UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE POSGRADO

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

SIMULACIÓN DE PROCESOS Y DESARROLLO DE NUEVOS ESCENARIOS EN UNA TERMINAL MARÍTIMA DE CONTENEDORES

QUE SE PRESENTA PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:
AURELIO LÓPEZ GONZÁLEZ

DIRECCIÓN:
DRA. SILVIA VANESSA MEDINA LEÓN

MEXICALI, B. C. **ENERO 2014**

RESUMEN

En este trabajo de investigación son aplicadas las técnicas de simulación y modelado en una terminal marítima de contenedores mexicana. La función de las terminales portuarias es servir como enlace intermodal entre el transporte marítimo y terrestre, representan un sistema de organización complejo en donde la ejecución de sus actividades requiere una correcta coordinación entre distintos elementos y factores tanto internos como externos. Son un eslabón muy importante en la cadena logística internacional ya que brindan servicio operativo a los grandes buques portacontenedores, estos navíos son el medio de transporte que moviliza más del 80% de mercancías a nivel mundial.

En el estudio se manejan las técnicas de simulación para desarrollar dos modelos por computadora utilizando el software Arena Rockwell como herramienta. El primer escenario de simulación se ejecuta para representar los procesos portuarios y evaluar el comportamiento operativo de la terminal portuaria, con su desarrollo se identificaron mejoras antes de iniciar la fase de experimentación. Como segunda etapa de investigación se representa un nuevo modelo experimental, en el cual, la capacidad de servicio a embarcaciones se incrementa en un 97% al definir un segundo muelle de atraque y al pasar de uno a dos buques servidos simultáneamente, el volumen de contenedores manejados es duplicado en un 100% y el tiempo de espera de buques para ser atendidos disminuye un 76%. En ambos análisis los resultados obtenidos son satisfactorios.

La fase de simulación y modelado experimental es de resaltar, ya que es un proyecto definido en los planes de crecimiento portuario, estos son analizados previamente en el estudio para evaluar sus beneficios y viabilidad.

Con la investigación realizada se demuestra la utilidad de las técnicas de simulación y su flexibilidad de adaptación a proyectos de desarrollo en terminales marítimas de contenedores y en puertos mexicanos.

Palabras clave:

Terminal marítima de contenedores, puertos, capacidad operativa, simulación y modelado.

ABSTRACT

In this investigation work the modeling and simulation techniques are applied in a maritime container terminal Mexican. The function of port terminals is to serve as intermodal link between sea and land transport, represent a complex system of organization where the execution of their activities requires proper coordination between different elements and factors both internal and external. They are a very important link in the international supply chain as they provide operational service to large container ships; these ships are the means of transport that moves more than 80% of goods worldwide.

The study simulation techniques are managed to develop two computer models using Rockwell Arena software as a tool. The first stage of simulation runs to represent port processes and evaluate the operational performance of the port terminal, as a result improvements were identified before starting the experimental phase. As a second stage of research a new experimental model is shown, in which the ability to service vessels is increased by 97% at incorporating a second quay and as a consequence serving one to two ships simultaneously, the volume of containers handled is doubled by 100% and the waiting time for treatment of vessels decreased by 76%. In both analyzes the results are satisfactory.

The simulation and modeling experimental phase is noteworthy, as it is a project defined in port growth plans, these are previously analyzed in the study to assess the benefits and feasibility.

This research it shows the usefulness of simulation techniques and their adaptability to development projects in maritime container terminals and Mexicans ports.

Keywords:

Maritime container terminal, ports, operating capacity, simulation and modeling.

DEDICATORIA

A mis padres:

Aurelio y Margarita

Agradezco el apoyo de toda mi familia, en especial a mi madre y a mi padre, quienes son el soporte más importante en mi vida, quienes han estado a mi lado en todo momento, a quienes debo todo lo que soy y a quienes estaré eternamente agradecido.

Su hijo Aurelio…

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo de tesis ha demandado entera dedicación, fue una memorable travesía que sirvió de maduración en mi camino. Me queda el recuerdo de las lindas vivencias y de las buenas experiencias; de los contratiempos aprendí, los cuales me hicieron crecer como ser humano. Por lo anterior, reafirmo mi sincero agradecimiento para aquellas personas que me apoyaron, y agradezco a las que sin saberlo lo hicieron, por pequeña o grande que haya sido su colaboración les estoy muy agradecido.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarme el sustento económico para desarrollar mis estudios de maestría tanto en México como en el extranjero.

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

Quiero agradecer especialmente a la empresa Ensenada International Terminal S.A. de C.V. por su confianza y disposición otorgada para que este trabajo de investigación fuera concluido.

Quedo muy agradecido con mi profesora y directora Dra. Silvia Vanessa Medina León, quien acepto dirigir este trabajo en el momento en que necesité orientación, quien tuvo siempre la mejor disposición y fue un excelente guía durante el desarrollo de la tesis, gracias por sus enseñanzas y por compartir su experiencia profesional para el mejoramiento de la investigación.

Un especial agradecimiento al C.P. Javier Rodríguez Miranda, al Sr. Jorge Campos Pineda, al Ing. Rene Galván Belmonte, al Sr. Juan Manuel Álvarez López y al Ing. Jacobo Jiménez de la Cuesta, por permitir realizar la investigación en EIT, quienes con su experiencia en puertos marítimos favorecieron al satisfactorio desarrollo de este trabajo.

De igual modo, agradezco a la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), en especial al Dr. Sergi Saurí Marchan por permitirme realizar una estancia de investigación en el Centro de Innovación y Transporte (CENIT) de la ciudad de Barcelona, España. Dicho periodo fue muy enriquecedor tanto para el desarrollo del proyecto como en mi formación profesional.

A mis profesores de maestría y en especial a mis asesores de tesis Dra. Margarita Gil Samaniego Ramos, Dr. Moisés Galindo Duarte y M.C. Juan Ceballos Corral, quienes con su entusiasmo y experiencia contribuyeron al buen desarrollo de este trabajo, gracias por su tiempo y por transmitirme sus conocimientos.

A mis compañeros de maestría, en especial a mi amigo Oscar Abrajan compañero de estancia en Barcelona, a su familia quienes me recibieron en su hogar de la mejor manera.

A mis amigos: Daniel Jácome, Iván de los Santos, Carlos Gallardo, Sergio Chex, Andrés Sotelo, a la maestra Rosy Curiel, gracias por su ayuda.

Agradezco infinitamente a mi niña Lizzete Silva González, linda, no tengo palabras para agradecer el apoyo incondicional que tú siempre me has brindado, tanto en los buenos como en mis malos ratos. Gracias a tu cariño y dulzura hiciste este largo recorrido fuese más ameno.

HIPÓTESIS

La aplicación de las técnicas de simulación de eventos discretos en la terminal marítima de contenedores del puerto de Ensenada logrará mejorar sus procesos logísticos, incrementar la capacidad operativa y solucionar sus problemas de congestión.

OBJETIVO

Desarrollar para la terminal marítima de contenedores del puerto de Ensenada un modelo de simulación original y proponer un nuevo escenario experimental, demostrar los beneficios al ampliar su muelle de atraque e incrementar su capacidad operativa en un 100%.

METAS

1. Convencer a las autoridades portuarias para que este proyecto de investigación con aplicaciones en simulación de procesos pueda ser desarrollado en la terminal marítima de contenedores del puerto de Ensenada.

2. Desarrollar un modelo de simulación para la terminal marítima de contenedores que facilite la toma de decisiones, sea una herramienta de apoyo en la planeación de operaciones y en programación de recursos.

3. Desarrollar un modelo de simulación experimental en el que se demuestren los beneficios operativos al incorporar un segundo muelle y al aumentar la capacidad de almacenamiento de la terminal marítima de contenedores.

4. Diseñar y proponer una nueva distribución de planta para el desarrollo del modelo experimental en el que se optimicen los diferentes flujos operativos del puerto.

5. Presentar a las autoridades portuarias los resultados y conclusiones obtenidas al finalizar el proyecto de investigación, demostrar mediante las técnicas de simulación el potencial de la empresa y obtener su aceptación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir en conjunto con las autoridades portuarias el problema presente en la terminal marítima y definir los objetivos de la investigación.

2. Diseñar un modelo conceptual que facilite la programación lógica del modelo de simulación.

3. Llevar a cabo una investigación de campo en la terminal marítima de contenedores para obtener la información necesaria con la que se construirá el modelo de simulación.

4. Programar y desarrollar la animación del modelo de simulación en el software Arena Rockwell.

5. Comprobar el correcto funcionamiento del modelo de simulación en base al diseño conceptual y demostrar que la animación se comporta igual que el sistema real.

6. Comparar los indicadores de la terminal marítima en contra de los resultados de simulación obtenidos y validar su comportamiento.

