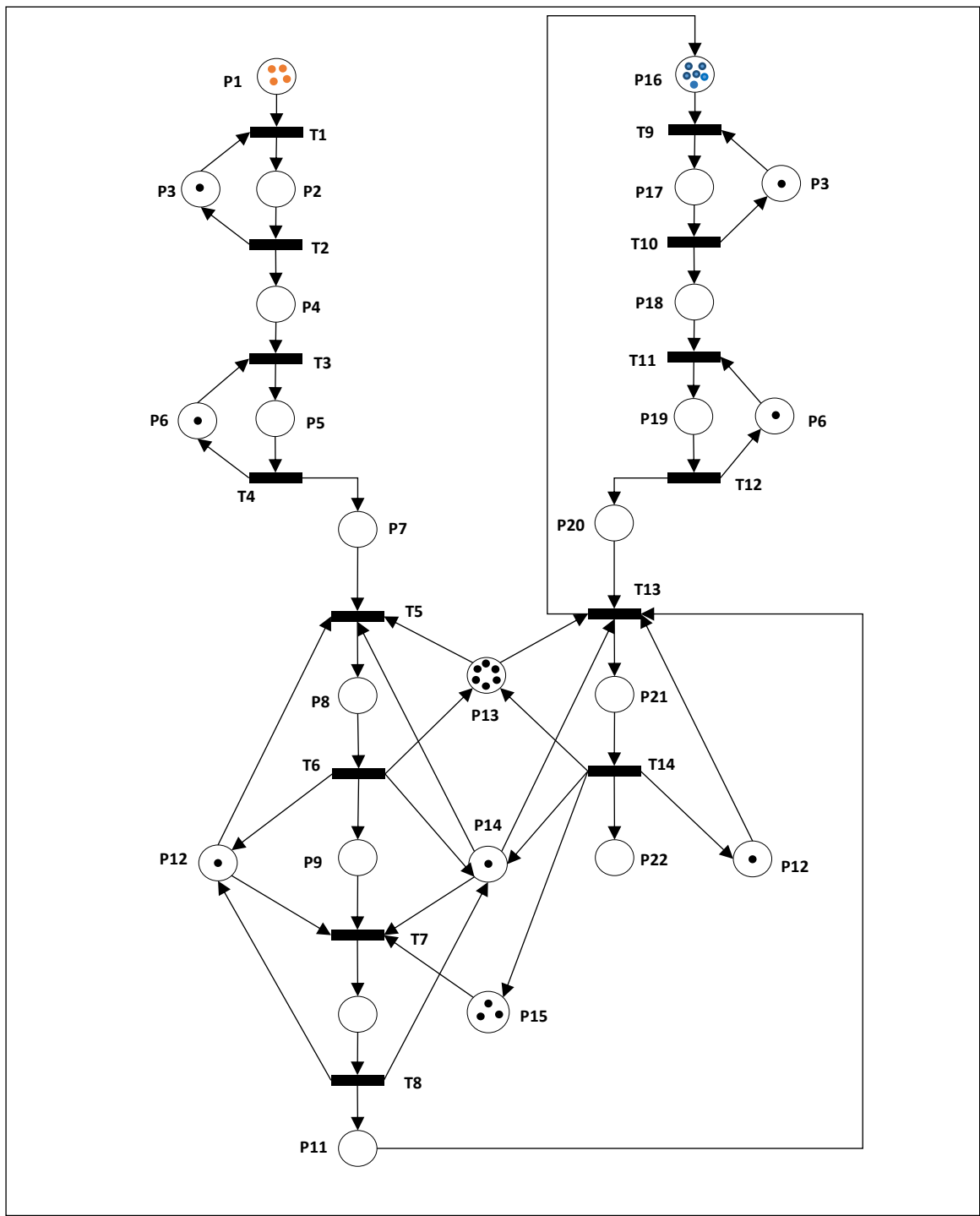


Figura 26. Diseño de la RdP del proceso total de almacenamiento

4.1.3.3. Técnicas de análisis para las Redes de Petri

En esta sección se describe brevemente las técnicas que conforman la red y ayudan al análisis del modelo describiendo la verificación, validación y estudio de los resultados lanzados por las simulaciones a dar marcha. El análisis pretenderá determinar los siguientes objetivos:

- Bloqueos del sistema.
- Encontrar estados finales a partir de un estado inicial.
- Obtener el conjunto de estado a partir de los caminos conformados desde el estado inicial.

Para el análisis de la RdP se utiliza la metodología del árbol de alcance para determinar el conjunto de estados M a partir del estado inicial M_0 . Así, validando la alcanzabilidad mediante la siguiente secuencia de eventos a partir del sistema completo del proceso de almacenamiento de la bodega.

Según Piera (2004), la forma de determinar el conjunto de estados que se pueden presentar y construir el árbol de alcance, consiste en validar las reglas de alcance:

- La raíz del árbol la determina el estado inicial (M_0)
- Para cada uno de los nodos del árbol se generan nodos hijos como transiciones activadas. El cual representa el estado de la RdP en concreto cada vez que se dispare una marca de las transiciones activadas.
- Cuando se generan un nodo hijo que ya existe en otro nodo similar, este pasa a marcarse como nodo *old* y en el caso de que el árbol presente un fin o ya no genere más nodos hijos se marca como *end*.
- Un árbol que no presente ninguna transición activada se marca como *dead end*.

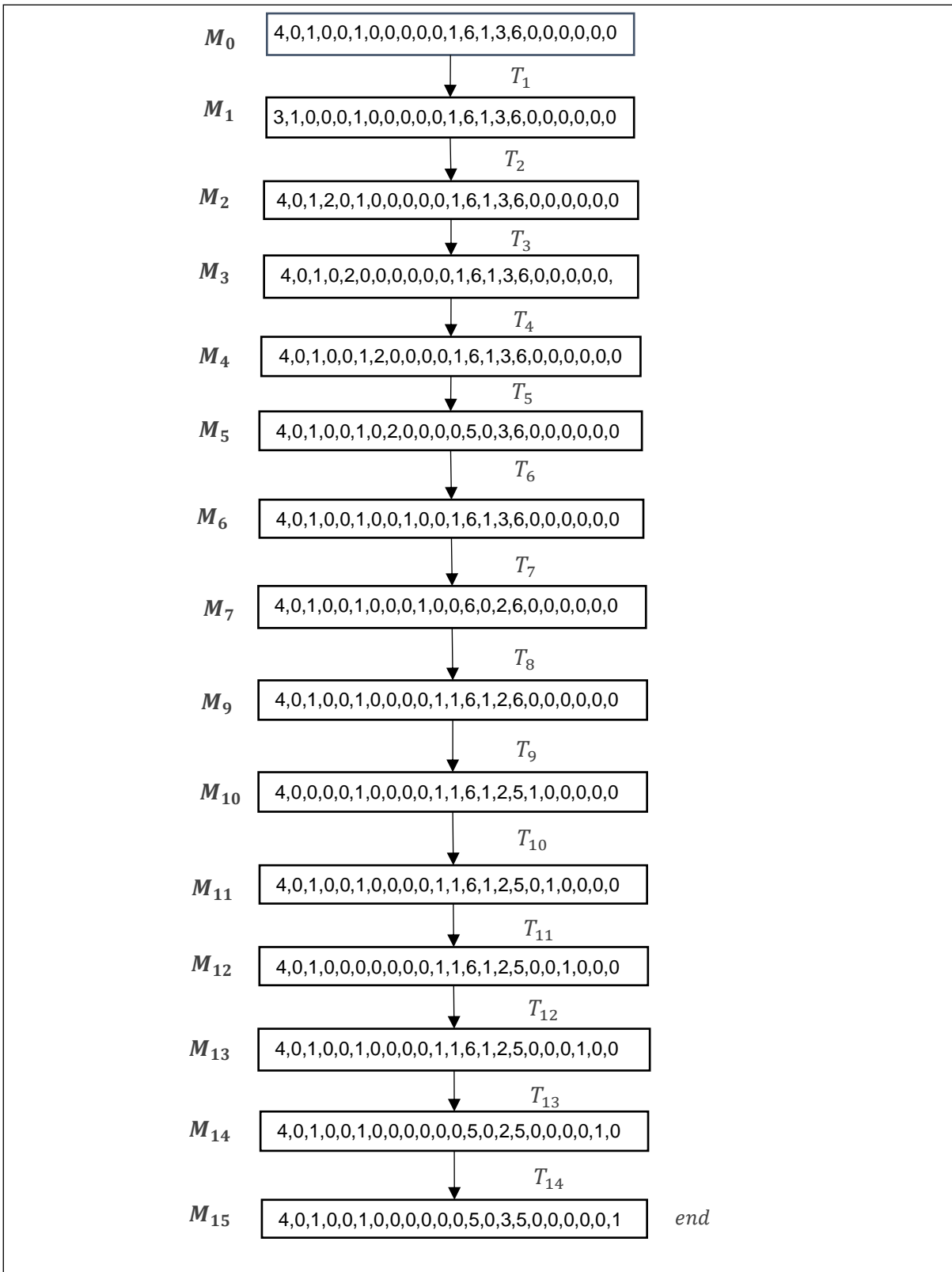


Figura 27. Árbol de cobertura de la RdP

Dada la estructura funcional de la Red de Petri establecida en base al modelo del sistema de almacenaje de la bodega, y al realizar el análisis con la técnica del árbol de cobertura mostrada en la Figura 26, se observa que la red posee una estructura secuencial y no se bloquea en ningún punto dado que no surgieron nodos del tipo *dead end*, además como ningún nodo crece al infinito es una red del tipo acotada según se detalla en la Tabla 4 de las propiedades de las RdP.

4.1.3.4. Diseño del Modelo mediante RdP Coloreada

Con el uso del lenguaje de modelado de las Redes de Petri Coloreadas se puede describir el sistema de almacenamiento de la bodega de manera más específica y acertada, ya que el lenguaje permite asociar un conjunto de valores llamados color a cada objeto llamado marca.

Los elementos estructurales principales para brindar el servicio de almacenamiento son:

- Un punto de recepción al cual se dirige en primer lugar el vehículo que aborda a las instalaciones (gr).
- Una báscula de pesaje para los vehículos que están en la espera de ser descargados para el almacenamiento de su mercadería (b).
- Tres muelles para carga y descarga (mu).
- Seis bodegas cubiertas para el almacenaje de diferentes tipos de mercaderías (st).
- $10060 m^2$ de patio exterior para contenedores.
- $9200 m^2$ de patio recubierto para el almacenaje de carga sobre dimensionada.

El equipo operativo principal del servicio es:

- Un guardia recepcionista que registra la llegada de los vehículos a la bodega (gr).
- Un operador encargado del manejo de báscula (b).
- Maquinaria disponible para la manipulación de ciertas mercaderías (ma).
- Doce operarios encargados de la manipulación manual (estibadores) de la mercadería (op).

La Figura 27 muestra la RdP Coloreada con su sistema completo en relación con el proceso de almacenamiento, los elementos de la tupla de la red son:

$\Sigma = \{v, pr, mu, st, b, he, ra, gr, VPR, VPRST\}$, donde:

- v: tipo de vehículo que se debe procesar {turbo (t), sencillo (s), tráiler (l), porta coches (p), frigoríficos (f), doble troque (d)};
- pr: tipo de mercadería que se debe almacenar {paletizada (p); suelta (s); granel (g); sobredimensionada (d)};
- mu: muelle de atención a los vehículos {disponible (1); ocupado (0)};
- st: bodegas para el almacenamiento de mercancía {disponible (1); ocupado (0)};
- b: báscula {disponible (1); ocupado (0)};
- he: herramienta de manipulación para la mercadería (recursos móviles): {estibador (e); montacargas (m); montacargas manual (k)};
- gr: guardia de recepción {disponible (1); ocupado (0)}.

VPR: producto cartesiano $v*pr$. Da información sobre el tipo de vehículo y el tipo de mercadería.

PRHEMU: producto cartesiano $pr*he*mu$. Da información sobre el tipo de mercadería, el número de recursos móviles (herramientas) a utilizar y el muelle de descarga.

PRHE: producto cartesiano $pr*he$. Da información sobre el tipo de mercadería y el número de recursos móviles (herramientas) a utilizar para el proceso de descarga.

PRHEST: producto cartesiano $pr*he*st$. Da información sobre el tipo de mercadería, el número de recursos móviles (herramientas) a utilizar y la bodega correspondiente para el almacenaje.

VPRSTHEMU: producto cartesiano $v*pr*st*he*mu$. Da información sobre el tipo de vehículo a ingresar, el tipo de mercadería, la bodega, maquinaria y muelle correspondiente a la bodega con la mercancía almacenada.

Los lugares son:

- $P = \{P_1, P_2, \dots, P_{15}\}$, donde:

P_1 : cola de espera de vehículo y mercancía en la recepción (v+pr)

P_2 : guardia disponible (gr)

P_3 : vehículo pesado

P_4 : báscula libre (b)

P_5 : vehículo pesado

P_6 : vehículo descargándose

P_7 : vehículo descargado

P_8 : mercancía almacenándose

P_9 : mercancía almacenada

P_{10} : muelles de carga-descarga libres (mu)

P_{11} : herramientas de manipulación (recursos móviles) libres (he)

P_{12} : bodegas y zonas de almacenamiento libres (st)

P_{13} : mercadería cargándose al vehículo

P_{14} : mercadería cargada y lista para su salida

y las transiciones:

- $T = \{T_1, T_2, \dots, T_8\}$, donde:

T_1 : registro a vehículo

T_2 : pesaje del vehículo

T_3 : inicio de descarga de vehículo

T_4 : fin de descarga de vehículo

T_5 : inicio de almacenamiento de mercadería

T_6 : fin de almacenamiento de mercadería

T_7 : inicio de cargue de mercadería

T_8 : fin de cargue de mercadería

- $A = \{A_1, A_2, \dots, A_{32}\}$ es el conjunto de arcos de la RdPC.

- $N(A_1) = (P_1, T_1), \dots, N(A_{32}) = (T_8, P_{14})$

- $C(pl) = VPR$ si $pl \in \{P_1, P_3, P_5, P_{14}\}$
- $C(pl) = PRMHEMU$ si $pl \in \{P_6\}$
- $C(pl) = PRMHE$ si $pl \in \{P_7\}$
- $C(pl) = PRMHST$ si $pl \in \{P_8\}$
- $C(pl) = VPRHEMU$ si $pl \in \{P_{13}\}$
- $C(pl) = gr$ si $pl \in \{P_2\}$
- $C(pl) = b$ si $pl \in \{P_4\}$
- $C(pl) = he$ si $pl \in \{P_{11}\}$
- $C(pl) = st$ si $pl \in \{P_{12}\}$
- $C(pl) = mu$ si $pl \in \{P_{10}\}$
- $C(pl) = pr$ si $pl \in \{P_9\}$

- $G(t) = \text{verdadero}$ si $t \in \{T1, T2, \dots, T8\}$

- $I(P1) = 6'(v) + 4'(pr)$. Inicialmente, se tiene disponible los 6 tipos de vehículo y 4 tipos de mercadería.
- $I(P2) = 1'(b)$. Inicialmente, hay una guardia libre.
- $I(P4) = 1'(b)$. Inicialmente, hay 2 una báscula libre.
- $I(P10) = 6'(mu)$. Inicialmente, hay 6 muelles de carga y descarga libres.
- $I(P11) = 4'(m) + 18'(mm) + 10'(op)$. Inicialmente, hay libres: 4 montacargas, 18 montacargas manuales y 10 operarios (estibadores).
- $I(P12) = 3'(st)$. Inicialmente hay 3 bodegas disponibles para el almacenamiento.

- $E(A1) = 1'(v, pr)$. Para que se active la transición T1 es necesaria una pieza en la cola pr & v .
- $E(A2) = 1'(gr)$. La pieza gr pasa a estar ocupada con las piezas v & pr .
- $E(A3) = 1'(gr)$. La pieza gr ha quedado libre después de la operación.
- $E(A4) = 1'(v, pr)$. Las piezas pr & v pasan a la siguiente fase.
- $E(A5) = 1'(v, pr)$. Para que se active la transición T2 es necesaria una pieza en la cola pr & v .
- $E(A6) = 1'(b)$. La pieza b pasa a estar ocupada con las piezas v & pr .
- $E(A7) = 1'(b)$. La pieza b ha quedado libre después de la operación.