7. Experimentar con el modelo de simulación original obtenido, aumentando la capacidad operativa de la terminal marítima de contenedores.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Una terminal marítima de contenedores (TMC) es un centro logístico en donde se interconecta el transporte marítimo y terrestre (entre buques portacontenedores, carreteras, trenes, con destinos nacionales y extranjeros). Se dedican a prestar servicios operativos de importación y exportación de mercancía en contenedores hacia cualquier destino en el mundo. De una manera general se dividen en muelles de carga / descarga y patios de almacenamiento de contenedores; en el área de muelle se atienden grandes buques donde se cargan y descargan sus mercancías por medio de grúas especializadas, estos son transportados a las distintas áreas de patio donde se almacenan de modo temporal. Posteriormente son puestos en camiones o trenes para su envío al interior de un país o región.

El transporte marítimo se realiza por medio de buques portacontenedores, navíos capaces de movilizar miles de toneladas de mercancía en contenedores de forma rápida, segura y económica. Durante décadas ha sido el medio de transferencia con el mayor volumen de mercancía movilizada, satisfaciendo grandes centros de producción y de consumo a nivel mundial. Con el incremento en la demanda de productos se presenta la necesidad de agilizar el transporte marítimo, por ello se requiere que las terminales de contenedores sean eficientes en operativa y modernas en servicios.

El desarrollo operativo eficiente en puertos de contenedores es una tarea compleja, la necesidad de una mayor eficiencia en toda la cadena de transporte ha dado lugar a la transformación del sector portuario en una industria intensiva en capital y tecnología. Para lograr un funcionamiento portuario óptimo, se utilizan con frecuencia nuevas tecnologías, como medio para mejorar sus servicios. En este contexto, la simulación de procesos es el instrumento capaz de facilitar todo desarrollo portuario, siendo una herramienta muy poderosa que promueve la optimización y rediseño de terminales marítimas de contenedores en el mundo. Es útil para realizar correctas estimaciones de distintos parámetros de rendimiento, así como para facilitar la toma de decisiones sin afectar al sistema real. Lo anterior se logra al analizar resultados y procesos de distintos escenarios operativos, comparando indicadores de

rendimiento, niveles de utilización de maquinaria y recursos. Es además eficaz para determinar nuevas configuraciones de planta y equipos antes de comprometer las inversiones.

La terminal marítima de contenedores del puerto de Ensenada se dedica a prestar servicios de almacenaje y exportación de trigo cristalino, exportación de minerales y chatarra, siendo su principal actividad el manejo de carga contenerizada, cuenta con la capacidad en servicios e instalaciones para atender solo a una embarcación, esta limitante llega a provocar retrasos en la cadena de transporte internacional y la hace menos atractiva ante las grandes líneas navieras. Ensenada posee el espacio terrestre necesario para aumentar sus instalaciones de carga/descarga y almacenaje, estas mejoras requieren de una fuerte inversión económica para lograr ser desarrolladas, es importante recalcar que tales proyectos se incluyen en el Plan Nacional de Infraestructura y Desarrollo, en el Plan de Desarrollo de Baja California, en los planes de desarrollo de la Administración Portuaria Integral y en los planes de la propia empresa, demostrando que al implementarse traerán importantes beneficios para la región. En este punto entra la simulación de procesos siendo una herramienta capaz de desarrollar y evaluar dichos propósitos sin que las inversiones se vean comprometidas, pudiendo convertirse en el impulsor para desarrollar tan grande proyecto, por estas razones es relevante su investigación.

ÍNDICE GENERAL

Hipótesis **II**
Objetivo **II**
Metas **III**
Objetivos específicos **IV**
Justificación **V**

CAPÍTULO 1
ESTADO DEL ARTE
1. Introducción 1
1.1. Estudios previos de simulación aplicados a terminales marítimas 1

CAPÍTULO 2
MARCO TEÓRICO
2. Introducción a la simulación de procesos 22
2.1. ¿Qué es simulación? 23
2.1.1. ¿Por qué utilizar simulación? 24
2.1.2. ¿Cuándo utilizar la simulación? 24
2.2. Los modelos de simulación 25
2.3. Modelo conceptual 25
2.3.1. Determinación de los objetivos de modelado 28
2.3.2. Identificar las necesidades de datos a modelar 29
2.3.3. La identificación de los supuestos y simplificaciones 30
2.4. ¿Qué hacer con un modelo lógico? 30
2.4.1. Simulación por computadora 31
2.5. Clasificación de los modelos de simulación 31
2.6. Simulación de eventos discretos y elementos de un modelo 32
2.7. Verificación y validación del modelo de simulación 34
2.8. Metodología para desarrollar un modelo de simulación de eventos discretos 36

CAPÍTULO 3
METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL MODELO SIMULACIÓN ACTUAL 38
3.1 Formulación de problema de simulación 38
3.1.1. Descripción del problema 39
3.1.2. Objetivo general 42
3.1.3. Objetivo escenario experimental: “Aumento de la capacidad operativa” 42
3.2. Descripción de los subsistemas portuarios 43
3.2.1. Subsistema de carga y descarga de contenedores (muelle) 44
3.2.2. Procedimiento de descarga de contenedores en buque (importación) 45
3.2.3. Procedimiento de carga de contenedores en buque (exportación) 48
3.2.4. Área de almacenamiento de contenedores (patio) 51
3.2.5. Recepción en patio de contenedores descargados de buque (importación) 52
3.2.6. Envió de contenedores de patio hacia muelle para su carga sobre buque(exportación) 53
3.2.7. Entrega de contenedores al Servicio Público Federal (importación) 53
3.2.8. Recepción de contenedores del Servicio Público Federal (exportación) 54
3.3. Sistema de transporte interno 55
3.3.1. Transporte de contenedores de importación hacia los patios de almacenamiento 56

3.3.2. Transporte de contenedores de exportación hacia el muelle de carga 58
3.4. Subsistema de Puertas de Entrada y Salida 61
3.4.1. Capturista de puerta (entrada) 61
3.4.2. Capturista de puerta (salida) 65
3.4.3. Notas generales 66
3.4.4. Planteamiento del modelo de simulación 68
3.4.5. Diagrama de flujo global de la terminal marítima de contenedores 71
3.5. Elementos del modelo de simulación de la terminal de contenedores 72
3.5.1. Entidades 72
3.5.2. Atributos 72
3.5.3. Entradas en el modelo 73
3.5.4. Para el subsistema de transporte interno 73
3.5.5. Variables globales 73
3.5.6. Recursos 74
3.5.7. Colas 75
3.5.8. Eventos 76
3.5.9. Entradas y salidas de simulación 77
3.6. Colección y tratamiento de los datos 80
3.6.1. Investigación de campo y muestreo del trabajo 82
3.6.2. Cálculo del tamaño de muestra y error 83
3.7. Análisis de datos de entrada 85
3.7.1. Técnicas para evaluar la independencia de los valores de una muestra 85
3.7.2. Diagrama de dispersión 85
3.7.3. Grafica de auto correlación 86
3.7.4. Técnicas para evaluar la estabilidad de la distribución 87
3.7.5. Ajuste de datos a distribuciones de probabilidad 87

CAPÍTULO 4
CONSTRUCCIÓN, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACION 90
4. Desarrollo del modelo de simulación 90
4.1. Recepción de buques, atraque, autorización de operaciones y partida 91
4.1.2. Descarga de contenedores desde buque 96
4.1.3. Transporte y almacenamiento de contenedores en patio 99
4.1.4. Puertas de acceso y recepción de contenedores de exportación 106
4.1.5. Almacenamiento de contenedores de exportación en patio 110
4.1.6. Puerta de salida para contenedores de importación 112
4.1.7. Localización en patio de contenedores de exportación 115
4.1.8. Carga de contenedores de exportación sobre buque 119
4.2. Descripción de comandos de procesos de Arena Rockwell 123
4.3. Resumen datos de simulación 130
4.4. Validación del modelo de simulación 133
4.5. Animación del modelo de simulación original 142

CAPÍTULO 5
SIMULACIÓN EXPERIMENTAL, AUMENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA 147
5.1. Desarrollo del segundo escenario de simulación 147
5.2. Construcción y verificación del segundo escenario de simulación 152
5.2.1. Llegada y partida de buques 154
5.2.2. Descarga de buque y almacenamiento de contendores 158
5.2.3. Llegada terrestre y almacenamiento de contenedores de exportación 160
5.2.4. Salida terrestre de contenedores de importación 163
5.2.5. Carga de contenedores de exportación sobre buque 164
5.2.6. Descripción de comandos de procesos 169
5.3. Animación del modelo experimental de simulación 175
5.4. Determinación del factor de incremento para aumentar la demanda de buques 178