$E(A8) = 1'(v,pr)$. Las piezas pr & v pasan a la siguiente fase.
 $E(A9) = 1'(pr)$. Para que se active la transición T3 es necesaria una pieza en la cola pr .
 $E(A10) = 1'(mu)$. Para que se active la transición T3 es necesaria una pieza en la cola mu .
 $E(A11) = 1'(he(op,m))$. Para que se active la transición T3 es necesaria una pieza en la cola op & m .
 $E(A12) = 1'(pr,m,op,mu)$. Las piezas pr , m , op & mu pasan a la siguiente fase (nodo).
 $E(A13) = 1'(pr,m,op,mu)$. Para que se active la transición T4 es necesaria una pieza en la cola pr,m,op,mu .
 $E(A14) = 1'(mu)$. La pieza mu ha quedado libre después de la operación.
 $E(A15) = 1'(pr,m,op)$. Las piezas pr , m & op pasan a la siguiente fase (nodo).
 $E(A16) = 1'(pr,m,op)$. Para que se active la transición T5 es necesaria una pieza en la cola pr,m & op .
 $E(A17) = 1'(st)$. Para que se active la transición T5 es necesaria una pieza en la cola st .
 $E(A18) = 1'(pr,m,op,st)$. Las piezas pr , m , op & st pasan a la siguiente fase (nodo).
 $E(A19) = 1'(pr,m,op,st)$. Para que se active la transición T6 es necesaria una pieza en la cola pr,m,op & st .
 $E(A20) = 1'(he(m,op))$. Las piezas m & op han quedado libres después de la operación.
 $E(A21) = 1'(pr,st)$. Las piezas pr & st pasan a la siguiente fase (nodo).
 $E(A22) = 1'(pr,st)$. Para que se active la transición T7 es necesaria una pieza en la cola pr , & st .
 $E(A23) = 1'(mu)$. Para que se active la transición T7 es necesaria una pieza en la cola mu .
 $E(A24) = 1'(he(op,m))$. Para que se active la transición T7 es necesaria una pieza en la cola op & m .
 $E(A25) = 1'(v,pr,st,m,op,mu)$. Las piezas v,pr,st,m,op & mu pasan a la siguiente fase (nodo).
 $E(A26) = 1'(v,pr,st,m,op,mu)$. Para que se active la transición T8 es necesaria una pieza en la cola v,pr,st,m,op & mu .

$E(A27) = 1'(mu)$. La pieza *mu* ha quedado libre después de la operación.
 $E(A28) = 1'(m,op)$. Las piezas *m* & *op* han quedado libres después de la operación.
 $E(A29) = 1'(st)$. La pieza *st* ha quedado libre después de la operación.
 $E(A30) = 1'(v,pr)$. Las piezas *v* & *pr* pasan a la siguiente fase (nodo).

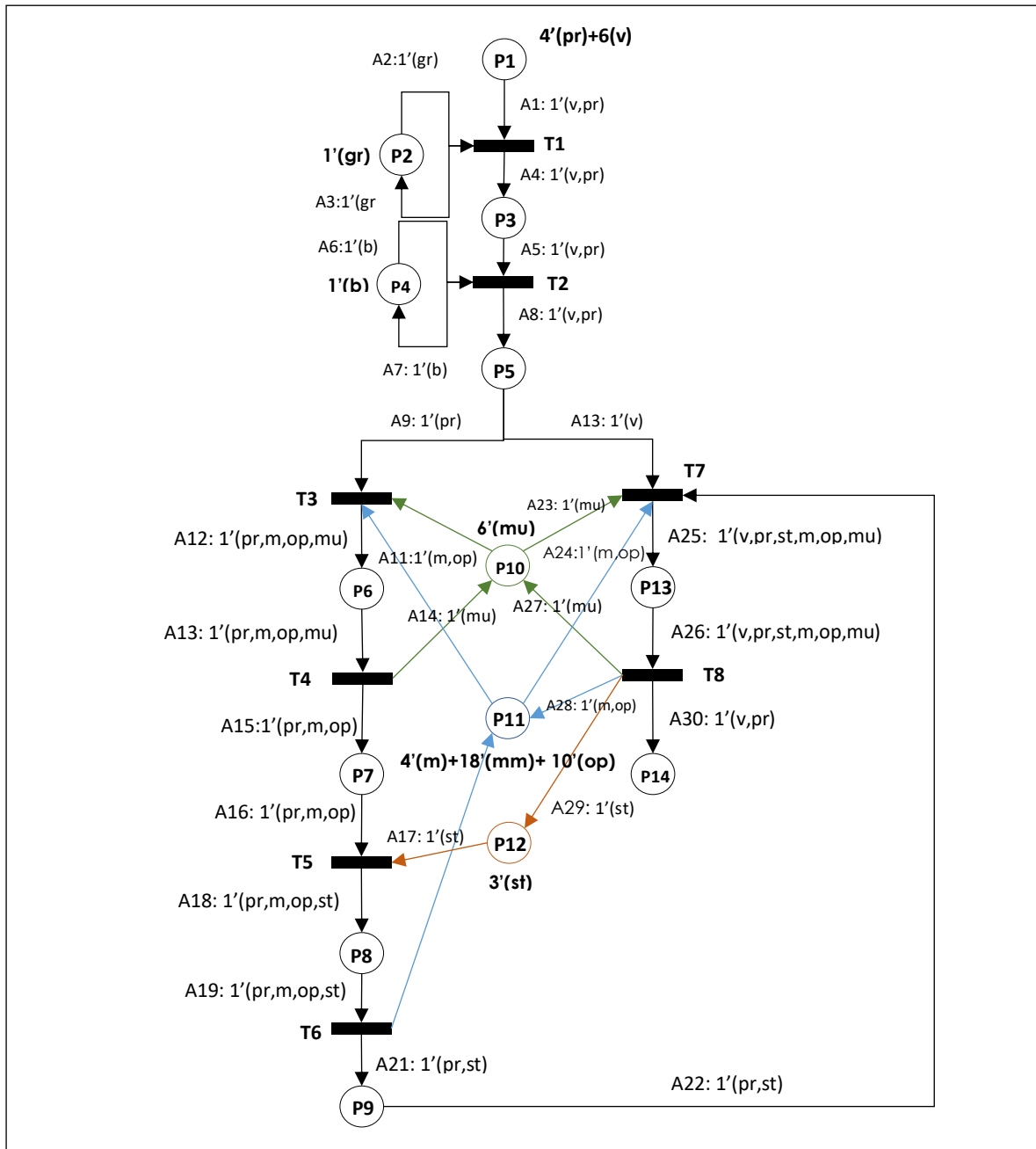


Figura 28. Diseño de la RDP Coloreada del proceso total de almacenamiento

Para la Figura 28 se ha representado el sistema de la RdP coloreada en su totalidad mediante la metodología de programación Bottom-Up, donde se unifica los nodos lugar que representan la misma condición. Se describe cada subsistema que compone la línea de almacenaje de mercancías. Por ejemplo, el subsistema 1 como el subsistema 4 comparten nodos lugar similares con el mismo significado (el nodo P_2 representa el estado libre del guardia de recepción, y el nodo lugar P_4 representa la báscula libre), los cuales han sido combinados en un mismo nodo lugar tanto para el proceso de descargue como el de cargue. Del mismo modo, para el nodo tipo lugar P_{11} el cual tiene el mismo significado para los dos subsistemas 2 y 4 (herramientas disponibles), pero a fin de facilitar la lectura de la RdP, se toma la decisión de unificar el nodo.

Al final esto facilita una mejor lectura del modelo y el funcionamiento del sistema en su totalidad, fundamentalmente para ampliar el formalismo inicial el cual permiten la distinción entre marcas o tokens pertenecientes a cada nodo lugar, además de la lectura y característica del contenido de cada arco que lleva la red, esto con el fin de dar mayor lógica al modelo y asemejarse más al sistema real de estudio.

Por la complejidad misma de lo que conllevaría un análisis a profundidad de las RdP coloreadas y la descripción de la función de cada uno de sus componentes (conjunto de colores, conjunto de nodos tipo lugar, conjunto de nodos transición, conjunto de arcos, conjunto de funciones de color, guardas, ...) como parte de la construcción del modelo del sistema de almacenamiento de la bodega, se optó por construir un modelo de simulación digital que parte de la lógica obtenida en la estructuración original de la RdP.

4.1.4. Construcción del modelo de simulación

4.1.4.1. Obtención de distribuciones de probabilidad

Según Isaías (2016), *FlexSim* (software de simulación), cuenta con un analizador de datos llamado *ExperFit* que permite analizar los datos de una manera automática y determinar de una manera casi precisa la distribución que mejor figuren el conjunto de datos.

Para el presente trabajo, se debe determinar una sola distribución en la programación del objeto, presentado como:

- *Inter-Arrivaltime*: determina la frecuencia de llegada de vehículos de transporte a la bodega, para dar su operación de cargue o descargue.

En la Figura 29 en la parte superior se observa el menú principal de *FlexSim*, opción *Statistics*, el cual despliega una lista de las estadísticas que operan en el modelo.

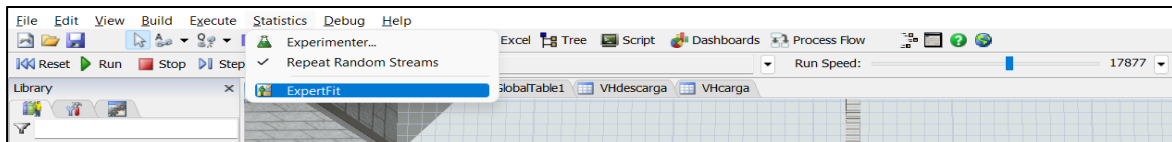


Figura 29. Ventana Principal *FlexSim* (*Statistics*)

Una vez dentro de la herramienta *ExpertFit*, se analizaron los datos ingresados, en este caso corresponderán con la frecuencia de las horas de ingreso de los vehículos en la bodega. Como ventana principal de la herramienta *ExpertFit* se tiene la opción de "Data Analysis", el cual ayuda a determinar qué distribución de probabilidad representa mejor el conjunto de datos disponible. El análisis se basa en cuatro factores principales, el cual son:

- *Data*
- *Models*
- *Comparisons*
- *Applications.*

type_operation	tim_arrival	tim_operation time_sec
16.36:00	0.02:00	120
16.34:00	0.02:00	120
16.32:00	0.02:00	120
16.30:00	0.22:00	1320
16.08:00	0.23:00	1380
15.45:00	0.04:00	240
15.41:00	0.07:00	420
15.34:00	0.13:00	780
15.21:00	0.11:00	660
15.10:00	0.12:00	720
14.58:00	0.04:00	240
14.54:00	0.03:00	180
14.51:00	1.34:00	5640
13.17:00	0.05:00	300
13.12:00	0.07:00	420
13.05:00	0.06:00	360
12.59:00	0.14:00	840
12.45:00	0.19:00	1140
12.28:00	0.03:00	180
12.23:00	0.12:00	720
12.11:00	0.10:00	600
12.01:00	0.57:00	3420
11.04:00	0.03:00	180
11.01:00	0.03:00	180
10.58:00	0.11:00	660
10.47:00	0.04:00	240
10.43:00	0.04:00	240
10.39:00	0.05:00	300
10.34:00	0.08:00	480
10.26:00	0.04:00	240
10.22:00	0.09:00	540
10.13:00	0.14:00	840
9.59:00	0.19:00	1140
9.40:00	0.10:00	600
9.30:00	0.27:00	1620
9.03:00	0.04:00	240
8.59:00	0.11:00	660
8.48:00	0.05:00	300
8.43:00	8.43:00	

type_operation	tim_arrival	tim_operation time_sec
18.53:00	0:10:00	600
18.43:00	0:21:00	1260
18:22:00	0:43:00	2580
17:39:00	0:00:00	0
17:39:00	0:28:00	1680
17:11:00	0:01:00	60
17:10:00	0:03:00	180
17:07:00	0:09:00	540
16:58:00	0:09:00	540
16:49:00	0:20:00	1200
16:29:00	0:02:00	120
16:27:00	0:01:00	60
16:26:00	0:01:00	60
16:25:00	0:08:00	480
16:17:00	0:02:00	120
16:15:00	0:11:00	660
16:04:00	0:01:00	60
16:03:00	0:06:00	360
15:57:00	0:02:00	120
15:55:00	0:06:00	360
15:49:00	0:12:00	720
15:37:00	0:10:00	600
15:27:00	0:02:00	120
15:25:00	0:13:00	780
15:12:00	0:48:00	2880
14:24:00	0:01:00	60
14:23:00	2:04:00	7440
12:19:00	0:32:00	1920
11:47:00	1:37:00	5820
10:10:00	2:02:00	7320
8:08:00	8:08:00	

Figura 30. Frecuencias de llegada de vehiculos para el proceso de cargue y descargue

- Datos

Se analiza en resumen la distribución de llegadas, considerando las operaciones con fecha del 1 al 4 de septiembre del año 2021, con un total de 68 operaciones, distribuidas tanto para cargue y descargue.

The screenshot shows the 'Data' analysis window. It includes a 'Data Editor' with the following data:

Row	Value
24	180.00000
25	660.00000
26	240.00000
27	240.00000
28	300.00000
29	480.00000
30	240.00000
31	540.00000
32	840.00000
33	1.140.00000
34	600.00000

The 'Data Summary' table shows the following statistics:

Data Characteristic	Value
Source file	<edited>
Observation type	Real valued
Number of observations	30
Minimum observation	1.00000 e -8
Maximum observation	7,440.00000
Mean	1,290.00000
Median	540.00000
Variance	4.16675 e 6
Coefficient of variation	1.58237
Skewness	2.29294

The 'Data' dialog box shows the following statistics:

Statistic	Value
Status	
Sum of real values	1,290,000
Minimum value	5,840,000
Maximum value	7,440,000
Mean value	786,362
Source file name	<edited>

Figura 31. Ventana de analisis "Data"

- Models

Permite ajustar la distribución de los datos al tipo de probabilidad que mejor se adapte con el conjunto de datos ingresados. En la Figura 32, se puede observar el resultado del análisis, el cual indica la evaluación única del modelo, para este caso el Score más alto tiende a ser una distribución *Weibull*, la que se reduce a la distribución exponencial de parámetro lambda. Así mismo, se modela perfectamente al ser un indicador de “tiempo de duración”, el cual para este caso sería la duración entre el tiempo de arribo de los vehículos que ingresan a la bodega.

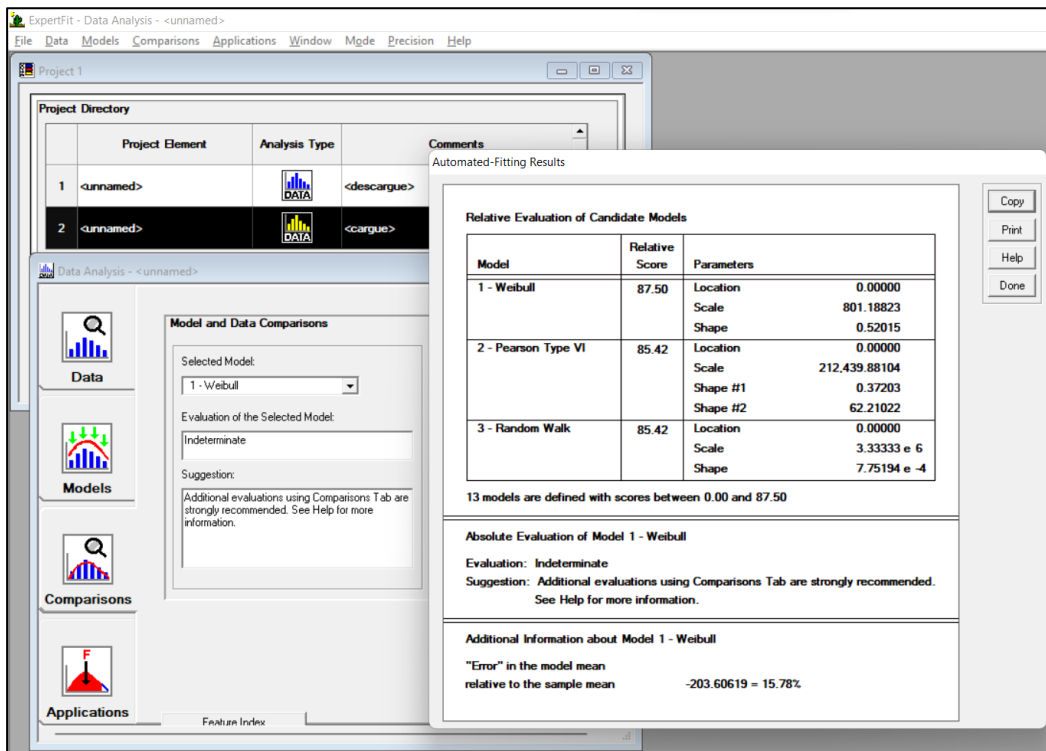


Figura 32. Ventana de análisis “Models”

- Comparisons

La Figura 33 ilustra la venta de *Comparisons*, el cual permite comparar las distribuciones de la frecuencia de datos, además de evaluar discrepancia entre los datos y frecuencias esperadas. Esto con el fin de tomar una decisión y evaluar si la distribución seleccionada es aceptada o rechazada según la hipótesis nula. En este caso para la distribución *exponencial* es aceptada con un 99 % de nivel de confianza.

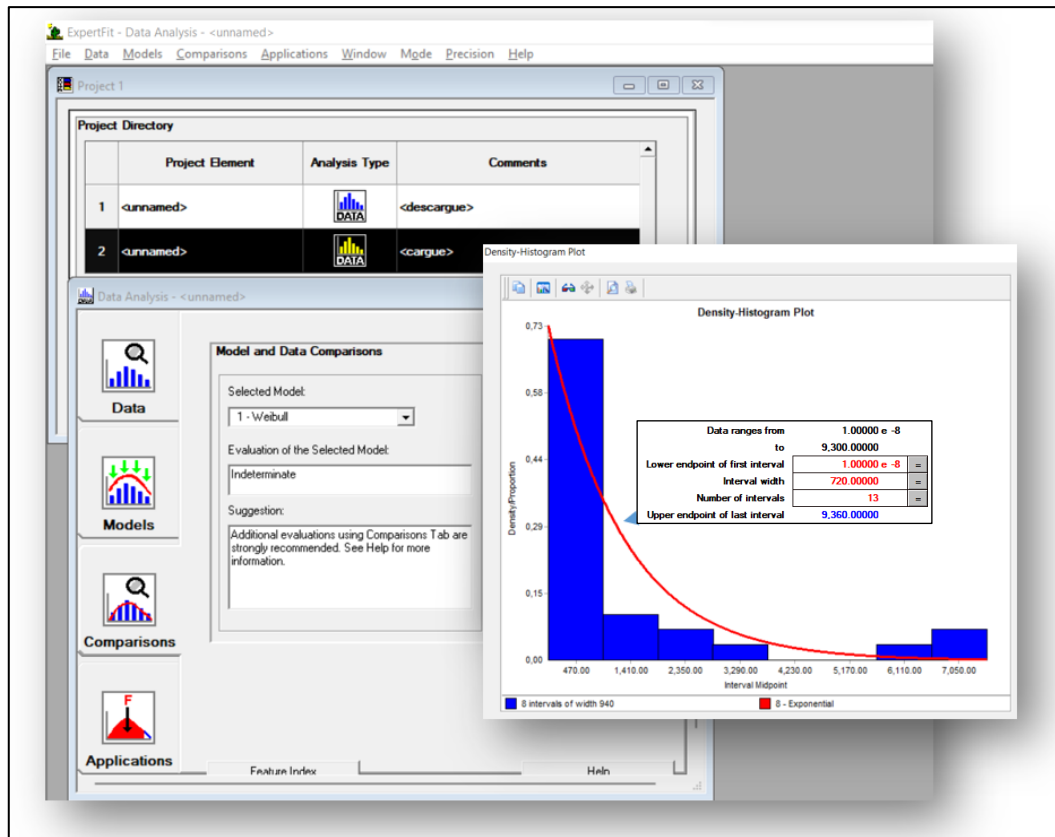


Figura 33. Ventana de análisis "Comparisons"

Para la visualización del histograma se define el número y amplitud de los intervalos según la muestra de datos. Para este caso se organizan los datos no agrupados de mayor a menor, tomando la variable del tiempo de frecuencia de llegada de los vehículos a la bodega.

$$\text{Numero de intervalos} = \sqrt{N}$$

$$\text{Amplitud de intervalos} = \frac{\text{Máx} - \text{Mín}}{\sqrt{N}}$$

Para las llegadas de los vehículos de carga, la muestra de datos es la siguiente:

$$N = \text{número de datos} = 30;$$

$$\text{Número de intervalos} = \sqrt{N} = \sqrt{30} = 5,47 \Rightarrow 6 \text{ intervalos}$$

Seguido se encuentra la amplitud para cada intervalo.

$$\text{Amplitud de intervalo} = \frac{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}}{\text{Número de intervalos}}$$

$$\text{Amplitud de intervalo} = \frac{7440 - 60}{6} = 1230$$

Para las llegadas de los vehículos de descarga la muestra de datos es la siguiente:

$$N = \text{número de datos} = 37;$$

$$\text{Número de intervalos} = \sqrt{N} = \sqrt{37} = 6,08 \Rightarrow 7 \text{ intervalos}$$

Seguido se encuentra la amplitud para cada intervalo.

$$\text{Amplitud de intervalo} = \frac{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}}{\text{Número de intervalos}}$$

$$\text{Amplitud de intervalo} = \frac{3420 - 120}{7} = 471$$

- Applications

Permite determinar las características de la distribución para ser aplicada en el modelo de simulación *FlexSim*.

Se visualiza la ventana de aplicaciones, donde se observan parámetros y nombres de las distribuciones.

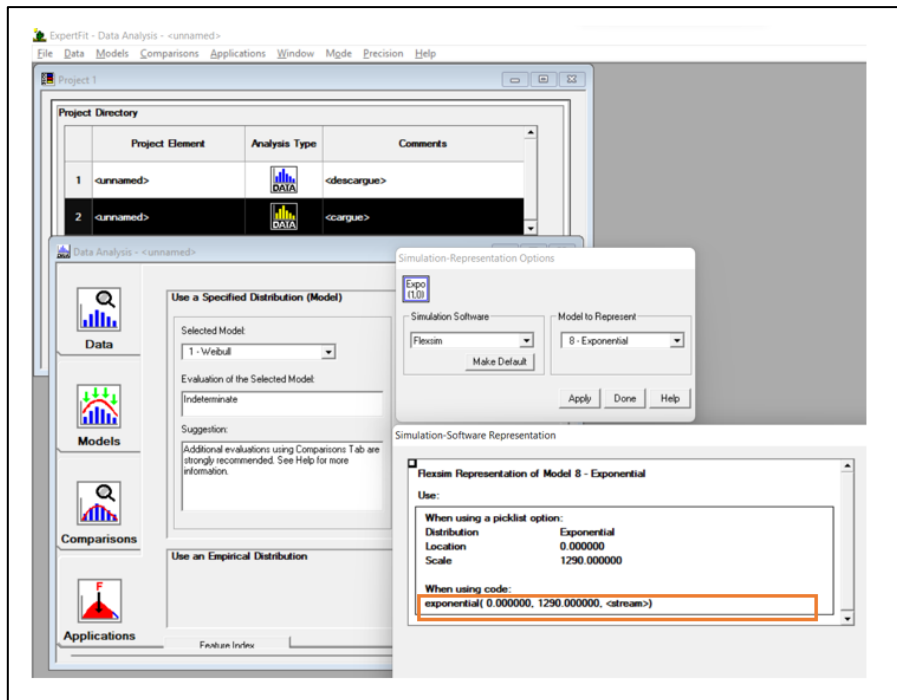


Figura 34. Ventana de análisis *Applications*

De esta forma se seleccionó la distribución exponencial como la más acertada para representar la distribución de llegada de los vehículos a la bodega, el cual será incorporada a las configuraciones de las propiedades de la herramienta que hace las veces de origen de los vehículos en el *software*.

4.1.4.2. Construcción del escenario inicial

La construcción del escenario inicial se la realiza con los recursos que ofrece el *software Flexsim* adaptándolos de forma tal que las funciones programadas en cada uno de ellos simulen la lógica del proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor.

A continuación, se detallan las principales configuraciones que permiten el funcionamiento del modelo.

- Global Tables

TiposVH: detalla los tipos de vehículos con los que se va a ejecutar el modelo y la carga en número de cajas que van a transportar. En este caso se va a trabajar con seis tipos de vehículos (remolque, sencillo, turbo, porta coches, cisterna y camión).

Para efectos de simulación la Global Table *TiposVH* contiene doce tipos de vehículos, los seis primeros (1-6) destinados para el proceso de descarga y los seis restantes (7-12) destinados para el proceso de carga. Su configuración se ilustra en la Figura 35.

	1REMOLQUE	2SENCILLO	3TURBO	4PORTACOCHES	5CISTERNA	6CAMION	7REMOLQUE	8SENCILLO	9TURBO	10PORTACOCHES	11CISTERNA	12CAMION
CAJAS	980	500	750	200	100	50	980	750	500	250	100	50

Figura 35. Global Table 'Tipos de vehículos'

VHDescarga: en esta Global Table como se muestra en la Figura 36 se establece la distribución en porcentaje de las llegadas de los seis primeros tipos de vehículos (1-6) destinados para el proceso de descarga. Su configuración se ilustra en la Figura 35.

	LLEGADAS	TIPO DE VEHÍCULO
REMOLQUE	45.87	1
SENCILLO	26.20	2
TURBO	25.18	3
PORTACOCHES	2.18	4
CISTERNA	0.37	5
CAMIÓN	0.20	6

Figura 36. Global Table 'Distribución de frecuencia por tipo de vehículo para descarga'

VHCarga: en esta Global Table se especifica la distribución en porcentaje de las llegadas de los vehículos destinados para el proceso de carga (7-12). Su configuración se ilustra en la Figura 37.

	LLEGADAS	TIPO DE VEHÍCULO
REMOLQUE	47.16	7
SENCILLO	35.46	8
TURBO	15.40	9
PORTACOCHES	1.75	10
CISTERNA	0.23	11
CAMIÓN	0	12

Figura 37. Global Table 'Distribución de frecuencia por tipo de vehículo para carga'

- Source

Como se muestra en la Figura 38, se establecieron tres tipos de source: VHDescarga, Mercancía, VHCarga.

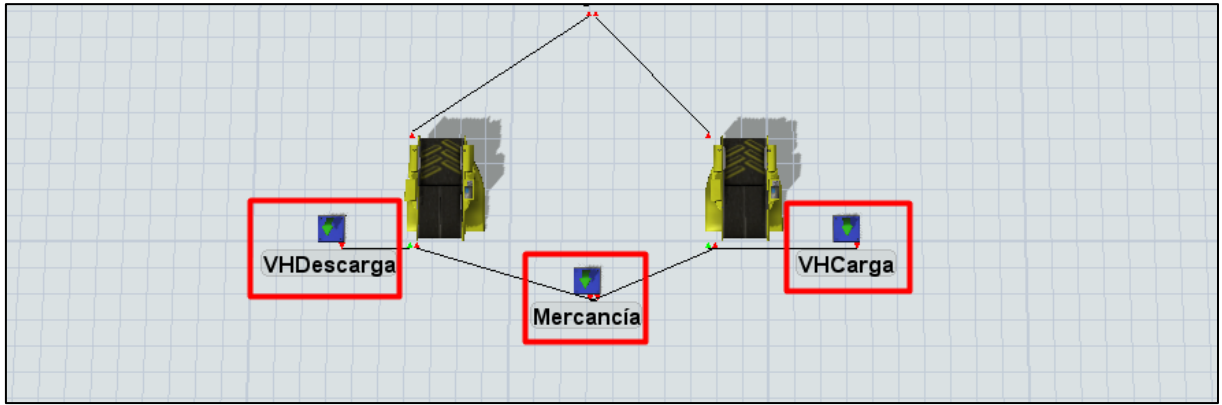


Figura 38. Sources para llegada de vehículos y mercancía

VHDescarga – propiedades

Estilo de llegadas: *Inter-Arrival Time*: permite configurar un tiempo entre llegadas específico.

Clase de elemento de flujo: *Truck*: tipo de artículo que se va a originar desde el source.

Tiempo entre llegadas: distribución *exponential* obtenida en *ExperFit*.

Detonante: *On Creation*: establece la distribución de llegadas usando la *Global Table* "VHDescarga" con la que se infiere que los tipos de vehículo entre 1-6 serán destinados para el proceso de descarga. Su configuración se ilustra en la Figura 39.

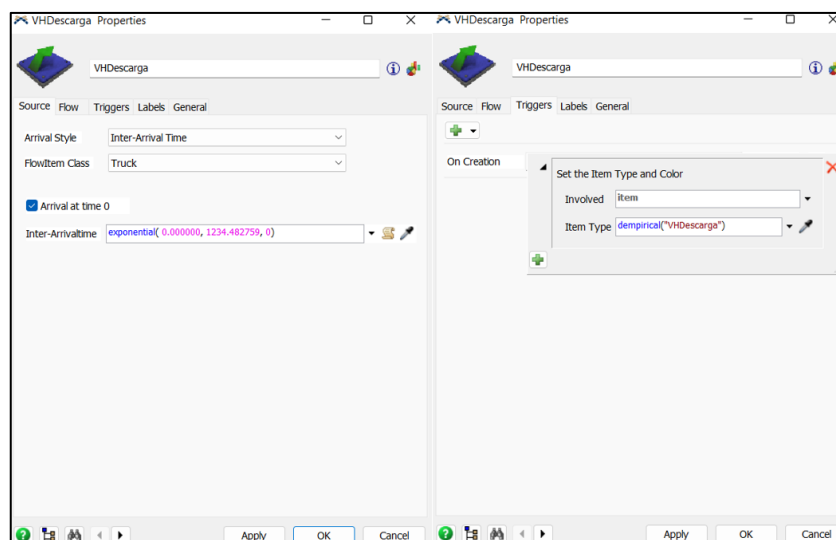


Figura 39. Configuración del Source para la llegada de vehículos de descarga

VHCarga – propiedades

Estilo de llegadas: *Inter-Arrival Time*: permite configurar un tiempo entre llegadas específico.

Clase de elemento de flujo: *Truck*: tipo de artículo que se va a originar desde el source.

Tiempo entre llegadas: distribución *exponential* obtenida en *ExperFit*.

Detonante: *On Creation*: establece la distribución de llegadas usando la *Global Table* "VHCarga" con la que se infiere que los tipos de vehículo entre 7-12 serán destinados para el proceso de carga. Su configuración se ilustra en la Figura 40.

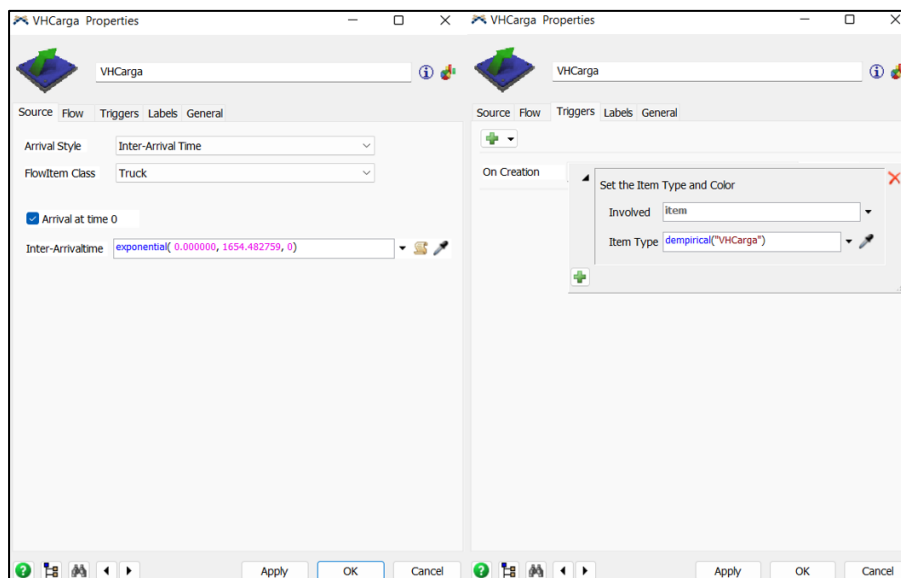


Figura 40. Configuración del Source para la llegada de vehículos de carga

Mercancía – propiedades

Estilo de llegadas: *Inter-Arrival Time*.

Clase de elemento de flujo: *Box*: tipo de artículo que se va a originar desde el source. Su configuración se ilustra en la Figura 41.

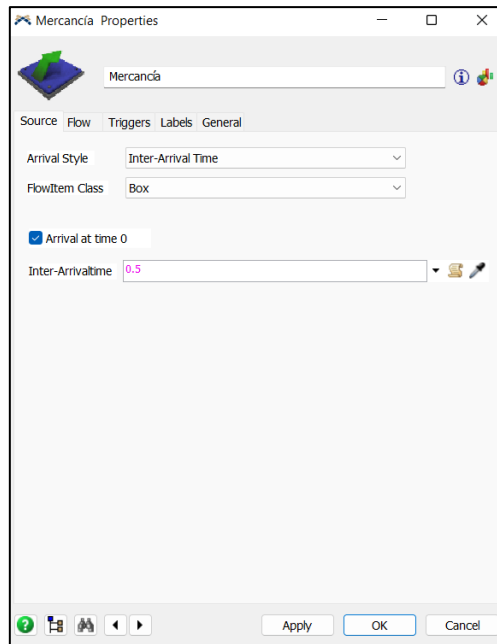


Figura 41. Configuración del *Source* para la llegada de mercancía

- Combiners

Se configuran dos *combiners*: *VHCargados*, *VHSinCarga*, que van a trabajar directamente con los *source* de tal forma que agrupe los *FlowItem* de ambos elementos y simulen la llegada de vehículos cargados y de vehículos sin carga.



Figura 42. *Combiners* para la agrupación de vehículos con mercancía

VHCargados – propiedades

Detonantes: *On Entry*: actualiza la lista de componentes del *combiner* usando la *Global Table*.

TiposVH para determinar el número de cajas que se va a combinar en cada vehículo antes de ingresar al sistema.

On Process Finish: establece una etiqueta con nombre *mercancía* con valores entre 1-3, para definir hacia cuál de las tres bodegas se tiene que dirigir el vehículo dependiendo de la mercancía que va a descargar. Su configuración se ilustra en la Figura 43.