CAPÍTULO 6
ANÁLISIS ENTRE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN ORIGINAL Y EXPERIMENTAL 189
6.1. Tiempo de espera de buques para ser atendidos 189
6.2. Tiempo de operación de buque 190
6.3. Capacidad de atención a buque 190

CAPITULO 7
CONCLUSIONES 192

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 198

ANEXO 1
LISTADO DE DATOS DE ENTRADA Y MÉTRICOS
1.1. Listado de datos de entrada a recolectar para subsistemas portuarios 204
1.2. Listado de métricos para los distintos subsistemas 206

ANEXO 2
COLECCIÓN DE DATOS EN REGISTROS HISTÓRICOS 208
2.1. Itinerario de arribos de buques 208
2.2. Terminal Performance Report 209
2.3. Indicadores operativos subsistema de carga y descarga (muelle) 210
2.4. Distribución física terminal marítima de contenedores 211
2.5. Indicadores operativos subsistema de almacenamiento de contenedores (patio) 212

ANEXO 3
COLECCIÓN DE DATOS EN INVESTIGACIÓN DE CAMPO 213
3.1. Recolección de datos subsistema muelle (descarga) 213
3.2. Recolección de datos subsistema muelle (carga) 214
3.3. Recolección de datos subsistema de almacenamiento (descarga) 215
3.4. Recolección de datos subsistema de almacenamiento (carga) 216

ANEXO 4
TRATAMIENTO A DATOS RECOLECTADOS 217
4.1. Arribos entre buques 217
4.1.1. Gráfico de autocorrelación proceso arribos entre buques 217
4.1.2. Gráfico de proporción de llegadas proceso arribos entre buques 218
4.1.3. Datos del proceso arribos entre buques ajustados con input analyzer 219
4.2. Proceso descarga de contenedores 219
4.2.1. Datos del proceso descarga de contenedores ajustados con input analyzer 220
4.3. Tiempo de revisión de contenedores descargados 221
4.3.1. Datos del proceso revisión de contenedores ajustados input analyzer 222
4.4. Carga de contenedores 222
4.4.1. Datos del proceso carga de contenedores ajustados con input analyzer 223
4.5. Almacenamiento de contenedores de descarga 224
4.5.1. Datos del proceso almacenamiento de contenedores ajustados con input analyzer 224
4.6. Envió a muelle de contenedores almacenados para carga 225
4.6.1. Datos del proceso envió contenedores para carga ajustados con input analyzer 226
4.7. Datos proceso descarga total contenedores en un año ajustados con input analyzer 226

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1.	Etapa de verificación y validación para el ciclo de vida de un M&S	35
3.1.	Grúa de muelle tipo pórtico y buque portacontenedores durante una operativa	44
3.2.	Subsistema de almacenamiento de contenedores (patio)	52
3.3.	Camión, utilizado en el transporte de contenedores en operaciones portuarias	56
3.4.	Carga/descarga de contenedores, sentido operativo del sistema de transporte	61
3.5.	Procesos operativos en una terminal marítima de contenedores	68
3.6.	Diagrama de flujo global de la terminal marítima de contenedores	71
3.7.	Mapa de procesos de la empresa	79
4.1.	Modelo lógico, recepción de buques, atraque, autorización de operaciones y partida	92
4.2.	Modelo lógico, descarga de contenedores desde buque	97
4.3.	Transporte y almacenamiento de contenedores en patio	100
4.4.	Puertas de acceso y recepción de contenedores de exportación	107
4.5.	Almacenamiento de contenedores de exportación en patio	110
4.6.	Puerta de salida para contenedores de importación	113
4.7.	Localización en patio de contenedores de exportación	116
4.8.	Carga de contenedores de exportación sobre buque	119
4.9.	Entity Basic – Process	123
4.10.	Resource - Basic Process	123
4.11.	Queue - Basic Process	124
4.12.	Schedule - Basic Process	125
4.13.	Calendario de arribos de contenedores al subsistema de puertas de acceso	125
4.14.	Variable - Basic Process	125
4.15.	Set - Basic Process	126
4.16.	Transporter - Advanced Transfer	127
4.17.	Distance - Advanced Transfer	127
4.18.	Advanced Set – Advanced Process	128
4.19.	Expression - Advanced Transfer	129
4.20.	Determinación de Warm - Up con la herramienta Output Analyzer de Arena Rockwell	132
4.21.	Validación proceso de descarga, comportamiento entre datos reales y modelados	138
4.22.	Validación proceso de carga, comportamiento entre datos reales y modelados	139
4.23.	Validación proceso de exportación, comportamiento entre datos reales y modelados	139
4.24.	Validación proceso de importación, comportamiento entre datos reales y modelados	140
4.25.	Validación indicadores de buque, comportamiento entre datos reales y modelados	140
4.26.	Validación indicadores de grúa, comportamiento entre datos reales y modelados	141
4.27.	Validación indicadores de puertas de acceso terrestre, comportamiento entre datos reales y modelados	141
4.28.	Plano operativo de la terminal marítima de contenedores	145
4.29.	Vista de la animación del escenario actual u original de simulación en la terminal marítima	146
5.1.	México, ubicación geoestratégica en rutas comerciales marítimas internacionales	151
5.2.	Llegada y partida de buques	154
5.3.	Descarga de buque y almacenamiento de contenedores	158
5.4.	Llegada terrestre y almacenamiento de contenedores de exportación	161
5.5.	Salida terrestre de contenedores de importación	163
5.6.	Carga de contenedores de exportación sobre buque	165
5.7.	Queue - Basic Process modelo experimental	170

5.8. Resource - Basic Process modelo experimental 171
5.9. Calendario de arribo de mercancías de exportación y salida de importación, modelo experimental 172
5.10. Set - Basic Process, modelo experimental 172
5.11. Sets del tipo *Resource*, Set - Basic Process, modelo experimental 173
5.12. Sets de recursos del tipo *Counter*, Set - Basic Process, modelo experimental 173
5.13. Distance - Advanced Transfer, modelo experimental 174
5.14. Distance - Advanced Transfer, modelo experimental 175
5.15. Comportamiento del tiempo de espera de buques para tomar muelle conforme a su demanda 180
5.16. Proceso de descarga resultados experimentales 183
5.17. Proceso de carga resultados experimentales 183
5.18. Proceso de exportación resultados experimentales 184
5.19. Proceso de importación resultados experimentales 184
5.20. Indicadores de atención a buques modelo experimental 185
5.21. Indicadores de buque modelo experimental 185
5.22. Indicadores de grúas modelo experimental 186
5.23. Indicadores de puerta modelo experimental 186
5.24. Vista superior operativa propuesta en software AutoCad 187
5.25. Vista de la animación del modelo experimental de simulación 188
6.1. Tiempo de espera de buques paras ser atendidos, comparativa entre modelo original y experimental 190
6.2. Indicadores de buque, comparativa entre modelo original y experimental 191
6.3. Capacidad de atención a buques portacontenedores para el modelo original y experimental 191

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Diagrama de proceso para la importación de contenedores 47
3.2. Diagrama de proceso para la exportación de contenedores 50
3.3. Diagrama de flujo del transporte de contenedores de descarga (importación) 58
3.4. Diagrama de flujo del transporte de contenedores de carga (exportación) 60
3.5. Diagrama de flujo del proceso puerta de entrada 64
3.6. Diagrama de flujo del proceso puerta de salida 66
4.1. Descripción de subsistemas de la terminal de contenedores estudiada 90
4.2. Secciones del modelo de simulación de la terminal marítima 91
4.3. Descripción de la sección, recepción de buques, atraque, autorización de operaciones y partida. 92
4.4. Descarga de contenedores desde buque 97
4.5. Transporte y almacenamiento de contenedores en patio 100
4.6. Puertas de acceso y recepción de contenedores de exportación 107
4.7. Almacenamiento de contenedores de exportación en patio 110
4.8. Puerta de salida para contenedores de importación 113
4.9. Localización en patio de contenedores de exportación 116
4.10. Carga de contenedores de exportación sobre buque 120
4.11. Datos de simulación en descarga de contenedores tipo llenos 130
4.12. Datos de simulación en descarga de contenedores tipo transbordos 131
4.13. Datos de simulación en descarga de contenedores tipo vacíos 131
4.14. Datos de simulación en carga de contenedores tipo llenos 131
4.15. Datos de simulación en carga de contenedores tipo transbordos 131
4.16. Datos de simulación en carga de contenedores tipo vacíos 131
4.17. Datos de simulación, expresiones 132
4.18. Especificaciones del modelo de simulación 133
4.19. Tabla de validación proceso de descarga de contenedores desde buque 135
4.20. Tabla de validación proceso de carga de contenedores sobre buque 135
4.21. Tabla de validación para contenedores de exportación recibidos por tierra 135
4.22. Tabla de validación para contenedores de importación recibidos desde buque 135
4.23. Tabla de validación para indicadores de patio 136
4.24. Tabla de validación para indicadores de buque 136
4.25. Tabla de validación para indicadores de grúas 136
4.26. Tabla de validación para indicadores de puerta de acceso 136
4.27. Elementos utilizado para desarrollare la animación del modelo original de simulación 143
5.1. Primera sección fase de experimentación, módulos modificados y agregados en la lógica del modelo 155
5.2. Segunda sección fase de experimentación, módulos modificados y agregados en la lógica del modelo 159
5.3. Fase de experimentación, tercera sección, comandos modificados en la programación lógica del modelo 162
5.4. Comandos modificados en la programación lógica del modelo, cuarta sección 164
5.5. Quinta sección, comandos modificados y agregados en programación lógica 165
5.6. Resultados proceso de descarga del modelo experimental. 181
5.7. Resultados proceso de carga del modelo experimental. 181
5.8. Resultados proceso de exportación del modelo experimental. 181
5.9. Resultados proceso de importación del modelo experimental. 181
5.10. Indicadores de contenedores en patio de almacenamiento modelo experimental. 182