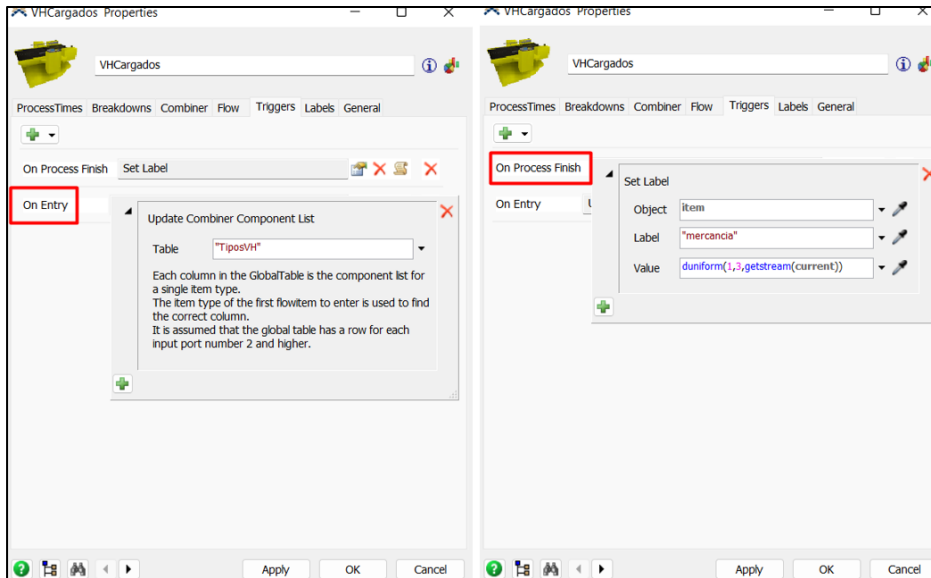


Figura 43. Configuración del *Combiner*

VHSinCarga – propiedades

Detonante (*On Process Finish*): se establece una etiqueta con nombre *mercancía*; en este caso con valores entre 4-6, para definir hacia cuál de las tres bodegas se tiene que dirigir el vehículo dependiendo de la mercancía que va a cargar. Su configuración se ilustra en la Figura 44.

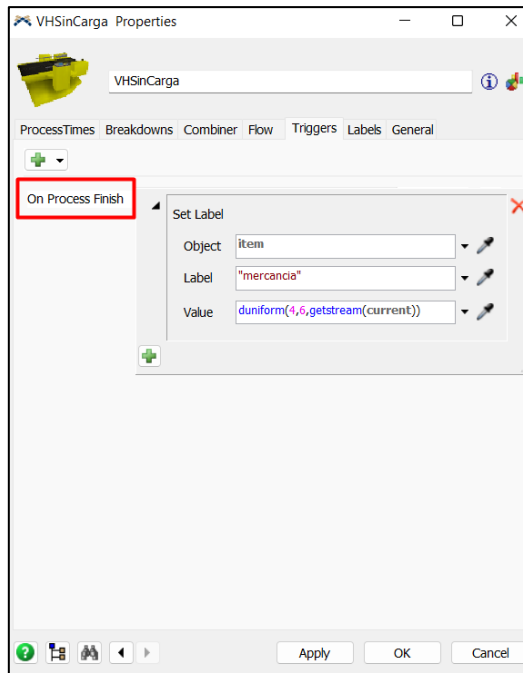


Figura 44. Configuración del Combiner

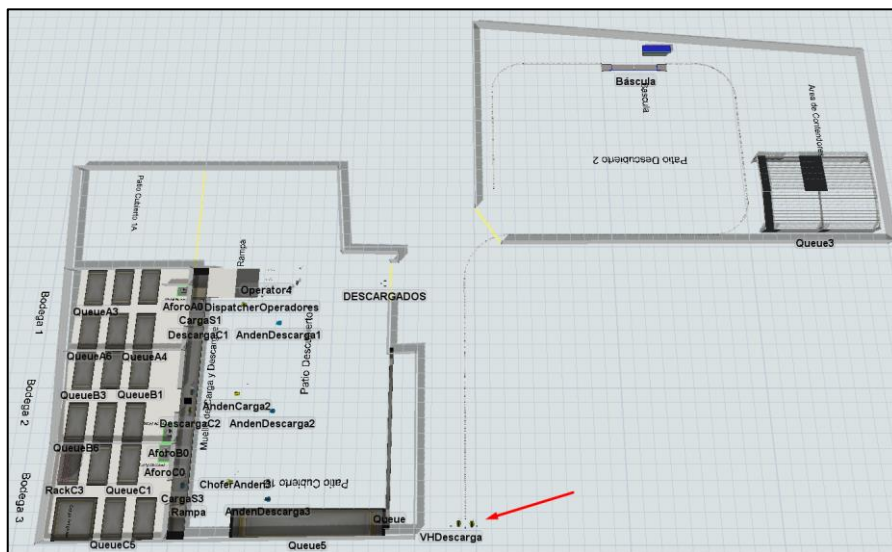


Figura 45. Posición de Combiners en el modelo completo

- Processor

Dentro del modelo de simulación se usa el elemento *processor* como herramienta para reproducir la función de pesaje de vehículos que se realiza en *báscula*, tal como se observa en la Figura 46.

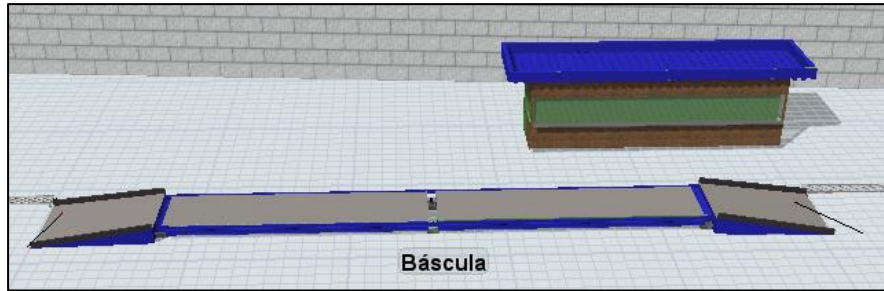


Figura 46. Processor en el modelo

Báscula – propiedades

Tiempo de procesamiento: tiempo promedio de procesamiento de 5 minutos (300 segundos), su configuración se ilustra en la Figura 47.

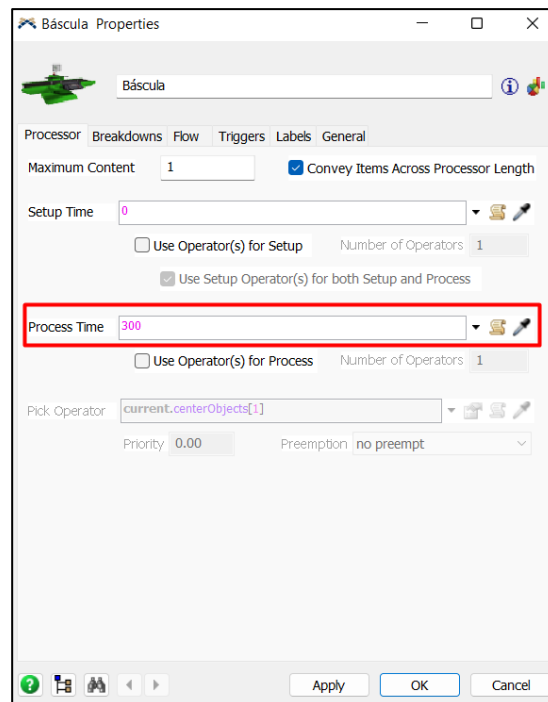


Figura 47. Configuración del Processor

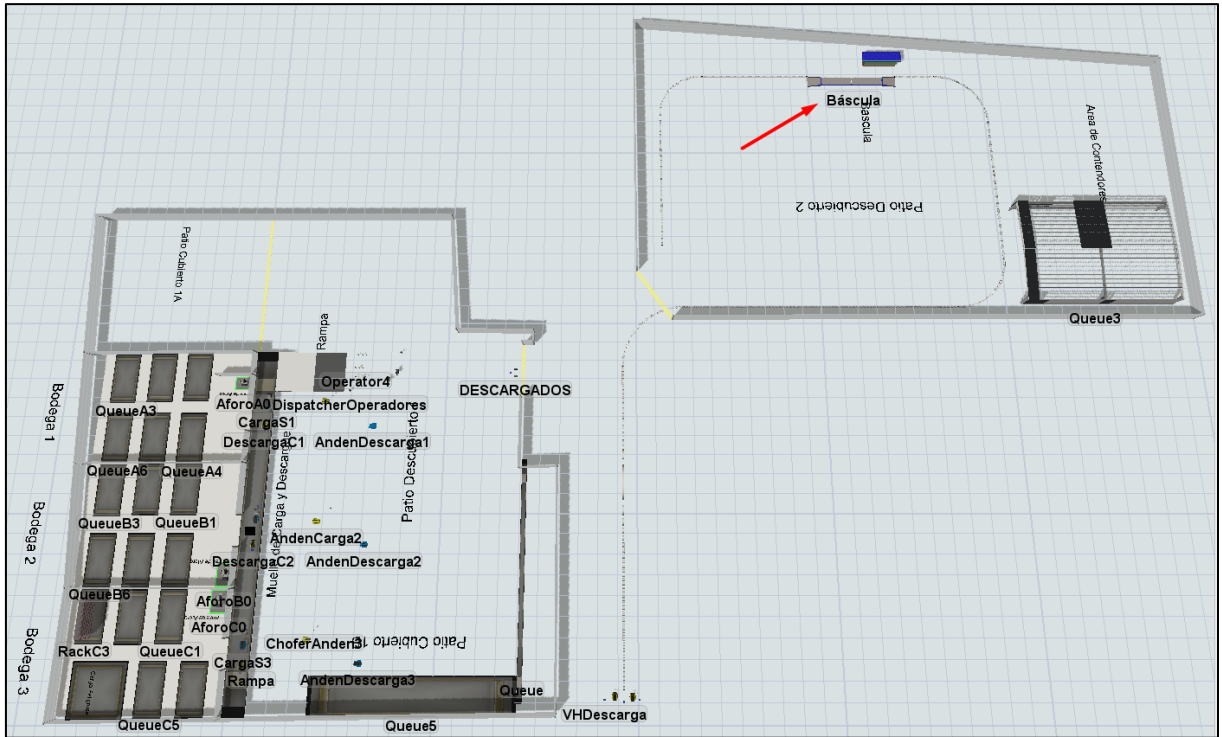


Figura 48. Posición de *Processor* en el modelo completo

- Bodegas

El modelo dispone de tres bodegas de almacenamiento (Bodega 1, Bodega 2, Bodega 3), y cada bodega posee dos andenes de arribo para los vehículos, uno destinado para carga y otro para descarga, (AndenCarga1, AndenDescarga1, AndenCarga2, AndenDescarga2, AndenCarga3, AndenDescarga3).

Bodega 1: recepta vehículos con etiqueta de *mercancía* tipo 1 y tipo 4 para descarga y carga respectivamente.

Bodega 2: recepta vehículos con etiqueta de *mercancía* tipo 2 y tipo 5 para descarga y carga respectivamente.

Bodega 3: recepta vehículos con etiqueta de *mercancía* tipo 3 y tipo 6 para descarga y carga respectivamente.

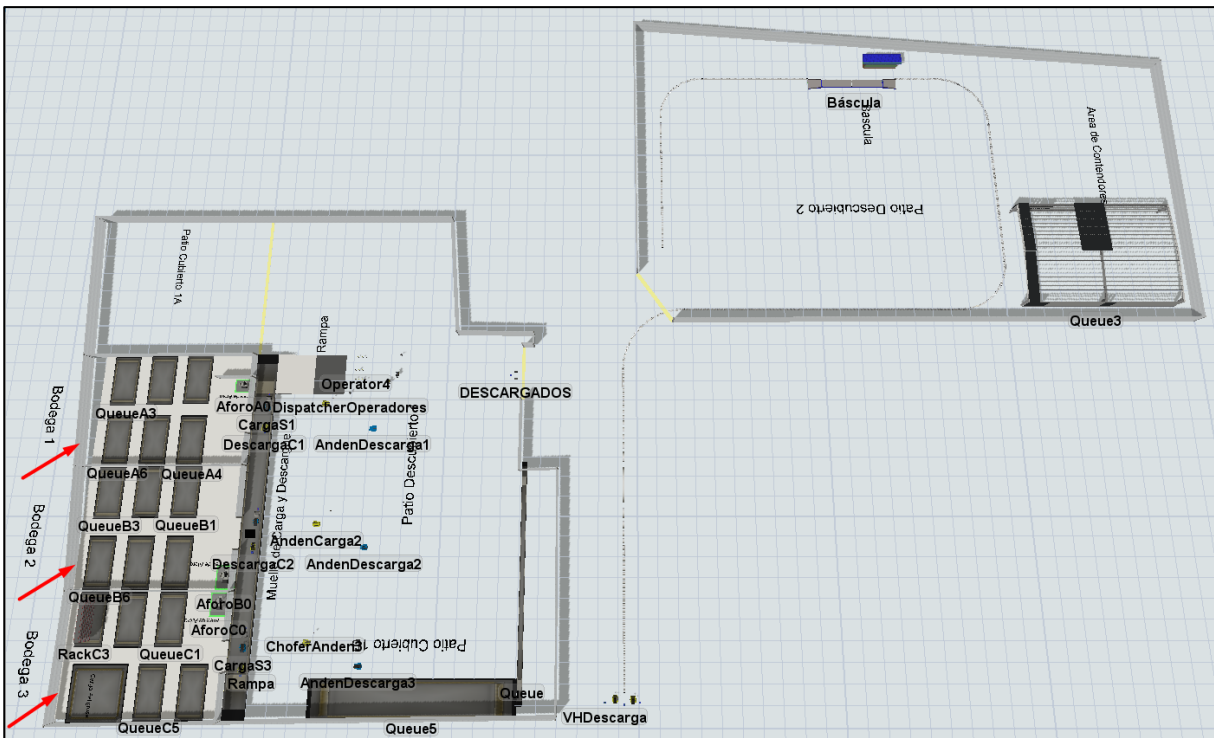


Figura 49. Posición de Bodegas en el modelo completo

- Queue

Este elemento representa la cola de vehículos que ingresan al sistema, y a través de este se dirigen, dependiendo de la mercancía que lleven etiquetada, a una de las tres bodegas disponibles dentro del almacén y a sus andenes dependiendo el caso.

General (Output Ports): se ordena los puertos de salida del *queue* para que concuerden con el tipo de mercancía que tienen como etiqueta los vehículos que se originan en los *combiners*.

Enviar al puerto (Port By Case): se programa el *item "mercancía"* como el caso mediante el cual se van a vincular los puertos, y se establece la relación de los vehículos, el tipo de mercancía y los andenes que disponen las bodegas enlazando los casos y los puertos en cuestión, tal como se observa en las Figuras 50 y 51.

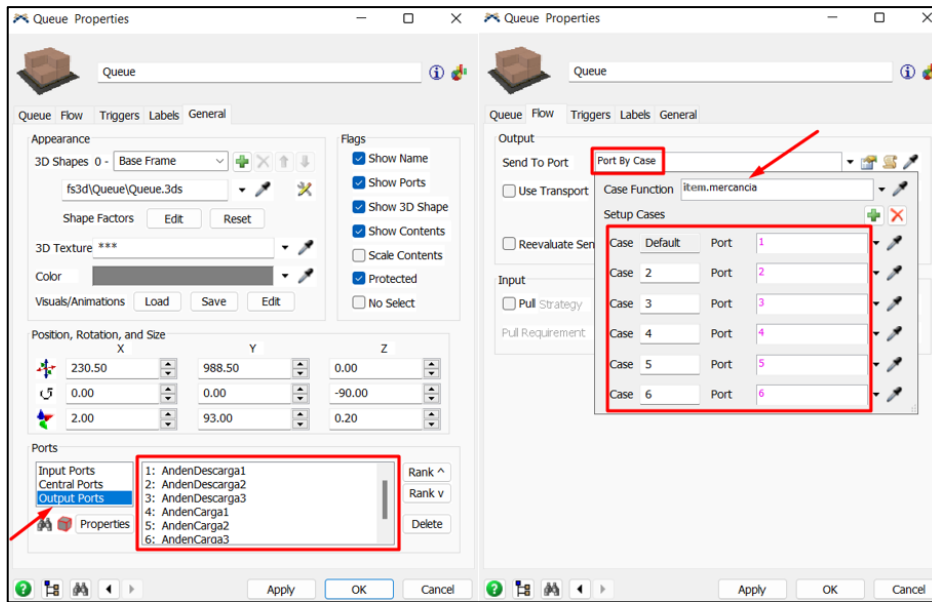


Figura 50. Configuración de Queues

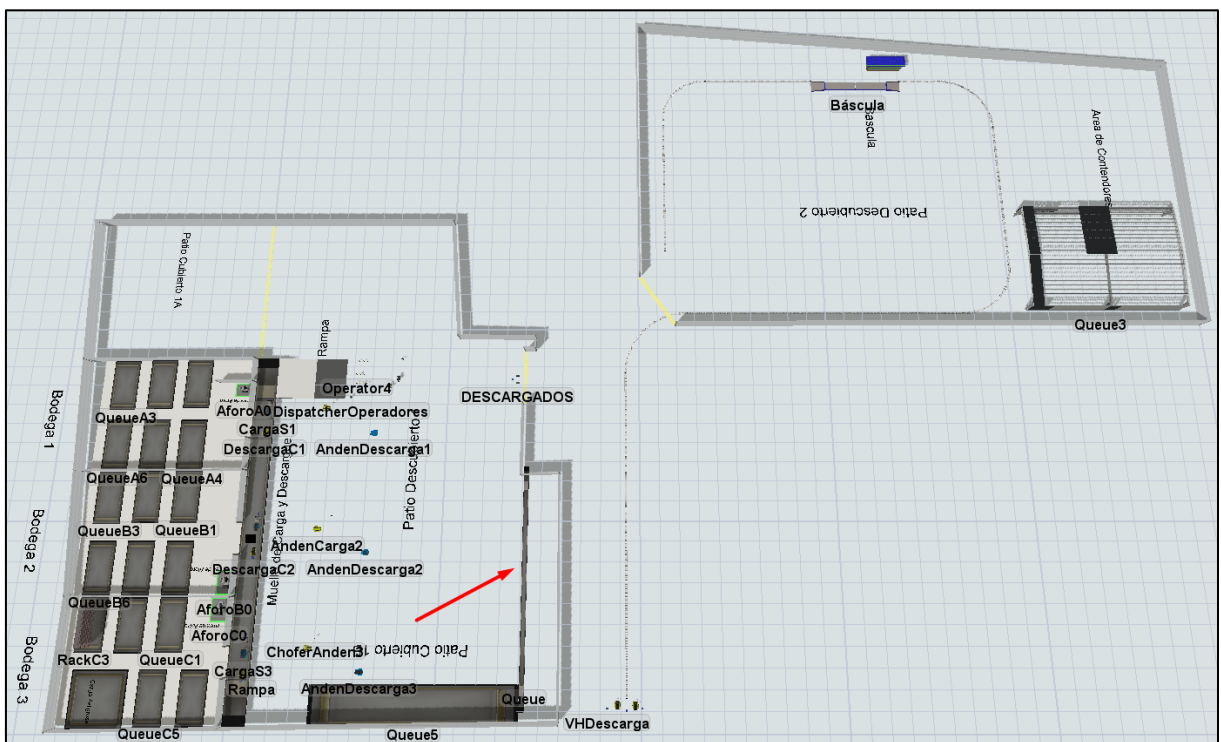


Figura 51. Posición de Queues en el modelo completo

- Recursos

Se programaron diez operadores y cuatro montacargas iniciales que son suministrados al proceso de almacenamiento de la bodega a través de dos Dispatchers (ejecutores de tareas) individuales que controlan cada tipo de recursos, tal como se ilustra en la Figura 52 y 53.

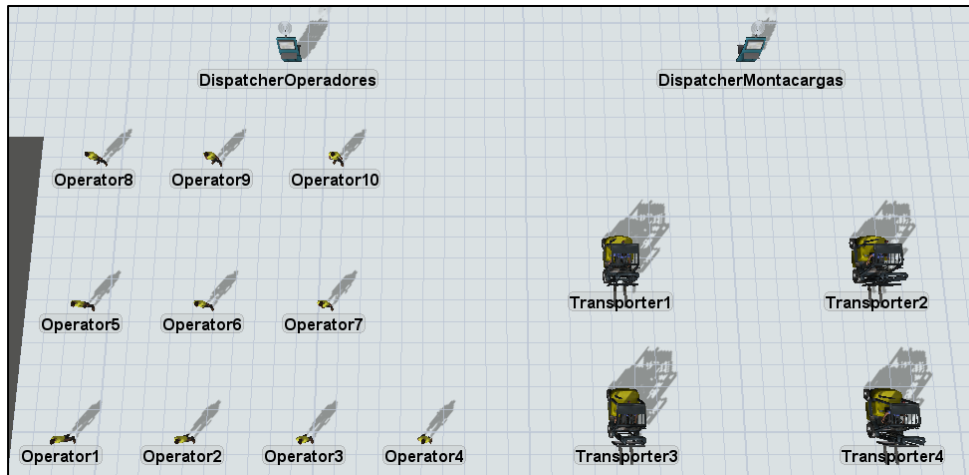


Figura 52. Posición de Recursos en el modelo

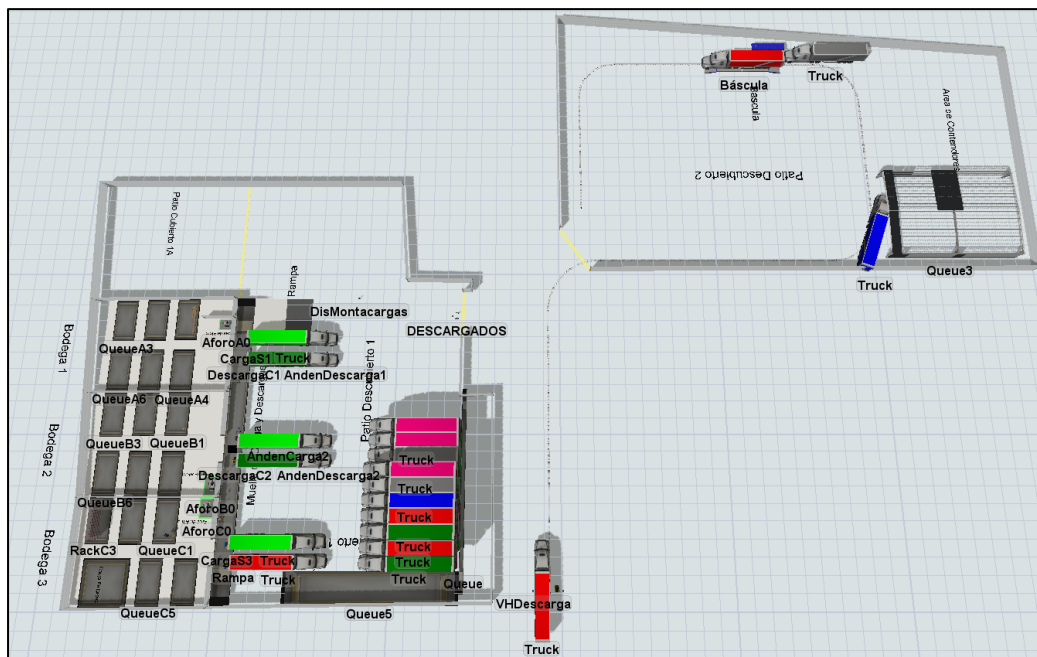


Figura 53. Modelo final en movimiento

4.1.4.3. Variables e indicadores

Al evaluar la productividad del modelo los resultados de la simulación se van a basar en el rendimiento de los recursos utilizados y su relación con los productos producidos al final de la corrida. Para esto se establecieron las siguientes variables e indicadores:

Variables:

- Número de operadores
- Número de montacargas

Indicadores:

- Número de vehículos descargados
- Número de vehículos cargados
- Número de vehículos procesados
- Número promedio de vehículos en cola
- Tiempo promedio de espera de los vehículos en cola
- Porcentaje de utilización de los operadores
- Porcentaje de utilización de los montacargas
- Porcentaje de procesamiento de vehículos

4.1.4.5. Resultados del Escenario Inicial

Los tipos de *dashboards* utilizados para el análisis de los resultados de la simulación en sus distintas fases y escenarios son del tipo: *Throughput*, estos realizan una sumatoria de los elementos procesados en la herramienta donde se aplica este tipo de configuración; *Average*, estos calculan un promedio de los elementos procesados en la herramienta donde se ejecuta esta configuración; y *State Bar* que ilustra el estados de los recursos seleccionados con parámetros seleccionados según la necesidad de análisis. La Figura 54 representa las estadísticas del modelo después de ejecutarlo durante 8 horas.

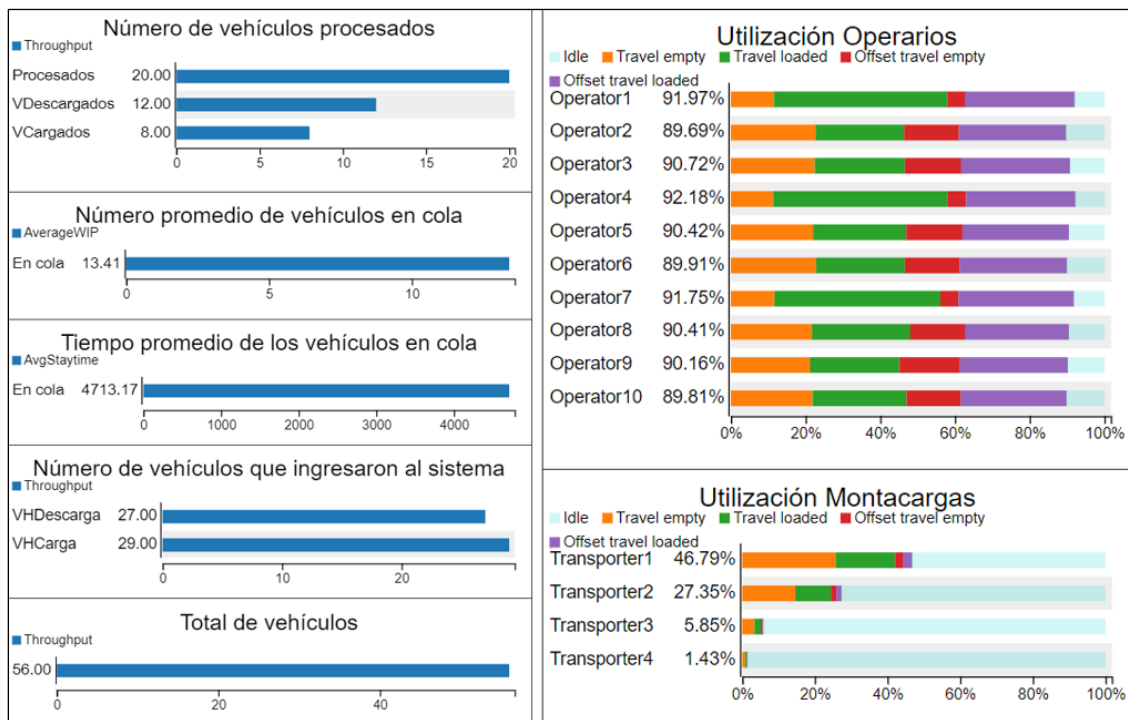


Figura 54. DashBoard, Columnas agrupadas. Escenario Inicial

Se observa que para el "Escenario Inicial" ingresan un total de 56 vehículos, 27 destinados para el proceso de descarga y 29 para el de carga, de los cuales se procesan 20 vehículos en total, 12 vehículos que fueron descargados y 8 cargados. Como resultado de esto se obtiene que la capacidad de procesamiento de vehículos de la empresa fue de 35.71 %.

El número promedio de vehículos que permanecieron en cola fue de 13,41 vehículos, con un tiempo promedio de espera de 4713.17 segundos (1hora 18 minutos y 33 segundos).

El rendimiento de los recursos del *Escenario Inicial* se observa en la Figura 54. Este es representado en porcentaje de utilización, el cual para cada uno de los 10 operadores se muestra superior al 89 %. Contrario a lo que ocurre con los 4 montacargas donde se observa un desequilibrio en la distribución de la utilización de este recurso.

Claramente se puede señalar que los montacargas 1 y 2 son los que más actividad tienen, con porcentajes de utilización de 46.79 % y 27.35 % respectivamente. Y con

5.85 % y 1.43 % están los montacargas 3 y 4 siendo los menos utilizados durante el proceso.

- Experimenter

Se hace uso de la herramienta *Experimenter* que ofrece el software para establecer distintos escenarios del modelo. Estos escenarios tienen variación en el número de recursos que se suministran al sistema: número de operadores y número de montacargas.

Simulation Experiment Control		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
OPERADORES	Nr TEs in Team /DispatcherOperadores	10	11	12	13	10	11	12	13
MONTACARGAS	Nr TEs in Team /DispatcherMontacargas	3	3	3	3	2	2	2	2

Figura 55. Input de recursos para los Escenarios

En total se simulan ocho escenarios donde para cada una de sus variables son modificadas de manera que tengan congruencia tanto con el modelo de simulación como con el proceso real.

Con base en los resultados presentados, la Figura 55 ilustra la información para cada uno de los escenarios, el cual se la realiza a partir de la disminución para el número de montacargas debido al bajo porcentaje de utilización para dos de estas máquinas.

Cada uno de los escenarios tiene un total de diez replicaciones para obtener resultados más precisos y cercanos al sistema real, para ello se calcula siguiendo el siguiente proceso:

1. Se inicia calculando el intervalo de confianza muestral, el cual va a permitir calcular el valor de la variable de la muestra con relación al rango de tiempo de llegada de vehículos a la bodega.

$$\bar{X} - t_{\frac{\infty}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \leq u \leq \bar{X} + t_{\frac{\infty}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

X= media muestral = 1334.48

S= desviación muestral = 2062.54

n= número de replicas = muestra de datos = 29

$t_{\infty/2}$ = nivel de confianza 95 % \rightarrow 1.96

Datos obtenidos de la muestra del tiempo de llegada de vehículos a la bodega.

- Media muestral = 1334.4
- Desviación muestral = 2062.5

$$\langle M \rangle_{1-\alpha} = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$\langle M \rangle_{95\%} = 1334.48 + 1.96 \frac{2063.54}{\sqrt{29}} = 2085.17$$

$$\langle M \rangle_{95\%} = 1334.48 - 1.96 \frac{2063.54}{\sqrt{29}} = 583.79$$

- Límite superior: 2085.17 segundos
- Límite inferior: 583.79 segundos

Esto límites indican entre que intervalo de tiempo arriban los vehículos a la bodega en un día de trabajo con una jornada de 8 horas.

2. Para encontrar el número de replicas del modelo según los datos de la muestra, se aplica la siguiente formula:

$$n' = \left[\frac{(Z_{\alpha/2})S}{e} \right]^2$$

Donde:

$Z_{\alpha/2}$ = corresponde al valor de confianza 95 % \rightarrow 1.96

S= desviación muestral = 2062.54

e = error (corresponde al rango de tiempo de llegadas de un vehículo a la bodega, tomando como referencia el cálculo del intervalo de confianza).

$$n' = \left[\frac{1.96 \cdot 2062.54}{1300} \right]^2 = 9.67 \rightarrow 10 \text{ replicaciones}$$

Este resultado indica que se debe replicar 10 veces el experimento para los escenarios propuestos, para tener un nivel de confianza del 95 % de que los vehículos arriben cerca de los 1300 segundos de la verdadera media que es desconocida.

- Programación de los indicadores de productividad

Se la realiza dentro de la opción *Performance Measures*: número de vehículos descargados, número de vehículos cargados, número promedio de vehículos en cola y tiempo promedio de espera de los vehículos en cola. Se establece, además, indicadores de rendimiento que van a evaluar el porcentaje de utilización de los recursos implementados dentro del modelo.

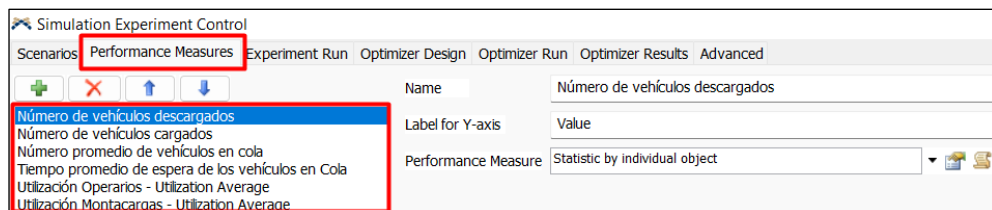


Figura 56. Configuración de indicadores de productividad

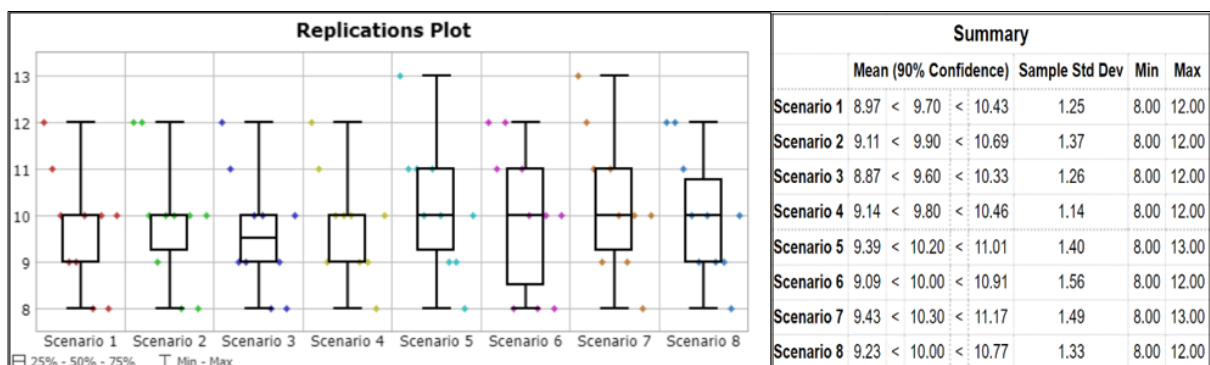


Figura 57. Resumen de resultados 'Número de vehículos descargados'

Seguendo la Figura 57 se observa que, para cada escenario se observa que el número de replicaciones inician con un mínimo en común que es de 8 vehículos descargados y un máximo de 12 a excepción del Escenario 5 y del Escenario 7 que llegan a un máximo de 13 vehículos descargados.