5.11. Indicadores de buque modelo experimental 182
5.12. Indicadores de patio modelo experimental 182
5.13. Indicadores de puertas de acceso y salida de contenedores modelo experimental. 182

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE

1. Introducción

En el estado del arte se realiza una revisión bibliográfica sobre trabajos de investigación en los que se han implementado las técnicas de simulación de procesos aplicado a los sistemas portuarios que conforman las terminales marítimas de contenedores, incluyendo el uso de la simulación como herramienta para optimizar sus procesos operativos y logísticos.

La finalidad de realizar una revisión a la literatura es enriquecer el conocimiento sobre las características de los puertos y de las propias terminales marítimas de contenedores, conocer sus métodos de trabajo, identificar las variables de relevancia, sus ventajas tanto como sus limitaciones, lo anterior permitirá a las autoridades portuarias e investigadores identificar las actividades o elementos que producen perdidas económicas o demoras considerables generadas en los diferentes subsistemas que tienen consecuencias en el funcionamiento portuario y afecta su competitividad.

1.1. Estudios previos de simulación aplicados a terminales marítimas

Matthew E.H. Petering (2011) desarrolla un trabajo de simulación de eventos discretos aplicado a una terminal marítima de contenedores, en dicho análisis se estudian nueve problemáticas de gestión para optimizar estrategias de almacenamiento de contenedores, el autor menciona que siete de los temas estudiados no habían sido abordados previamente en la literatura. Los resultados cuantitativos y cualitativos que se presentan muestran como un puerto de mar depende de: (1) la capacidad de almacenamiento de contenedores en los patios de la propia terminal, (2) del número de grúas de patio, de los camiones dentro de la terminal y sus propias características de funcionamiento, (3) de la capacidad de adaptación del sistema operativo a las necesidades de transporte interno y (4) de la capacidad global de las instalaciones.

Los resultados del estudio se obtienen utilizando un modelo de simulación de eventos discretos totalmente integrado a los sistemas operativos de un puerto del tipo trasbordos,

diseñado para reproducir y analizar el comportamiento estocástico de la terminal en tiempo real. Se concluye que los resultados expuestos proporcionan percepciones y valores de referencia fundamentales para los profesionales del campo portuario y ayudan a sentar las bases para futuras investigaciones sobre diferentes temas como la optimización de puertos. Además, durante la ejecución de los denominados *simulation short models* (modelos cortos de simulación) es posible analizar en breve tiempo la flexibilidad para abordar distintos temas de modelado, demostrando que la simulación es una valiosa herramienta de apoyo en la toma de decisiones para la explotación de las terminales de contenedores y para el desarrollo de sus sistemas operativos [1].

Panagiotis Angeloudis *et al*. (2010). La contribución en el trabajo del autor a la literatura es el desarrollo de un algoritmo basado a un entorno de simulación de puertos, concluyendo que la simulación es una mejor alternativa ante técnicas matemáticas tradicionales. El método propuesto se basa en dar lugar a importantes ventajas operativas, los resultados obtenidos muestran una visión completa de diferentes aspectos para la explotación de terminales.

El software de control utilizado para estudiar el rendimiento del equipo demuestra que existe la opción de hacer cambios radicales en el funcionamiento interno del puerto. Por tanto, la técnica de simulación presentada en este trabajo es relevante para evaluar la implementación de *Automated Guided Vehicle* (AGV, vehículos guiados automáticamente). Además, de visualizar distintas perspectivas al implementar equipos automatizados para la manipulación de contenedores puede ser previamente evaluada, se menciona que con el algoritmo de simulación presentado en este trabajo, es posible solucionar grandes problemas matemáticos difíciles de resolver [2].

Wenjuan Zhao *et al*. (2010) en este trabajo se utiliza la simulación para evaluar el uso de la información de las llegadas de camiones para reducir los movimientos muertos de contenedores (rehandles) durante el proceso de importación, consiguiendo optimizar las operaciones de la terminal. Los resultados demuestran que una secuencia completa de llegadas no se requiere para reducir sustancialmente los movimientos (rehandles) se pueden obtener mejoras significativas bajo pequeñas cantidades de información.

Las contribuciones de este trabajo a la literatura son: (1) Dos estrategias para reducir el número de movimientos (rehandles) durante el proceso de importación, estas estrategias están diseñadas para ser utilizadas en tiempo real, lo que permite actualizaciones de la información durante el período de recuperación. (2) Análisis de las reducciones del número de movimientos (rehandles) esperados de estas estrategias bajo una variedad de escenarios, incluyendo información completa e incompleta. (3) Un análisis de cómo diferentes configuraciones de almacenamiento afectan la eficiencia en el manejo de contenedores para distintas situaciones.

Se concluye en base al modelo de simulación que es posible obtener reducciones significativas en movimientos (rehandles) con pequeñas mejoras en el manejo de la información de la terminal con respecto a las llegadas de camiones para el proceso de importación de contenedores [3].

Etsuko Nishimura *et al*. (2005) en este estudio se abordan las reglas de asignación dinámica de transporte para las grúas de muelle y la optimización del enrutamiento del transporte asociado. Normalmente para el desarrollo de las operaciones en una terminal de contenedores un determinado número de camiones son asignados a una grúa de muelle específica. Los autores examinan otro tipo de asignación, lo que han llamado "asignación dinámica (o por itinerario)", con el objetivo de aumentar la productividad de la terminal. El problema puede ser definido por dos formulaciones: una, para la capacidad del camión de remolcar un contenedor, el otro para la capacidad de remolque de más contenedores.

A lo largo de una amplia gama de experimentos de simulación computacional, se demostró que la asignación dinámica es superior a la asignación estática con respecto a la distancia recorrida, en consecuencia, el tamaño de la flota requerida es menor. Los ahorros económicos en costos es en un orden del 15%, estos se obtienen utilizando la asignación dinámica en comparación con la asignación estática, regularmente los costos de transporte equivalen al 20% de las operativas.

Se concluye que la asignación de remolque dinámico desarrollada en este trabajo es superior a la estática, que es popular en la mayoría de las terminales, ya que el primero reduce costos de capital y operación de terminales. La reducción de costos resulta ser posible a través de la reducción del tamaño de la flota desplegada durante las operaciones, que resulta de una distancia de recorrido total más corta a través de una asignación dinámica en lugar de una estática.

La contribución de este trabajo a la literatura es el desarrollo de un nuevo principio, el enrutamiento eficiente de remolques en una terminal de contenedores marítima y la aplicación del algoritmo heurístico para identificar una solución óptima junto a la problemática de enrutamiento, ambos de los cuales ahorran tiempo de operación en patios y costos. Este principio es útil para la gestión de terminales de contenedores, en la toma de decisiones tanto tácticas como operativas [4].

Jing-Xin Dong *et al*. (2009) desarrolla una simulación de procesos con aplicaciones en sistemas de transporte marítimo, considera en conjunto el tamaño de la flota de contenedores y el problema de reposicionamiento para los sistemas de almacenamiento de líneas marítimas. Centrándose en un tipo de parámetros como son políticas de reposicionamiento de contenedores vacíos y una herramienta de optimización basada en la simulación desarrollada para optimizar el tamaño de la flota de contenedores, reduciendo al mínimo costos totales generados durante el manejo de los inventarios de contenedores, costos de transporte, costos de reposición y costos de penalización por pérdida de contenedores. El procedimiento de optimización se basa en Algoritmos Genéticos (AG), que puede generar resultados significativamente mejores en comparación con las políticas heurísticas y la política de no - reposicionamiento.