El promedio de vehículos descargados más favorable para el sistema se obtuvo en las replicaciones del Escenario 5 y del Escenario 7, el cual sus promedios fueron 10.20 y 10.30 respectivamente.

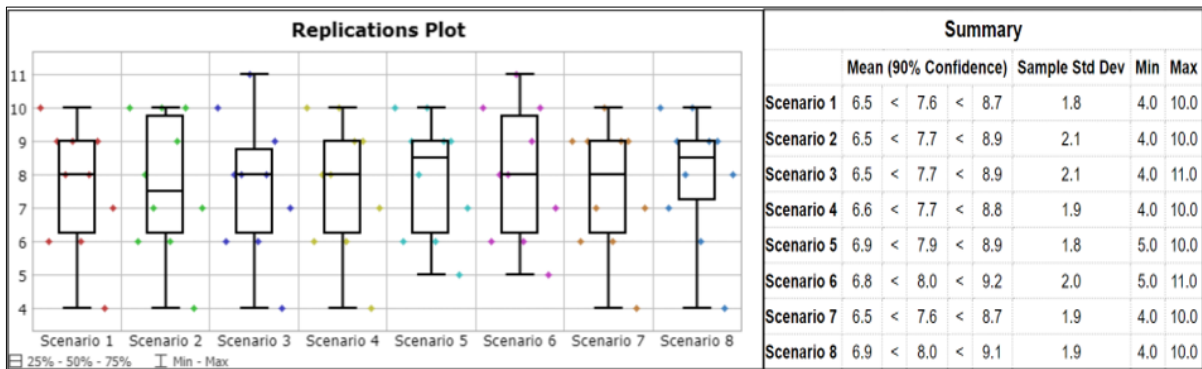


Figura 58. Resumen de resultados 'Número de vehículos cargados'

En cada escenario se observa que el número de replicaciones inician con un mínimo de 4 vehículos cargados, a excepción del Escenario 5 y del Escenario 6 cuyos mínimos inician en 5. Asimismo, el número máximo de vehículos cargados fue de 11 para el Escenario 3 y Escenario 6, mientras que para los escenarios restantes obtuvieron un máximo de 10.

El promedio de vehículos cargados más favorable para el sistema se obtuvo en las replicaciones del Escenario 5, Escenario 6 y Escenario 8 cuyos promedios fueron 7.9, 8 y 8 vehículos respectivamente.

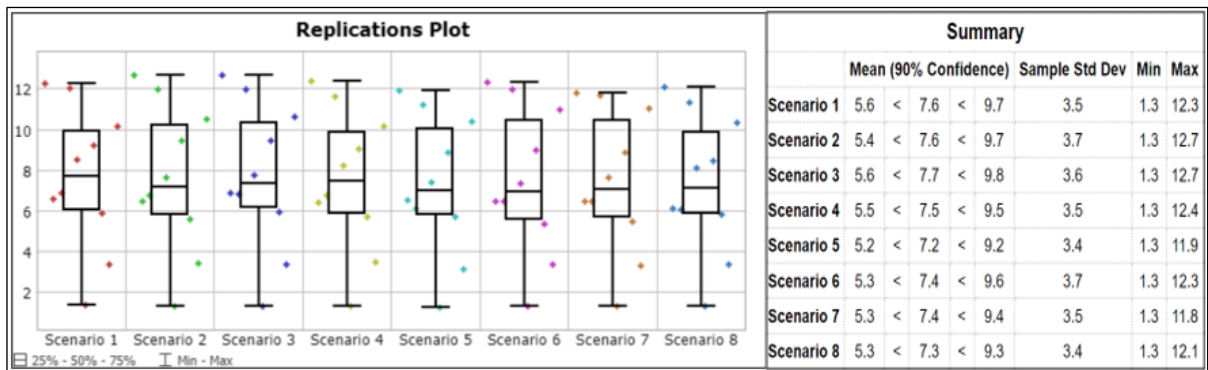


Figura 59. Resumen de resultados 'Promedio de vehículos en cola'

Para cada escenario se observa que el mínimo de vehículos en cola es 1.3. Por otro lado, para el número máximo de vehículos en cola fue de 12.7 correspondiente al Escenario 2 y Escenario 3, de 12.4 para el Escenario 4, de 12.3 para el Escenario 1 y Escenario 6, 12.1 para el Escenario 8, 11.9 para el Escenario 5 y 11.8 para el Escenario 7.

El promedio de vehículos en cola más favorable para el sistema se obtuvo en las replicaciones del Escenario 5 y Escenario 7 cuyos promedios fueron 11.9 y 11.8 respectivamente.

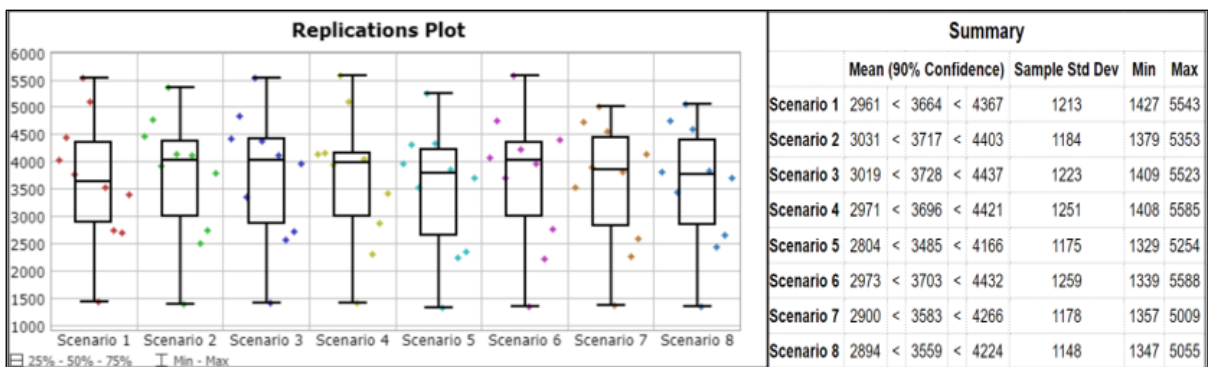


Figura 60. Resumen de resultados 'Vehículos en cola'

Para los 8 escenarios simulados se observa que para el tiempo de espera en cola su mínimo queda por debajo de los 1450 segundos (24 minutos y 10 segundos) y un máximo que se acerca a los 5600 segundos (1 hora 33 minutos y 20 segundos).

El tiempo promedio de espera de los vehículos en cola más favorable para el sistema se obtuvo en las replicaciones del Escenario 5 y del Escenario 8 cuyos promedios de

tiempo son 3485 segundos (58 minutos y 05 segundos) y 3559 segundos (59 minutos y 19 segundos) respectivamente.

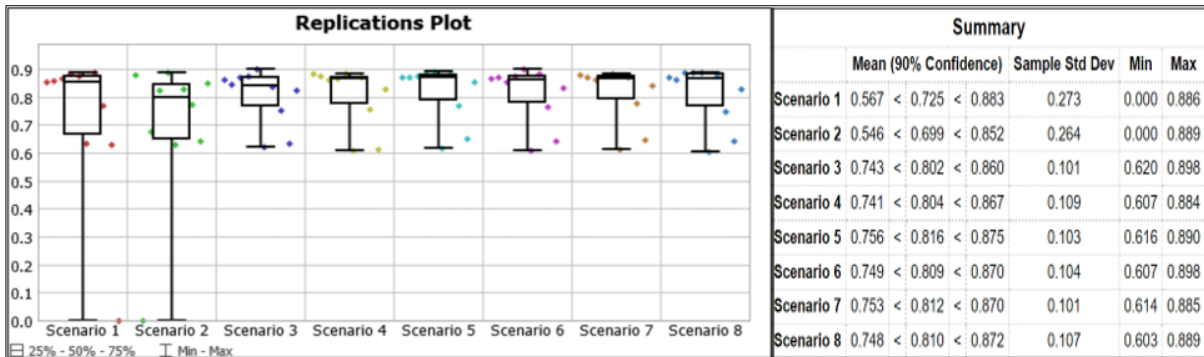


Figura 61. Resumen de resultados 'Rendimiento de operarios'

En los escenarios 1 y 2 se aprecia que hubo una replicación que tuvo un porcentaje de utilización mínimo de los operadores nula y para los escenarios entre el 3 y el 8 el porcentaje de utilización mínimo de los operadores que resultó de las replications fue de al menos un 60 % y el porcentaje de utilización máximo para los 8 escenarios llega hasta un 89.80 %.

El porcentaje de utilización más significativo para el sistema se obtuvo en las replications del Escenario 5 y del Escenario 7 cuyos promedios de utilización son 81.60 % y 81.20 % respectivamente.

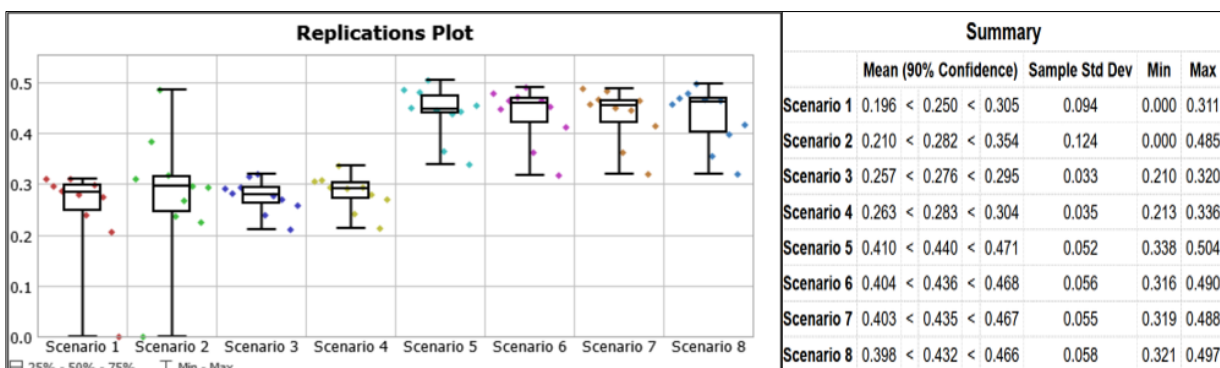


Figura 62. Resumen de resultados

En los escenarios 1 y 2 se aprecia que hubo una replicación que tuvo un porcentaje de utilización mínimo de los operadores nula y para los escenarios entre el 3 y el 8 el

porcentaje de utilización mínimo de los montacargas que resultó de las replicaciones fue de al menos un 20 % y el porcentaje de utilización máximo para los 8 escenarios llega hasta un 50.40 %.

El porcentaje de utilización más significativo para el sistema se obtuvo en las replicaciones del Escenario 5 y del Escenario 6, el cual sus promedios de utilización son del 44 % y 43.60 % respectivamente.

4.1.4.6. Escenario Propuesta

De los resultados presentados anteriormente se determina que para cada uno de los reportes obtenidos del *Experimenter*, el Escenario 5 es el que presenta los resultados óptimos para los indicadores planteados. Los resultados satisfactorios obtenidos en el Escenario 5 son medidos frente a los obtenidos en el Escenario Inicial.

Se presenta una reducción considerable en lo que respecta a los indicadores: número promedio de vehículos en cola y tiempo promedio de los vehículos en cola, del primer indicador de 13.41 a 7.2 vehículos en cola, mientras que para el segundo indicador de 4713.17 segundos (1 hora 18 minutos y 33 segundos) a 3485 segundos (58 minutos y 05 segundos).

Sin embargo, los resultados obtenidos en lo que respecta al número promedio de vehículos descargados disminuye en dos unidades de 12 a un promedio de 10.2, así mismo, para el número promedio de vehículos cargados sus resultados se mantienen constantes, siendo 8 en el Escenario *Inicial* y un promedio de 7.9 para el Escenario 5. Como resultado de esto se obtiene que la capacidad de procesamiento de vehículos resultante del Escenario 5 fue de 32.32 %, por debajo en comparación al Escenario Inicial (35.71 %).

Por esto y por los intereses propios de la empresa se busca simular un modelo que mejore la capacidad de procesamiento de vehículos que ingresan a la bodega.

Como se observa en la Figura 63, la diferencia de este Escenario Propuesta con el Escenario Inicial radica en establecer una nueva distribución de los recursos, con la finalidad de que cada bodega tenga a disposición un mismo número de operadores y montacargas para procesar los vehículos que ingresan.



Figura 63. Distribución de recursos para el modelo *Propuesta*

Los recursos planteados para este escenario cuentan con un total de nueve operadores distribuidos en grupos de tres para cada una de las tres bodegas con las que cuenta la empresa, estos son suministrados por un *Dispatcher* individual para cada grupo de operadores.

Por otro lado, para el caso de los montacargas se mantiene la misma mecánica, los tres existentes son distribuidos para cada una de las tres bodegas y suministrados por *Dispatchers* individuales para cada bodega.

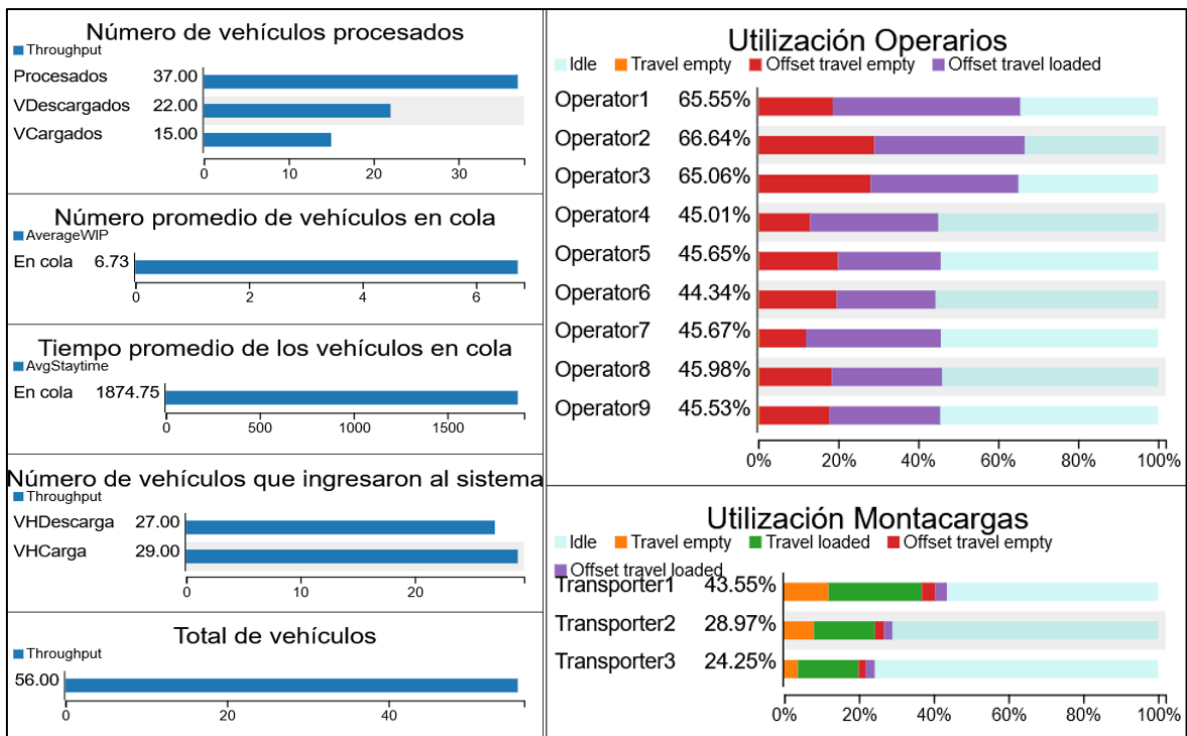


Figura 64. Resultados generales del Escenario *Propuesta*

La Figura 64 ilustra que, para el “Escenario Propuesta” ingresan un total de 56 vehículos, 27 destinados para el proceso de descarga y 29 para el de carga, de los cuales se procesan 37 vehículos en total, 22 vehículos que fueron descargados y 15 cargados. Como resultado de esto se obtiene que la capacidad de procesamiento de vehículos de la empresa fue de 66.07 %.

El número promedio de vehículos que permanecieron en cola fue de 6.73 vehículos, con un tiempo promedio de espera de 1874.75 segundos (31 minutos y 15 segundos).

Asimismo, el rendimiento de los recursos del Escenario Propuesta se observa en la Figura 64. Este es representado en porcentaje de utilización, el cual para cada uno de los 9 operadores se muestra superior al 44 % y para los 3 montacargas se observa un porcentaje superior al 24 %.

Total vehículos	56	TABLA RESUMEN DE RESULTADOS									
		VARIABLES		INDICADORES							
		Operadores	Montacargas	Número promedio de vehículos descargados	Número promedio de vehículos cargados	Total de vehículos procesados	Número promedio de vehículos en cola	Tiempo promedio de los vehículos en cola (h:mm:ss)	Utilización de operadores %	Utilización de montacargas %	Procesamiento de vehículos %
Inicial	10	4	12	8	20	13,41	1:18:33	90,70%	20,36%	35,71%	
Escenario 1	10	3	✗ 9,7	✗ 7,6	✗ 17,3	✗ 7,6	✗ 1:01:04	✗ 72,50%	✗ 25,00%	✗ 30,89%	
Escenario 2	11	3	⚠ 9,9	✗ 7,7	⚠ 17,6	✗ 7,6	✗ 1:01:57	✗ 69,90%	✗ 28,20%	⚠ 31,43%	
Escenario 3	12	3	✗ 9,6	✗ 7,7	✗ 17,3	✗ 7,7	✗ 1:02:08	✓ 80,20%	✗ 27,60%	✗ 30,89%	
Escenario 4	13	3	✗ 9,8	✗ 7,7	✗ 17,5	⚠ 7,5	✗ 1:01:36	✓ 80,40%	✗ 28,30%	✗ 31,25%	
Escenario 5	10	2	✓ 10,2	✓ 7,9	✓ 18,1	✓ 7,2	✓ 0:58:05	✓ 81,60%	✓ 44,00%	✓ 32,32%	
Escenario 6	11	2	⚠ 10	✓ 8	✓ 18	⚠ 7,4	✗ 1:01:43	✓ 80,90%	✓ 43,60%	✓ 32,14%	
Escenario 7	12	2	✓ 10,3	✗ 7,6	✓ 17,9	⚠ 7,4	⚠ 0:59:43	✓ 81,20%	✓ 43,50%	✓ 31,96%	
Escenario 8	13	2	⚠ 10	✓ 8	✓ 18	✓ 7,3	✓ 0:59:19	✓ 81,00%	✓ 43,20%	✓ 32,14%	
Propuesta	9	3	22	15	37	6,73	0:31:15	52,27%	32,26%	66,07%	

Figura 65. Comparación de resultados para cada Escenario

La Figura 65 presenta un resumen de los resultados de los escenarios que obtuvieron los mejores números de rendimiento en cada uno de los indicadores propuestos: "Escenario Inicial", "Escenario 5" y "Escenario Propuesta".

El Escenario Inicial comienza su ejecución con las configuraciones de recursos en 10 operadores y 4 montacargas obteniendo al final de la simulación un total de 20 vehículos procesados, representando el 35.71 % de procesamiento.

El Escenario 5 comienza su ejecución con las configuraciones de recursos en 10 operadores y 2 montacargas con un número de 10 replicaciones durante la simulación, obteniendo al final un promedio total de 20 vehículos procesados, representando en promedio un 32.32 % de procesamiento.

El Escenario Propuesta comienza su ejecución con las configuraciones de recursos con 9 operadores y 3 montacargas distribuidos entre cada bodega disponible, obteniendo al final de la simulación un total de 37 vehículos procesados, representando un 66.07 % de procesamiento y posicionándose como el escenario ideal para el sistema.

Total vehículos	56	TABLA RESUMEN DE RESULTADOS					
		VARIABLES		INDICADORES			
		Operadores	Montacargas	Número promedio de vehículos descargados	Número promedio de vehículos cargados	Total de vehículos procesados	Número promedio de vehículos en cola
Inicial	10	4	12	8	20	13,41	1:18:33
Propuesta	9	3	22	15	37	6,73	0:31:15
PORCENTAJE DE MEJORA			83,33%	87,50%	85,00%	50,19%	39,78%

Figura 66. Comparación de mejora del escenario inicial vs propuesta

En la Figura 66 se muestra el porcentaje de mejora que se obtuvo al comparar los resultados del Escenario Inicial con los resultados del Escenario Propuesta en los principales indicadores analizados en la simulación.

En lo que respecta al número promedio de vehículos descargados, se obtuvo una mejora del 83.33 % pasando de 12 a 22 vehículos en total. En el indicador número promedio de vehículos cargados se obtuvo una mejora del 87.50 % aumentando de 8 a 15 vehículos en total. En el total de vehículos procesados se obtuvo una mejora del 85 % aumentando en 17 vehículos los resultados del Escenario Inicial pasando de 20 a 37 vehículos.

El número promedio de vehículos en cola reduce significativamente en un 50.19 % con respecto al Escenario Inicial, de igual forma se reduce el tiempo de espera de los vehículos en cola en un 39.78 % pasando de un tiempo de espera de 1 hora 18 minutos y 33 segundos a una espera de 31 minutos y 15 segundos.

Con base en estos resultados se acepta la idea a defender dado que el modelo de simulación digital presenta mejoras importantes en los indicadores de rendimiento analizados para el proceso de almacenamiento de la bodega Aduanor.

4.2. DISCUSIÓN

El sistema de la bodega Aduanor fue modelado e interpretado identificando cada uno de sus componentes de sus eventos, dando una descripción detallada para su sistema de almacenaje de mercancías. Así, se pudo determinar su estructura y observar su conducta (interacciones) una vez establecidas cada una de sus variables: cambio de tiempos de ocurrencia, atributos, acumuladores estadísticos, etc., con el propósito de crear, planificar, pronosticar y controlar distintos escenarios replicados que aporten a diferentes soluciones en efectos presentes para modelos futuros sustentables y óptimos, por lo que las nuevas metodologías logísticas hacia cada uno de los eslabones de la cadena de suministro pretenden volverla más fluida, segura, competitiva y lo menor manual posible. El sistema logístico futuro apunta a comprender, interpretar, predecir, optimizar y mejorar los modelos matemáticos en

su operatividad; generando un impacto positivo en las empresas que componen la logística integral y la reducción de riesgos de inversión.

Una vez obtenidos los resultados de la ejecución del escenario Base en comparación con el escenario *Propuesta* (este último seleccionado como el ideal para el proceso de almacenamiento), la simulación fue sometida a diferentes réplicas determinadas por las distribuciones de probabilidad para un mejor acercamiento a la realidad y correcto funcionamiento del modelo. La confiabilidad de la simulación pudo evidenciar que, para la medida de rendimiento de 'Número de vehículos descargados' su nivel de rendimiento promedia el 80 %, pues del total que son 27 los vehículos para descarga que ingresan a la bodega, 22 son procesados; por otro lado, para el indicador 'Número de vehículos cargados' su nivel de rendimiento es más del 50 %, pues del total que son 29 los vehículos que ingresan al sistema, 15 de ellos son procesados. Así pues, el nivel de rendimiento mejora significativamente en comparación con el escenario actual del sistema, sin olvidar que, además, se están reduciendo recursos de personal y maquinarias, generando un impacto significativo en cuanto a costos logísticos para la bodega, lo que conlleva a una logística eficiente en cuanto a la modificación del sistema real, así como lo afirma Gaudiani (2016).

La meta de la simulación digital para el campo logístico según Goicochea (2019) es minimizar gastos y riesgos innecesarios, por medio del uso de técnicas de simulación que permitan analizar el impacto de cambios o modificaciones al sistema, sin embargo, para la bodega Aduanor se puede evidenciar que muchos recursos no son distribuidos con un fin estratégico. Es por ello que, durante la ejecución del modelo para los diferentes escenarios, se observa que en el sistema actual los operarios trabajan en un promedio de rendimiento por arriba del 89 %. Sin embargo, gran parte de ese porcentaje es tiempo de "recorrido vacío" (movimiento de operarios sin mercancía) el cual implica un desgaste innecesario para los operarios. Por otro lado, para la ejecución del escenario *Propuesta* se observa que el promedio de rendimiento queda por arriba del 55 % pero suprimiendo este tiempo de "recorrido vacío".

Asimismo, para las máquinas correspondiente al montacargas el porcentaje de rendimiento varía significativamente para cada una de estas tal es el caso del *Transporter 1* el cual llega a tener un rendimiento del 46.79 %, *Transporter2* al 27.35 %,

Transporter3 al 5.85 % y para el *Transporter4* apenas el 1.43 %. Así pues, es evidente que la distribución de trabajo para los montacargas no es la más adecuada, ya que para las dos últimas máquinas mencionadas respectivamente su tiempo de inactividad es menor del 5 %. Por otro lado, en comparación con el escenario Propuesta este indicador de inactividad se elimina, además de que la distribución de trabajo se equilibra para las tres máquinas, siendo estos para el *Transporter1* al 43.5%, para el *Transporter2* 28.97 % y el *Transporter3* 24.25 %. Estos resultados coinciden con la investigación de Wang (2016), que por su parte por medio del modelo matemático y simulación digital logran disminuir el tiempo de inactividad con las máquinas de ensamblaje en un 60 % por medio de la simulación.

Realizar grandes cambios en el sistema real involucra riesgo de inversión, quedando en una incertidumbre por los resultados que lleguen a presentarse. Es por ello que por medio del modelo matemático basado en *Redes de Petri* se trata de entender, describir, estudiar y mejorar cada uno de los eslabones del flujo de procesos que involucra el almacenamiento. El principio de las *Redes de Petri* trata de garantizar la comunicación de información entre cada una de las partes de los subsistemas del proceso en general, siendo estos: recepción, que no es más que el registro del vehículo previo al ingreso a la bodega; pesaje, el cual el vehículo debe cumplir con el pesaje en báscula gestionado por un operario; descarga, entran diferentes operarios y maquinaria correspondiente según el tipo de vehículo y mercancía abordado para la descarga al vehículo; almacenamiento, mismos operarios y máquinas del proceso de descarga son designados para el almacenaje de la carga en bodega; finalmente la carga, proceso en inversa de la mercancía almacenada, el cual pasa a ser trasladada de bodega hasta el vehículo para su respectiva salida. Como se detalla, cada uno de estos subprocesos tienen diferentes estados según el cambio de variable o marcas que se pueda manipular para cada nodo lugar, con el fin de determinar el mejor flujo hasta llegar a un perfeccionamiento de los procesos, así como lo afirmo Pravia (2016), por medio de su estudio con la determinación de puntos críticos para un mejor control interno del flujo de procesos mediante *Redes de Petri*.

A pesar de contar con instalaciones físicas adecuadas para distintos tipos de mercadería y con la maquinaria necesaria para llevar a cabo cada uno de los

procesos, es evidente que la empresa Aduanor no implementa el uso de nuevas metodologías tecnológicas en su sistema de almacenamiento, ya que se puede detectar que el sistema actual presenta indicadores no rentables en comparación con otros escenarios de la simulación. Es por ello la necesidad que se tiene de analizar, modelar y simular cada una de las métricas y variables del flujo para una mejor toma de decisiones y optimización de recursos y costos. Tal como se menciona en el artículo de Tobar (2017), donde se identifica la relación correcta entre estos modelos heurísticos y aproximaciones de cálculo para la detección en falla y error para procesos operativos.

Aduanor debería poner en práctica los principios de simulación y digitalización de sus procesos para mejorar ese eslabón logístico de almacenamiento, para que al final esta sea más competitiva en cuanto a vanguardia y una mejor experiencia para sus clientes. Así, logra dejar la logística tradicional acoplándose con la digital y técnica, esto para un mejor y fácil funcionamiento con la operativa de las actividades que involucra el almacenaje. Hay que considerar que, toda esta automatización del sistema genera una gran cantidad de data valiosa, que a largo o corto plazo es importante en cuanto a detectar errores en algún proceso y tomar las acciones necesarias al instante, tal como lo menciona Hernández (2016) en su investigación de cuán importante es la predicción por medio de un histórico de datos para una solución a un conjunto de parámetros ya optimizados.

La prueba estadística para la presente investigación se estableció mediante la técnica *T-Student*, misma fue planteada ya que se adapta mejor con los resultados obtenidos de ejecutar el escenario inicial y escenario propuesta del modelo planteado, y así comparar los dos grupos de datos independientes y determinar si existe una diferencia significativa entre estas.

La prueba de verificación *T-Student* presentada en la Tabla 20 se basa al diseño de experimentos y recopilación de los resultados obtenidos. Tras el caculo para cada uno de los parámetros de la prueba estadística se llega a la siguiente decisión:

- Parámetros:

$$t = \text{estadístico de prueba} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_C^2}{n_1} + \frac{s_C^2}{n_2}}}$$

$$s_C^2 = \text{varianza agrupada} = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$\text{valor crítico de } t \text{ (dos colas)} = t\left(1 - \frac{\alpha}{2}, (n_1 + n_2 - 2)\right)$$

- Donde:

$$\bar{X}_1 = 13.25; \bar{X}_2 = 20$$

$$n_{1,2} = 24$$

$$s_1^2 = 19.5; s_2^2 = 134.08$$

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 20. Prueba de verificación de hipótesis

	Escenario Inicial	Escenario Propuesta
Media	13.25	20
Varianza	19.5	134.0869565
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	76.79347826	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	-2.668285072	
P(T<=t) una cola	0.005247037	
Valor crítico de t (una cola)	1.678660414	
P(T<=t) dos colas	0.010494074	
Valor crítico de t (dos colas)	2.012895599	
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula	

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Una vez analizada la información de las encuestas y con el propósito de conocer la situación actual de la empresa Aduanor, se determina que, esta cuenta las instalaciones, maquinaria y recursos apropiados para desarrollar un correcto proceso de almacenamiento, que involucra sus procesos de carga y descarga. Gracias a esto, se observa un flujo adecuado en sus procesos y por lo tanto en la capacidad de satisfacer la demanda de sus servicios
- El modelo matemático basado en Redes de Petri establece el comportamiento de cada uno de los puntos críticos del flujo del sistema de la bodega Aduanor, su representación gráfica modela y analiza las propiedades del proceso de almacenamiento y sus subsistemas involucrados; carga, descarga y almacenamiento. Gracias a esto se determina que dicha representación sigue un flujo de tipo secuencial lo que quiere decir que en este sistema las sentencias o procesos se ejecutan uno después del otro. Además, se observa que el número de estados para la Red del sistema es finito, lo que implica que la representación de la red es de tipo acotada.
- La simulación de distintos escenarios por medio del uso de herramientas digitales permitió conocer el comportamiento del sistema cuando este sufre una variación en el número de recursos que se emplea al momento de llevar a cabo sus procesos, variación que ayudó a determinar el escenario ideal conforme a su rendimiento con los indicadores establecidos.
- El escenario óptimo (Propuesta) presentó las mejores estadísticas en relación con las medidas de rendimiento establecidas. Estas obtenidas gracias a que se logró suministrar los recursos de forma equilibrada para cada área, es decir tres operarios y un montacargas designados para cada bodega.
- El uso de un modelo de simulación de eventos discretos, para el proceso de almacenamiento, ha permitido evaluar las distintas variables y determinar

- mejoras en el sistema, el cual permitirá tener un incremento en el porcentaje de rentabilidad cumpliendo con las exigencias de la demanda

5.2. RECOMENDACIONES

- Aduanor debe optar por hacer uso de herramientas digitales tomando en cuenta el desarrollo de la presente investigación, con el fin de estandarizar y automatizar el flujo de sus procesos de almacenamiento y de garantizar un servicio de calidad para sus clientes.
- Antes de simular cualquier sistema real es importante aplicar cada uno de los componentes de un sistema de simulación, estos son: definir el sistema, que detalla el objetivo de la simulación; plan general del proyecto, que determina el uso de herramientas (softwares) en el desarrollo de la simulación; recolección de datos, para la obtención de datos referentes con las variables definidas del sistema real; construcción del modelo, programar o configurar cada uno de los recursos, dictando un punto de partida y finalización; validación, seleccionar los escenarios más ideales que estén más ligados con la realidad, esto por medio de la experimentación; interpretación de resultados, aclarar cada uno de los resultados obtenidos a través de los indicadores de rendimiento programados para cada recurso; toma de decisiones, el accionar de los resultados interpretados aplicados ya en el sistema real. Cumplir con cada uno de estos procesos tiene el fin de que el modelo a desarrollar tenga una comprensión total de todo el sistema de tal manera que el mismo sea lo más cercano posible al sistema en estudio.
- La empresa Aduanor debe implementar programas de capacitación sobre el correcto uso y manejo de herramientas tecnológicas dirigida a sus operarios, con el fin de mejorar el rendimiento para cada una de sus actividades, además de tener una mayor certeza con la toma de decisiones que involucra el sistema operativo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Auris Goicochea, J. M. D. S. M., & Solano Castro, M. S. (2019). *Propuesta de distribución de Planta basado en el simulador FlexSim para reducir los tiempos de Espera en la empresa Eléctrica Optimización SA, SJL, 2019* [Tesis profesional, UCV]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle>
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-event system simulation*. Pearson.
<https://bayanbox.ir/view/2964535763283208541/DESS-JBanks-4thEd.pdf>
- Beaverstock, M., Greenwood, A., & Nordgren, W. (2017). *Applied Simulation Modeling and Analysis Using FlexSim, 5th edn*. FlexSim Software Products.
<https://acortar.link/WX0cNE>
- Blanco Rivero, L. E., & Fajardo Piedrahíta, I. D. (2003). Applications In Logistics Using Simulation With Promodel. *LACCEI,2,1-6*.
<https://acortar.link/zDX6XP>
- Brito Moreno, L. A. (2019). *Uso de depósito aduanero para la optimización operativa de PYMES, en la ciudad de Guayaquil* [Tesis doctoral, UTEG]. DSpace.
<http://biblioteca.uteg.edu.ec:8080/handle/123456789/995>
- Chao, G., Hurst, E., & Shockley, R. (2018). The evolution of process automation. *IBM Institute for Business Value*.
<https://www.ibm.com/downloads/cas/QAQMGRGVN>
- Chen, J., Zhou, G., Chen, L., Wang, Y., Wang, X., & Zeng, S. (2016). Interaction of graphene and its oxide with lipid membrane: a molecular dynamics simulation study. *The Journal of Physical Chemistry C*.
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jpcc.5b10635>