Las principales aportaciones de este trabajo a la literatura son: (i) considera la optimización conjunta de la flota de contenedores, el tamaño y reposicionamiento de contenedores vacíos en un sistema dinámico estocástico de transporte marítimo, de múltiples puertos y múltiples viajes. Jing-Xin Dong considera que las aportaciones mostradas son únicas, ya que no se encontró ninguna investigación publicada que abarque la optimización conjunta del tamaño de

flota de contenedores y el reposicionamiento de contenedores vacíos en los sistemas de transporte marítimo. (ii) los movimientos de contenedores, tanto cargados y vacíos, y las limitaciones de capacidad de los buques se modelan explícitamente, eventos llegada de buques y eventos de salida se tratan por separado. Tales tratamientos hacen al modelo más realista; (iii) un algoritmo basado en la simulación ha sido desarrollado para resolver problemas de optimización, su eficacia se demuestra mediante estudios de casos en comparación con técnicas heurísticas. El modelo de simulación y el algoritmo de optimización pueden servir como una herramienta útil para los gestores de transporte, para diseñar el tamaño de la flota de contenedores, establecer niveles adecuados de existencias de seguridad en los puertos y determinar las decisiones de reposicionamiento de contenedores vacíos [5].

Raghav Pant *et al*. (2011) desarrolla un estudio de simulación en un puerto fluvial de contenedores. Este documento proporciona un nuevo enfoque para el modelado de los efectos adversos en todas las industrias interdependientes y en varias regiones, analiza el resultado de una interrupción en las operaciones de un puerto interior (fluvial). Este enfoque se basa en el riesgo de integrar la inoperancia de un puerto con un modelo de simulación a las operaciones portuarias interiores para cuantificar el impacto de las interrupciones reales en los flujos de mercancías entre regiones conectadas por una única terminal de usos múltiples de transporte modal. El estudio considera alteraciones en tres escenarios diferentes (cierre de terminal, causado por cortes de energía eléctrica) y cuantifica los impactos en términos de inoperatividad (grado en el que la producción no se está ejecutando y enviando) y las pérdidas económicas por el puerto en inoperatividad.

El análisis y el uso de los modelos de simulación del puerto interior cuantifican los impactos adversos para un escenario, en el cual, por un cierre de la terminal durante un tiempo de dos semanas, en específico en el Puerto de Catoosa, ubicado en el sistema de navegación del río Arkansas cerca de Tulsa, Oklahoma. Para este escenario, la estimación media de las pérdidas es de $37.9 millones de dólares considerando todas las industrias afectadas, causado por el paro del puerto.

Las contribuciones de este trabajo son variadas, en primer lugar, ampliar el ámbito de aplicación de la simulación con una nueva integración del enfoque de sistemas de transporte multimodal para el análisis de los impactos adversos interdependientes de una interrupción en un puerto interior. En segundo lugar, dicho modelo de simulación proporciona un enfoque mucho más simple, al analizar el seguimiento de los movimientos de carga a través del puerto en comparación con otros modelos discretos. También se muestra cómo se alteran los componentes del modelo debido a las interrupciones. Finalmente, se analiza un nuevo enfoque para medir la eficacia de las opciones de gestión de riesgos. Es decir, estudia las inversiones en protección del puerto (por ejemplo, seguridad, sistema de enrutamiento) lo que origina efectos iniciales para reducir posibles paros (por ejemplo, opciones de enrutamiento de emergencias) lo que resulta en una reducción de tiempo de inactividad de un puerto. El método propuesto es útil para medir el beneficio al calcular las inversiones de gestión de riesgos, aunque este estudio de caso ha sido de carácter descriptivo, la utilización del modelo puede ser muy útil y poderoso [6].

Byung Kwon Lee *et* al. (2010) menciona la palabra bloque como la unidad básica de espacio de almacenamiento de contenedores en terminales. En su estudio propone dos métodos para optimizar el tamaño de bloque, teniendo en cuenta los requisitos de rendimiento de grúas de patio (GPs) y los requisitos de almacenamiento en los distintos bloques, analiza dos tipos de patios de contenedores: los que tienen bloques expuestos paralelamente al muelle y los verticales a muelle.

Propone cuatro modelos de optimización para determinar el tamaño de bloque en una terminal de contenedores, de acuerdo con las siguientes funciones objetivo y restricciones: minimizar el tiempo esperado de ciclo del transporte interno para diversas operaciones sujetas a la capacidad de almacenamiento del bloque mínimo previsto, lo que maximiza la capacidad de almacenamiento sujeto al tiempo de ciclo máximo esperado y la maximización de la capacidad de almacenamiento sujeto al tiempo de espera máximo esperado.

Un experimento numérico determina el número óptimo de bahías por bloque, en las bahías donde se tiene un punto de transferencia (TP), se determina que en ambos frentes de cada

bahía de almacenamiento fue mayor que en los bloques con los TP en ambos extremos, y que el número óptimo de filas de bloques con un TP a cada lado de una bahía era menor que en los bloques con los TP en los extremos. Para todos los casos de bloques con un TP a cada lado de una bahía se presentó un mayor peso en las operaciones de carga o descarga, la configuración óptima de bloque tendía a tener una mayor longitud, una altura más baja y un ancho mayor. Por el contrario, en bloques con TP en los extremos, la configuración de bloque óptimo para contenedores salientes no era sensible al valor del peso relativo entre las operaciones de recepción de carga, mientras que la configuración del bloque de entrada óptima tendían a tener una altura inferior y una mayor anchura cuando la operación de entrega tenía un peso más alto. El tamaño del bloque tiende a aumentar cuando el transporte es más rápido, se demostró que los modelos de simulación presentados pueden ser utilizados incluso cuando hay restricciones prácticas en una sección. Los resultados expuestos en el estudio pueden extenderse al problema de un diseño óptimo de patios de contenedores [7].

Hossein Jula *et* al. (2006) presenta un trabajo de simulación aplicado en importantes puertos de la ciudad de Los Ángeles y Long Beach (LA/LB), se analizan los movimientos de contenedores tipo vacíos en la zona de LA y el área del puerto de LB. En particular, se consideran los problemas operativos que aparecen en la dinámica de reutilización de los contenedores vacíos, por lo que se desarrolla una técnica de optimización para minimizar el número viajes y el costo generado por el transporte. En base a los datos actuales, se desarrolla una proyección de resultados para los próximos 20 años, en el experimento se muestra que al reutilizar los contenedores vacíos se reducen significativamente los costos y los problemas de congestionamiento.

Se demuestra que con una cuidadosa selección de la función de costo de reutilización, los procesos se pueden ajustar para poner más énfasis en las rutas de transporte y en el depósito de contenedores. Básicamente, cuando el tiempo es crítico, la reutilización de contenedores vacíos pasa a segundo lugar, ya que los tiempos de espera serán mínimos. Por otro lado, cuando el costo de viaje y la congestión del tráfico son los factores importantes, la metodología utilizada para el transporte proporciona el mejor equilibrio entre la oferta y la demanda de envases vacíos.

Teniendo en cuenta el gran número de contenedores vacíos en la zona del puerto de LA / LB, reutilizar los recipientes vacíos tendría un enorme impacto en la economía local. Como consecuencia de la reducción del número de viajes de camiones desde y hacia las terminales de contenedores, la reutilización de envases vacíos tendrá efectos ambientales significativos. Esto ayudará a reducir la congestión del tráfico alrededor de los puertos, que a su vez reducirán el ruido y las emisiones. Se ahorrará tiempo, energía y costos tanto para el transporte y para los operadores portuarios [8].

S. Saurí *et al*. (2011), el investigador Sergi Saurí en su trabajo analiza el comportamiento de diferentes estrategias de almacenamiento con el objetivo de reducir el número de movimientos no productivos en el área de almacenamiento de contenedores de importación. El modelo desarrollado permite la cuantificación del número esperado de rehandles (movimientos no productivos), rehandles verticales y movimientos de compensación que resultan de la combinación de los contenedores con diferentes probabilidades de salida en la misma pila.

Las principales contribuciones de este trabajo son los siguientes: el modelo tiene en cuenta las diferentes probabilidades de los contenedores para salir de la terminal con respecto a la hora de llegada a su posición de almacenamiento. Por lo tanto cada contenedor tiene una probabilidad distinta de salida en función del tiempo. Esto nos permite cuantificar el número de rehandles que resultan de tener una mezcla de contenedores con diferente probabilidad de salidas en la misma pila. Tres nuevas estrategias de almacenamiento se definieron para los contenedores entrantes, permitiendo que las operaciones se analicen con mayor detalle que las estrategias desarrolladas en contribuciones anteriores.