- Gaudiani, A. A., Luque, E., García, P., Naiouf, M., & De Giusti, A. E. (2016). Optimización y computación paralela aplicados a mejorar la predicción de un simulador de cauce de ríos. *CACIC*, *XXII*, 1-10.
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/55991>
- Coronado Hernández, J. R. (2016). *Análisis del efecto de algunos factores de complejidad e incertidumbre en el rendimiento de las Cadenas de Suministro. Propuesta de una herramienta de valoración basada en simulación* [Tesis Doctoral, UPV]. RiuNet-UPV.
<https://riUNET.upv.es/handle/10251/61467>
- Clarke, B. M., Upton, A. R., Kamath, M. V., Al-Harbi, T., & Castellanos, C. M. (2006). Transcranial magnetic stimulation for migraine: clinical effects. *The journal of headache and pain*, *7*(5), 341-346.
[ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/161468174/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/161468174/)
- Dunna, E. G., Reyes, H. G., & Barrón, L. E. C. (2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Pearson Educación.
<https://acortar.link/JI7iYF>
- Escudero Serrano, M. J. (2019). *Logística de almacenamiento 2*. Ediciones paraninfo.
<https://acortar.link/fgAinq>
- Exojo, A. M. H., Varela, A. C., y Teresa Revilla Rivas. (2013). *Animación en el punto de venta*. McGraw-Hill/Interamericana de España.
<https://www.academia.edu/download/56433096/Animacion-en-el-Punto-de-Venta-McGraw-Hill.pdf>
- Herrera, O. J., & Becerra, L. A. (2014). Diseño General de las Etapas de Simulación de Procesos con Énfasis en el Análisis de Entrada. In *12th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, *7*, 1-10.
<https://acortar.link/dT7u8n>
- Murata, T. (1989). Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*, *77*(4), 541-580.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/24143/>
- Noega Systems. (2016, julio 19). Tipos de carga que podemos encontrar en un almacén. *Almacenaje*.
<https://www.noegasystems.com/blog/almacenaje/tipos-de-carga-almacenamiento>

- Peña Guerrero, E. A., & Forero Forero, E. (2012). *Modelo de simulación del proceso de almacenamiento y distribución en la bodega de la distribuidora de papel de la empresa Muebles y Accesorios SA., para el mejoramiento de su sistema de inventarios* [Tesis Profesional, ULC]. Universidad Libre-ULC.
<https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/9271>
- Piera, M. À. (2004). *Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Edicions UPC.
<https://acortar.link/UX1yMj>
- Pikara, G. (2014). Metodología de la investigación, Método Inductivo y Deductivo. *Slideshare*.
<https://www.slideshare.net/pikaragabriela/metodologa-de-la-investigacin-35727551>
- Salazar, B. (2019). Diseño y layout de almacenes y centros de distribución. *Gestión de Almacenes*.
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-almacenes/disen-y-layout-de-almacenes-y-centros-de-distribucion/>
- Salazar Meza, B. L., & Gonzales Lopez, B. A. (2021). *Propuesta de implementación de Lean Six Sigma para mejorar el proceso productivo de un taller de reparaciones de componentes de equipos mineros en la localidad de Arequipa*. [Tesis Profesional, UCSP]. DSpace-UCSP.
<https://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/20.500.12590/16969>
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. *RH Sampieri*, 11-1.
https://www.academia.edu/download/58257558/Definiciones_de_los_enfoques_cuantitativo_y_cualitativo_sus_similitudes_y_diferencias.pdf
- Sierra, M. P., Martínez, J. S., Benítez, B., Bautista, M., Contreras, A., & Nolasco, M. D. (2012). Tipos de investigación. *UAE*.
<http://virtual.urbe.edu/tesispub/0031040/cap03.pdf>
- Simón, Isaias (2016). *Un primer paso a la simulación con FlexSim*. FlexSim Iberia.
<https://acortar.link/93kCMP>
- Tobar Caicedo, L. F. Estudio de modelos heurísticos para la estimación de la probabilidad de falla de tuberías. *Seneca*, 1-17.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40103/u806644.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valdemoro, S. V., & Ferrer, J. R. (2012). *Gestión de pedidos y stock*. Ministerio de Educación.

https://books.google.com.pe/books?id=1C8bAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Valdés, F. A. R. (2007). Uso de una metodología basada en la simulación para la mejora continua e innovación de los procesos de producción. *Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo*.


<https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/386/1/2007-USO%20DE%20UNA%20METODOLOG%C3%8DA.pdf>

Vega-de la Cruz, L. O., Lao León, Y. O., & Pérez Pravia, M. (2016). Redes de Petri en la determinación de puntos críticos para el control interno. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(4), 219-226.


http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S221836202016000400030

VII. ANEXOS

Anexo 1. Certificado o Acta del Perfil de Investigación



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE COMERCIO INTERNACIONAL, INTEGRACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA EMPRESARIAL
CARRERA DE LOGÍSTICA Y TRANSPORTE
ACTA
DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDEFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ESTUDIANTE: ARCOS FAZMIÑO JOSÉ GABRIEL	CÉDULA DE IDENTIDAD: 0401680335
PERIODO ACADÉMICO: 2022 B	
PRESIDENTE TRIBUNAL: MSC. ARGENIS LISSANDER HEREDIA CAMPAÑA	DOCENTE TUTOR: MSC. IVÁN GABRIEL MAFLA BOLAÑOS
DOCENTE: MSC. IVÁN ALIRIO REALPE CABRERA	

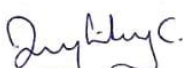
TEMA DEL TIC: "Modelo de simulación y optimización del proceso de almacenamiento en la bodega Aduanar con base en redes de Petró y Simulación Digital"


No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	10,00	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8,67	Describir el enfoque epistemológico (teorías)
3	METODOLOGÍA	8,67	Describir los tipos de investigación explicativa y documental, formular hipótesis y no idea a defender
4	RESULTADOS	10,00	
5	DISCUSIÓN	8,67	Comprobar hipótesis
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	10,00	
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8,67	Mejorar la argumentación y el vocabulario profesional
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	8,67	Mejorar el formato, organización y calidad de la información


Obteniendo una nota de: **9,07** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **viernes, 17 de febrero de 2023**


 MSC. ARGENIS LISSANDER HEREDIA CAMPAÑA
PRESIDENTE TRIBUNAL


 MSC. IVÁN GABRIEL MAFLA BOLAÑOS
DOCENTE TUTOR


 MSC. IVÁN ALIRIO REALPE CABRERA
DOCENTE



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE COMERCIO INTERNACIONAL, INTEGRACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA EMPRESARIAL

CARRERA DE LOGÍSTICA Y TRANSPORTE

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDIFENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

ESTUDIANTE:	BÁEZ JÁTIVA ALDAIR NICOLÁS	CÉDULA DE IDENTIDAD:	0402049878
PERIODO ACADÉMICO:	2022 B		
PRESIDENTE TRIBUNAL	MSC. ARGENIS LISSANDER HEREDIA CAMPAÑA	DOCENTE TUTOR:	MSC. IVÁN GABRIEL MAFLA BOLAÑOS
DOCENTE:	MSC. IVÁN ALIRIO REALPE CABRERA		
TEMA DEL TIC:	"Modelo de simulación y optimización del proceso de almacenamiento en la bodega Aduanor con base en redes de Petli y Simulación Digital"		


No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	10,00	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8,67	Describir el enfoque epistemológico (teorías)
3	METODOLOGÍA	8,67	Describir los tipos de Investigación explicativa y documental, formular hipótesis y no idea a defender
4	RESULTADOS	10,00	
5	DISCUSIÓN	8,67	Comprobar hipótesis
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	10,00	
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8,67	Mejorar la argumentación y el vocabulario profesional
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	8,67	Mejorar el formato, organización y calidad de la información

Obteniendo una nota de: **9,07** Por lo tanto, **APRUEBA** : deblendo el o los investigadores acotar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **viernes, 17 de febrero de 2023**


MSC. ARGENIS LISSANDER HEREDIA CAMPAÑA
PRESIDENTE TRIBUNAL


MSC. IVÁN GABRIEL MAFLA BOLAÑOS
DOCENTE TUTOR


MSC. IVÁN ALIRIO REALPE CABRERA
DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL
DEL CARCHI**

ABSTRACT- EVALUATION SHEET

NAME: José Gabriel Arcos Pazmiño y Aldair Nicolás Báez Játiva

DATE: 23 de febrero de 2023

TOPIC: " Modelo de simulación y optimización del proceso de almacenamiento en la bodega Aduanor con base en redes de Petri y Simulación Digita "

MARKS AWARDED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE

VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic <input checked="" type="checkbox"/>	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic <input type="checkbox"/>	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic <input type="checkbox"/>	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs. <input type="checkbox"/>	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs. <input type="checkbox"/>	Some progression of ideas and supporting paragraphs. <input type="checkbox"/>	Inadequate ideas and supporting paragraphs. <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text <input type="checkbox"/>	The message has been communicated appropriately and identify the type of text <input checked="" type="checkbox"/>	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing <input type="checkbox"/>	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events <input type="checkbox"/>	Good flow of ideas and events <input checked="" type="checkbox"/>	Average flow of ideas and events <input type="checkbox"/>	Poor flow of ideas and events <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement <input type="checkbox"/>	Minor errors when supporting the thesis statement <input type="checkbox"/>	Some errors when supporting the thesis statement <input type="checkbox"/>	Lots of errors when supporting the thesis statement <input type="checkbox"/>
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
TOTAL/AVERAGE	<p>9 - 10: EXCELLENT</p> <p>7 - 8,9: GOOD</p> <p>5 - 6,9: AVERAGE</p> <p>0 - 4,9: LIMITED</p> <p style="text-align: center;">TOTAL 9</p>			



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.

Autor: José Gabriel Arcos Pazmiño y Aldair Nicolás Báez Játiva

Fecha de recepción del abstract: 22 de febrero de 2023

Fecha de entrega del informe: 23 de febrero de 2023

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma inglés. Según los rubrics de evaluación de la traducción en inglés, ésta alcanza un valor de 9, por lo cual se valida dicho trabajo.


Atentamente



El texto digitalizado por:
EDISON BOANERGES
PENAFIEL ARCOS

Ing. Edison Peñañiel Arcos MSc
Coordinador del CIDEN

Anexo 3. Formato Checklist

 DIAGNOSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL PARA LA BODEGA ADUANOR	CÓDIGO	LTT-UP-0120
--	---------------	--------------------

RESPONSABLE DE ÁREA:		FECHA:				
CARACTERÍSTICAS A INSPECCIONAR		OBSERVACIONES	OPCIONES			CANTIDAD
			SI	NO	N/A	NÚMERO
1	MAQUINARIA					
1.1	<i>La bodega cuenta con montacargas manuales</i>					
1.2	<i>La bodega cuenta con montacargas eléctricos</i>					
1.3	<i>La bodega cuenta con básculas</i>					
1.4	<i>La bodega cuenta con apiladoras</i>					
1.5	<i>La bodega cuenta con paletas</i>					
1.6	<i>La bodega cuenta con galpones</i>					
1.7	<i>La bodega cuenta con cintas transportadoras</i>					
1.8	<i>La bodega cuenta con estanterías</i>					
2	ZONAS O ÁREAS		SI	NO	N/A	NÚMERO
2.1	<i>Con cuantas zonas de ingreso cuenta la bodega</i>					
2.2	<i>La bodega cuenta con zona para carga peligrosa</i>					
2.3	<i>La bodega cuenta con zona de recepción</i>					
2.4	<i>La bodega cuenta con zona de almacenamiento</i>					
2.5	<i>La bodega cuenta con zona de carga - descarga</i>					
2.6	<i>La bodega cuenta con zona de picking</i>					
2.7	<i>La bodega cuenta con zona para inspección</i>					
2.8	<i>La bodega cuenta con zona técnica</i>					
2.9	<i>La bodega cuenta con zona administrativa</i>					

3	OPERARIOS		SI	NO	N/A	NÚMERO
3.1	<i>Montacargas Eléctrico</i>					
3.2	<i>Montacargas Manual</i>					
3.3	<i>Manejo de básculas</i>					
3.4	<i>Inspección de Bodega</i>					
3.6	<i>Administrativos</i>					
3.7	<i>Estibadores</i>					
4	TIPOS DE CARGA QUE SE MANEJAN	V/P de carga por Vehículo				
4.1	<i>Carga peligrosa</i>					
4.2	<i>Carga a granel</i>					
4.3	<i>Carga perecedera</i>					
4.4	<i>Carga frágil</i>					
4.5	<i>Carga general</i>					
5	FLOTA VEHICULAR CON LA QUE MANEJA LA BODEGA	V/P por día				
5.1	<i>Turbo</i>					
5.2	<i>Sencillo</i>					
5.3	<i>Doble Troque</i>					
5.4	<i>Trailer</i>					
5.5	<i>Frigorífico</i>					
5.6	<i>Cisterna</i>					
5.7	<i>Portacoches</i>					

Anexo 4. Formato Base de datos operaciones Aduanor

fecfac	numcar	numcpi	placa	tipveh
44544	CEC202178600765	0001293	PAB4436	TURBO
44544	CEC202178890242	0000247	USB580	TURBO
44543	CEC202178182517	007783	IBZ0348	TURBO
44543	CEC202120220951	0002815	ZNM364	TURBO
44543	CEC202179080153	000095	PFB0037	TURBO
44543	CEC202178931343	0000349	PRP920	TURBO
44543	CEC202178931338	0000342	XBB8548	TURBO
44543	CEC202178931337	0000341	CAA1597	TURBO
44543	CEC202179101050	0000103	PRP920	TURBO
44349	CEC202120220293	0002266	CAA1597	TURBO
44543	CEC202179101049	0000092	PRP920	TURBO
44541	CEC202178182545	007970	SDM057	TURBO
44350	CEC202178600289	0001006	PRP920	TURBO
44350	CEC202177840243	001135	CBA3712	TURBO
44350	CEC202177840246	001139	SMM025	TURBO
44350	CEC202120340382	4447	CBA3712	TURBO
44351	CEC202178600289	0001006	PCU0361	TURBO
44351	CEC202120220290	0002261	CAA1597	TURBO
44541	CEC202120220785	0002818	XBB8548	TURBO
44541	CEC202120220951	0002815	ZNM364	TURBO
44541	CEC202178391345	0000350	PRP920	TURBO
44540	CEC202178182546	007976	SDM057	TURBO
44540	CEC202178182314	007940	PWM0492	TURBO
44540	CEC202178182536	007906	PXR002	TURBO
44352	CEC202178170325	0006602	ZNM364	TURBO
44540	CEC202178182528	007886	IBZ0348	TURBO
44540	CEC202140351652	002463	PCD4798	TURBO
44540	CEC202140351651	002462	SAV751	TURBO
44354	CEC202120220259	0002270	PFQ413	TURBO
44540	CEC202178370144	000450	SAV775	TURBO
44354	CEC202178170325	0006602	CBH0206	TURBO
44354	CEC202177840250	001143	SMM025	TURBO
44540	CEC202120220784	0002807	PWZ0753	TURBO
44540	CEC202178931342	0000348	PRP920	TURBO
44355	CEC202120220294	0002267	CAA1597	TURBO
44540	CEC202179101047	0000096	PRP920	TURBO
44539	CEC202120341194	5242	PYI807	TURBO
44355	CEC202136000195	0003218	WCW262	TURBO
44539	CEC202140351047	002458	PCD4798	TURBO
44539	CEC202177840586	001383	SMM025	TURBO
44355	CEC202177840251	001144	SMM025	TURBO
44355	CEC202140350090	002058	PCD4798	TURBO
44539	CEC202136000652	0003694	CAH272	TURBO
44539	CEC202120220785	0002818	CBK710	TURBO
44539	CEC202120220836	0002799	ZNM364	TURBO
44539	CEC202178911767	0001443	PBQ8977	TURBO
44539	CEC202178600765	0001293	PBA2354	TURBO
44539	CEC202179020235	000046	CAA1429	TURBO
44539	CEC202178931338	0000342	HAJ0079	TURBO
44356	CEC202178600291	0001010	PRP920	TURBO
44539	CEC202178931337	0000341	HAJ0079	TURBO
44538	CEC202178361504	0112133225821	SET293	TURBO
44538	CEC202178182527	007872	IBZ0348	TURBO
44538	CEC202120220784	0002807	CAA1429	TURBO