Específicamente, se puede observar que se recomiendan estrategias tipo S1 y S2, que son comparables a la estrategia de la no segregación, para terminales con una corta altura de apilado medio o cuando el tiempo de permanencia del contenedor es alta. En cambio, para los terminales con una zona de almacenamiento y volumen de tráfico pequeño (cuando la capacidad de almacenamiento debe aumentar a través de un mayor apilamiento de contenedores), la estrategia S3 se prefiere para la gestión de patio de entrada, lo que requiere

menos movimientos de remanipulación y demostrando así la ventaja de las estrategias dinámicas en estas situaciones.

En este estudio, se ha desarrollado una metodología analítica sobre la base de funciones para distribuciones de probabilidad. Esto permite evaluar cada estrategia en un contexto estocástico y evitar cálculos computacionales excesivos [9].

Nils Boysen *et* al. (2010), en el estudio se analiza como permitir un rápido trasbordo de contenedores entre trenes de mercancías y modernos patios de transbordo, se definen como eficientes e indispensables a los procedimientos de programación. Propone un enfoque de programación dinámica para determinar las zonas de almacenamiento de contenedores en patios ideales en función con las grúas de muelle, de modo que la carga de trabajo se distribuye uniformemente entre las grúas, por lo tanto, el tiempo de permanencia de trenes en las vías de la terminal disminuye y el trabajo se acelera, en su análisis utiliza la simulación de procesos para estudiar las operaciones del patio de transbordos.

En este trabajo se presenta un problema de partición que tiene como objetivo equilibrar equitativamente la carga de trabajo entre las grúas de muelle y los patios de transbordo. La partición debe tener en cuenta especialmente el consumo de tiempo durante el movimiento de maquinaria, donde el movimiento de un solo contenedor es para ser procesado por dos grúas, que están conectados por un sistema de clasificación. El problema se formaliza y un procedimiento de programación dinámica exacta con el tiempo de ejecución es desarrollado. En el estudio computacional se evalúan e integran las posibles aceleraciones de procesamiento para trenes y grúas en áreas de igual tamaño. Por lo tanto, la contribución de este trabajo a la literatura es un procedimiento novedoso para la programación de un problema de decisión todavía no considerado. Este procedimiento promete una considerable aceleración de procesamiento de contenedores en comparación con las tradicionales reglas de trabajo, demostrado mediante la simulación de procesos la optimización de las operaciones de patios de contenedores en tiempo real [10].

Junliang He *et al*. (2010) propone un estudio donde se utilizan los métodos tradicionales de trabajo en terminales de contenedores, técnicas heurísticas y modelos de simulación para las labores portuarias. Menciona que la eficiencia de las terminales en gran medida depende en la eficacia para asignar los recursos de la terminal en las diferentes etapas de manipulación de contenedores. Menciona que las grúas de patio son equipos que representan elevados costos operativos, utilizados en las operaciones de patio para el almacenamiento, que con frecuencia puede ser un cuello de botella en el proceso de manipulación de contenedores. En base a esta idea, propone por primera vez un modelo de programación para grúas de patio basado en técnicas de almacenamiento horizontal. Esto tiene como objetivo minimizar el total de las cargas de trabajo con retrasos y los tiempos totales de grúas en patio que se mueven de uno a otros bloques de almacenamiento. Se ha desarrollado para la evaluación y para resolver el problema un algoritmo híbrido que integra el enfoque heurístico y algoritmos genéticos. Se utiliza un modelo de simulación que integra la planificación de grúas de patio y el algoritmo. Por último, los experimentos numéricos en un patio de almacenamiento de contenedores específicos se utilizan para la ilustración del sistema. Se encontró a partir de los resultados computacionales que el enfoque propuesto ha demostrado su eficacia y practicidad mediante la comparación con otros enfoques.

Las contribuciones del papel a la literatura son las siguientes: (i) En comparación con los métodos existentes, este enfoque tiene en cuenta los procesos de carga/descarga para trabajos futuros, siendo un enfoque más sistémico. (ii) En comparación con los algoritmos tradicionales, se pudo obtener la mejor solución basada en un enfoque integrado a través de reglas heurísticas. (iii) En comparación con los experimentos computacionales tradicionales, se emplea un enfoque de simulación para la evaluación y validación [11].

Pierre Arnold *et al*. (2004) estudia el transporte intermodal (o combinado) lo definen como una alternativa valiosa al transporte modal, y especialmente para el transporte por carretera. La ubicación de las terminales en las que un cambio en la red de transporte conlleva consecuencias en la evaluación de la competitividad económica y en el éxito de la multimodalidad. El modelo utilizado en este trabajo se basa en una formulación de programación lineal entera similar a la utilizada en problemas de diseño de redes fijas de

carga. Las ventajas de este enfoque se han presentado en un procedimiento para la solución de problemas de gran magnitud. La aplicación de la óptima ubicación de las terminales de carga de contenedores de transporte bimodal en la Península Ibérica ilustra la operatividad del método. Esto demuestra que las acciones modales de los bienes que tengan su origen o su destino en la Península Ibérica son muy sensibles a la variación del costo relativo del ferrocarril. Por el contrario, la ubicación de las nuevas terminales no aumentará significativamente la cuota de mercado combinada del tráfico, y la reubicación de las terminales existentes en España o en Portugal (para lograr la minimización de costos de transporte) también tiene poco o ningún impacto.

Las consecuencias del cambio en la oferta de transporte en tráficos nacionales e internacionales tienen que ser diferenciadas como la forma en que el cambio de mercado de acciones se pueden observar. El transporte es más competitivo utilizado para largas distancias, este tema sólo es relevante para una gran escala de análisis (por ejemplo, el conjunto de Europa). La aplicación desarrollada en este trabajo muestra que es esencial tener en cuenta los efectos de cualquier decisión concreta como la oferta de transporte (a escala local o regional) de acuerdo con una perspectiva internacional. Las consecuencias pueden expresarse en términos de congestión local o cambios de carril de transporte. La aplicación desarrollada en este documento también revela que varios criterios tienen que ser utilizados para la evaluación de las simulaciones, los cambios en el sistema de transporte dependen del criterio utilizado [12].

Morteza Pourakbar *et al*. (2009) se propone un nuevo concepto denominado *Stock flotante* se refiere a que un nuevo lote de producción es (parcialmente) empujado a la cadena de suministro, sin determinar el destino exacto para cada producto. El uso de este concepto puede dar lugar a menores costos de almacenamiento y un tiempo de entrega más corto, sin disminuir la tasa de demanda. Esto es posible si el lote de producción se divide en el momento adecuado en algunas partes y es enviado a la terminal intermodal. La contribución de este trabajo a la literatura está desarrollando enfoques matemáticos para la estrategia de capital variable para determinar el momento óptimo de envío de contenedores a través de rutas intermodales y muestra que esta estrategia tiene ventajas sobre otras posibles estrategias. En los países

desarrollados las políticas para lotes de producción se dividen en distintas partes. Luego, en la política basada en el tiempo, los momentos de envío están optimizados mientras que en la política basada en la cantidad, se determina el número total óptimo de los contenedores a enviar hacia la terminal intermodal. Los resultados de la simulación muestran que la estrategia de capital flotante ofrece la mejor oportunidad para aprovechar los bajos costos de almacenamiento sin afectar la velocidad de transporte. Los resultados computacionales muestran también que la estrategia de capital flotante puede reducir los costos y tiempos de entrega, a pesar de los costos de transporte para conexiones intermodales. Este estudio puede tomarse como referencias cuando el fabricante considera medidas de distribución y transporte hacia una terminal de almacenamiento y en sus costos de mantenimiento [13].

Matthew E.H. Petering (2009), en este trabajo, el autor ha investigado cómo la anchura de los bloques de almacenamiento en patio de contenedores de una terminal afecta su rendimiento general a largo plazo, medido en términos de la tasa de esfuerzo medio de grúas de muelle. Con este fin, el autor construye un modelo de simulación completamente integrado y discreto para diferentes eventos en una terminal de contenedores, el modelo ha sido diseñado para reproducir el entorno microscópico, estocástico y en tiempo real en un centro de almacenamiento del tipo litera múltiple. Los experimentos consideran cuatro configuraciones totalmente dinámicas para configuraciones diferentes. Se realizaron diez experimentos de simulación independientes para cada pequeña configuración de la terminal, produciendo 2,488 experimentos en total.

Los resultados de los experimentos son varios, en primer lugar, indican que grúas de patio no son afines respecto a la anchura de bloque y cuáles son los rangos óptimos de ancho del bloque (de 6 a 12 filas) según el tamaño, forma y rendimiento de la terminal. En segundo lugar, la anchura de bloque óptimo disminuye cuando más equipos se despliegan. Un ancho del bloque de 10 filas parece funcionar mejor cuando menos grúas de patios se despliegan, mientras que un ancho de bloque de 6 a 8 filas funciona mejor cuando se despliegan más grúas. En tercer lugar, la ventaja de desplegar más equipo disminuye a medida que aumenta la anchura del bloque. En cuarto lugar, el rendimiento general mejora a medida que la forma de la terminal se parece más a un cuadrado. Los experimentos ofrecen la primera conexión

directa en la literatura entre el ancho del bloque y el rendimiento a largo plazo en una terminal de contenedores marítima.

Nuevas investigaciones sobre el tema de la anchura de bloque podría proceder en varias direcciones. Por ejemplo, se podrían realizar experimentos de simulación adicionales que consideran terminales de contenedores no de transbordos y varios otros escenarios. En estudios futuros también podrían dedicarse a la identificación y desarrollo de un modelo formal, ecuaciones o colas de espera en base a los procesos logísticos prácticos que sean estudiados [14].

Sönke Hartmann (2013) en su trabajo analizó la programación de la mecánica de contenedores refrigerados en las terminales marítimas. Una programación eficiente de puestos de trabajo de los refrigerados es importante para la gestión de terminales. El estudio demuestra que la elección del método de programación tiene un impacto crucial en la productividad de la fuerza de trabajo mecánico refrigerado y en la realización de los trabajos antes de su tiempo debido, sobre todo si la capacidad de la mano de obra es escasa. El resultado de este estudio de simulación se ha tenido en cuenta en la práctica, es decir, la programación de la mecánica de refrigerados en el sistema de funcionamiento real de la terminal, se lleva a cabo tal como se recomienda en este estudio.

Al igual que muchos otros sistemas de logística y producción, las terminales de contenedores se caracterizan por procesos complejos, dinámicos e inciertos. La complejidad radica en la interrelación de los diferentes tipos de recursos mecánicos - frigoríficos, grúas de apilamiento, vehículos guiados automáticamente y grúas de muelle, siendo muy dependientes el uno del otro, debido al entorno dinámico. La incertidumbre se debe a los nuevos tiempos y trabajos que pueden tomar mucho más tiempo de lo previsto. En estas condiciones, un método de optimización de programación heurística sólo puede ser plenamente evaluado dentro de un modelo de simulación que refleja estas condiciones en una forma realista.

Pero también hay que destacar que un modelo de simulación es más que un banco de pruebas para los métodos de optimización. Por otra parte, puede ser empleado para poner a prueba los

procesos alternativos que se relacionan con las cuestiones operacionales. Todas estas aplicaciones se han discutido en este trabajo mediante un estudio de caso de una terminal de contenedores real. Esta amplia variedad de aplicaciones hace de la simulación una herramienta indispensable en la práctica.

Las contribuciones de este trabajo a la literatura son dos. En primer lugar, se propone el primer método a medida, para resolver el problema de programación mecánico refrigerado que se produce en cada terminal de contenedores. En segundo lugar, en este trabajo se presenta un modelo de simulación detallado de una terminal de contenedores en el mundo real. Si bien hay varios modelos de simulación excelentes para terminales de contenedores en la literatura científica, muchos de ellos cubren sólo un subsistema en lugar de toda la terminal (por ejemplo, el mar, o la zona de apilamiento) y la mayoría de ellos son más bien de carácter académico y no siempre tienen los requisitos y procesos de terminales reales [15].

En el trabajo de Garro A. Russo W. se menciona que la eficacia de los modelos de simulación puede ser demostrada en estudios de caso, en particular, ellos eligen ejemplificar el dominio del transporte marítimo, ya que se ha convertido en un importante activo en la economía mundial debido al continuo crecimiento en el volumen de bienes que se intercambian en todo el mundo principalmente en las economías asiáticas. El modelo se basa en la operación de grandes buques atendidos solo por mega terminales (hubs) y su relación con los buques alimentadores que se vinculan a terminales menores. En este escenario, una terminal concentradora debe mantener un alto nivel de eficiencia, no sólo para evitar la congestión del tráfico, sino también para aumentar su competitividad determinada por sus principales características como geográficas, estructurales y tecnológicas. En su investigación demuestran que una gestión óptima de los recursos y la optimización de la logística en terminales mejoran las tácticas operativas. Se demuestra que los equipos operativos deben tener una capacidad limitada y previamente asignada al movimiento de contenedores para evitar una operación ineficiente [16].

Fernández *et al.* (2011) evalúa la aplicación de una guía metodológica para un caso de simulación discreta, el estudio es un caso de investigación aplicado en un escenario específico.

Para fundamentar el estudio se hace una revisión bibliográfica de metodologías de simulación y se construye una nueva guía metodológica. La propuesta consta de los siguientes pasos: (1) Planeación general del proyecto y formulación del problema. Se define la dirección del proyecto para identificar los requisitos, establecer objetivos claros y posibles de realizar. (2) Conceptualización del problema. (3) Recolección de los datos. (4) Construcción del modelo. (5) Verificación del modelo, en pocas palabras, se encarga de que el modelo se construya correctamente. (6) Diseño experimental, en esta etapa se plantean los escenarios a simular para obtener las estadísticas que serán analizadas. (7) Simulación y análisis, el fin de correr el modelo de simulación es sacar conclusiones de los resultados que este experimento arroja. (8) Documentación y reporte, teniendo una documentación completa del modelo y del proyecto se facilitan los requisitos de información para apoyar su uso continuo y permite mantener informado al cliente de las actividades realizadas.

Los resultados hallados muestran, por un lado, un esquema estructurado para futuras aplicaciones en este campo del conocimiento. La guía metodológica presentada de manera estructurada y lógica resulta adecuada para problemas de simulación [17].

Shyshou A. *et al*. (2010). En su investigación discuten la implementación, verificación y la validación de un modelo de simulación en Arena 9.0 (un software de simulación desarrollado por Rockwell Software) para desarrollar un modelo de simulación sobre la capacidad en la flota de buques petroleros en una terminal marítima de hidrocarburos, eligen Arena por tres razones:

(1) Combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de programación de propósito general, permite modelar con una conveniente y más eficiente ejecución, permite la integración con hojas de cálculo en Excel para la lectura y escritura de las entradas o las salidas del análisis posterior. (2) Incluye una dinámica animación en el mismo entorno de trabajo, siendo muy útil para el desarrollo de modelos y extremadamente útil para explicar la lógica del modelo en el estudio. (3) Ofrece soporte integrado para el diseño y análisis estadístico. La mayoría de las distribuciones de probabilidad de entrada se identifica con la ayuda del Analizador de entrada de Arena.

Se concluye con su prototipo de simulación, es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones que permite la evaluación del número óptimo de buques en alquiler para satisfacer la demanda de hidrocarburos de Noruega, presentando diferentes escenarios al corto, mediano, largo plazo y determinan el mejor modelo, el análisis de salida muestra que el óptimo de rentabilidad sobre el número de buques es un modelo a mediano plazo, ya que no es sensible a los cambios [18].

Cortes P. *et al*. (2007) presentan la simulación del puerto de Sevilla llevada a cabo con el software Arena, considera todos los tipos de carga existentes en la terminal: contenedores, cereales, cemento, chatarra, hierro, acero y fertilizantes. Se simula la navegación a través del Rio Guadalquivir, el bloqueo, las cuencas y los muelles del puerto, así como sus actividades logísticas. Después de probar varios escenarios de simulación, se puede afirmar que las instalaciones del Puerto de Sevilla permiten tratar con la entrada de flujos logísticos, a excepción de las dificultades momentáneas en el tráfico de contenedores.

El modelo compuesto por los principales elementos que determinan indicadores de la terminal son: la llegada del buque, la asignación de muelle, la salida del buque, llegada y salida de camiones de la terminal de contenedores e instalaciones de la empresa y el resto de los muelles que se reparten de manera uniforme.

La simulación presentada a través de las secciones previas permite la evaluación de los principales parámetros logísticos que describen el desempeño portuario de la terminal de Sevilla. Las variables consideradas para esta evaluación son: tiempo de buque en el sistema, el destino y la salida del buque hacia el océano Atlántico, la distancia de tiempo entre atraque y salida del buque, número de contendores almacenados, número de transportes realizados.

A partir del análisis de los resultados de este trabajo, se concluye que las instalaciones son capaces de hacer frente a los actuales flujos logísticos entrantes, con excepción de las dificultades temporales en el tráfico de contenedores. Por lo tanto, el aumento del volumen logístico se debe prevenir antes de la actividad comercial, especialmente para los nuevos mercados, así como la mejora de las infraestructuras de acceso a través del Río Guadalquivir [19].

Zhuo Sun *et al*. (2012) En su investigación describen a las terminales de contenedores como nodos esenciales en redes de transporte de carga marítima, en una economía mundial globalizada. Como tal, la eficiencia en el manejo de los contenedores que pasan por la terminal desempeña un papel fundamental.

Se propone una herramienta de evaluación para la toma de decisiones que puede ayudar tanto en operativa como en condiciones posibles para los diferentes problemas de congestión. Presentan una plataforma de simulación denominada MicroPort cuyo objetivo es proporcionar un sistema de modelado integrado y flexible para la evaluación de la capacidad operacional y la eficiencia de los diferentes diseños de las terminales de contenedores portuarias. Logrando simular las principales operaciones portuarias mediante métodos de modelado con fines específicos [20].

Parola P. Sciomachen (2005) presenta un caso de simulación discreta relacionado con la cadena logística del sistema portuario en el noroeste de Italia. Analizan la potencialidad del sistema, dando especial atención al transporte terrestre y la distribución modal con el objetivo de evaluar un posible crecimiento futuro de los flujos de contenedores. En su sistema propuesto, se modela mediante el uso de una estructura modular que es capaz de representar de manera eficaz tanto la logística, las actividades y las fases de interconexión entre cada modo de transporte [21].

Matthew P. (2009) evalúa los anchos bloques de almacenamiento que van desde dos hasta quince filas de una terminal de contenedores mediante un modelo de simulación de eventos discretos. En su trabajo investiga cómo el ancho de los bloques de almacenamiento en los patios de contenedores en general afecta su rendimiento a largo plazo. El autor comenta haber obtenido un modelo digno de ser mencionado en el que (A) permite hacer comparaciones directas entre diseños alternativos de terminales y sistemas de control de patio en tiempo real, (B) mide el rendimiento de acuerdo con el estándar de la industria portuaria, (C) considera los principales tipos de entidades, buques, tipos de contenedores, importación, exportación, (D) todas las grúas y camiones tienen una manipulación estocástica, (E) los movimientos se propagan de una parte del sistema a otro (por ejemplo, desde el patio de muelle) y (F) la llegada, permanencia y salida de cada contenedor individual es explícitamente modelada

durante un período de tiempo arbitrariamente largo, definido por el usuario con un nivel de detalle deseado.

Mediante el modelo de simulación concluye que el ancho de bloque óptimo oscila entre 6 a 12 filas en función de la cantidad de equipo desplegado, dependiendo del tamaño, forma y rendimiento de la terminal [22].

Won Y *et al*. (1999) en este trabajo propone un modelo de simulación del sistema de terminales de contenedores, desarrollado con un software orientado a objetos y SIMPLE + +. Por consiguiente, el modelo de simulación desarrollado puede ser fácilmente modificado o ampliado. Se demuestra que la simulación es eficiente y eficaz, se tomó en consideración una terminal simple, que es un modelo reducido de la terminal real de Pusan en Corea, el rendimiento del sistema es analizado a partir de los resultados del modelo reducido. A partir del análisis, se ha sabido que hay una gran cantidad de parámetros de diseño portuarios que afectan el rendimiento.

En la actualidad, las operaciones de manipulación de contenedores en las terminales de contenedores en Corea han aumentado considerablemente. En consecuencia, habrá necesidades de aumento de capacidad y ampliaciones en las instalaciones del puerto. El problema que se considera es con el equipamiento existente, no es posible manejar el gran flujo de contenedores o si utilizando un sistema de transferencia automatizada la eficiencia aumenta. Con el fin de resolver este problema y obtener una buena alternativa, el modelo de simulación desarrollado es considerado útil [23].

Bielli M. *et al*. (2006) el objetivo principal de este trabajo es proporcionar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en un sistema portuario. Se presenta una arquitectura que simula las operaciones de una terminal de contenedores con el fin de mejorar la eficiencia en términos de congestión de contenedores. Los principales objetivos identificados en este trabajo son los siguientes: (1) Evaluación de los buques de carga y alternativas en las operaciones de descarga en términos de tiempo y costo, (2) Evaluación de las diversas políticas de almacenamiento, (3) evaluación de diferentes procedimientos para la asignación de recursos, lo anterior con la

finalidad de mejorar las prácticas de gestión de una terminal de contenedores. En este trabajo se presentó el simulador desarrollado.

Las especificaciones del simulador son calibradas y validadas, el despliegue de la simulación en las instalaciones de la terminal fue probado durante el desarrollo del proyecto. El modelo de simulación de la terminal actúa como un banco de pruebas para evaluar la eficacia y la robustez de las políticas operativas mediante algoritmos de optimización [24].

Longo F. (2010) propone un enfoque de investigación para el diseño de operaciones, políticas y prácticas para gestionar de forma eficiente el flujo de contenedores a inspeccionar dentro de una terminal. El autor propone un modelo de simulación capaz de recrear la alta complejidad de una terminal de contenedores real en términos de llegadas de buques, operaciones descarga/carga, equipos portuarios, actividades de inspección, etc. La verificación y validación del modelo se utilizó en combinación con un diseño de experimentos avanzado para identificar la variación de la eficiencia operativa en función de parámetros críticos. Sobre la base de los resultados de la simulación, tres diferentes modelos analíticos han sido propuestos. El primer modelo de análisis input-output expresa el número de contenedores inspeccionados por día, el porcentaje de recipientes a ser inspeccionados, número disponible de camiones y personal. El segundo modelo de análisis input-output considera la relación entre el número inspeccionado de contenedores por día, el número de camiones disponibles y personal.

Los modelos de análisis de insumo-producto se deben utilizar para el diseño de políticas y prácticas para mejorar la gestión operativa efectiva del flujo de los contenedores hacia el área de inspección, así como para la asignación y programación de los recursos. Por otra parte, el modelo de simulación se utilizó para comprender el impacto de la eficiencia del proceso de inspección de contenedores en la terminal. El análisis considera tres índices diferentes (capaces de expresar toda la eficiencia del puerto) bajo el efecto de diferentes niveles de seguridad y muestra la tendencia alcanzada por bloques de todas las principales operaciones. Por último un análisis adicional muestra que la integración del proceso de inspección de contenedores en las operaciones es una cuestión que requiere un óptimo compromiso entre equipos adicionales y la mejor reorganización de los recursos internos [25].

Kwon L. *et al*. (2012) propone un modelo de optimización para determinar el diseño óptimo de un patio de contenedores de una terminal marítima, se consideran dos tipos de diseño de jardín. Uno de ellos es una disposición en donde los bloques se establecen paralelos al muelle, mientras que el otro es una disposición perpendicular en el que bloques se disponen perpendicularmente al muelle. El objetivo es reducir al mínimo el total los costos que consisten en la construcción del espacio de suelo. El problema de optimización tiene las siguientes limitaciones: el tiempo máximo de giro permitido para los camiones de carretera, para la recepción, la entrega de un contenedor y el tiempo máximo permitido al sistema de transportadores de carga y descarga.

En cuanto a la disposición paralela, se encontró que el diseño óptimo en el presente documento tiene un mayor número de pilas en una bahía y un menor número de filas de bloques. En cuanto a la disposición perpendicular, se encontró que la disposición óptima tiene bloques más cortos y anchos. También se encontró que mediante el diseño óptimo en este trabajo, el costo total puede ser reducido significativamente en comparación con los diseños del mundo real. Para ambos casos, una implicación importante en la comparación de soluciones con casos prácticos fue que la anchura de los bloques necesita ser incrementada para un mejor rendimiento y un menor costo total en patio.

Sin embargo, para la aplicación de los resultados en este estudio, también se debe considerar las propiedades técnicas de los equipos ya que pueden limitar todo el ancho del bloque máximo para el caso de las grúas de patio. Además, debido a que el aumento en tamaño de grúas de muelle se asocia con el aumento del peso de grúas, puede conducir a tiempos de ciclo más largo para la recepción y la entrega de los contenedores desde/hasta el final de los bloques de patio y finalmente una pérdida en la productividad del sistema.

Cuando se compara la disposición en paralelo con la disposición perpendicular, se encontró que la disposición en paralelo es superior a la disposición perpendicular en términos del total de costos. La disposición en paralelo requiere un número mucho menor de equipo y menores costos para la adquisición y su funcionamiento. Este documento asume que los tamaños de todos los bloques son los mismos y que la forma del patio es rectangular. Las pilas de contenedores de entrada se supone que debe ser el mismo para los contenedores salientes [26].

Kleijnen J. (1995) estudia la verificación y validación (V & V) de modelos, especialmente los modelos de simulación en la investigación de operaciones. Destaca técnicas estadísticas que arrojan datos cuantitativos acerca de la calidad de los modelos de simulación. Para la verificación se discuten los siguientes puntos: (1) la buena práctica de programación general, como programación modular. (2) la comprobación intermedia de las salidas de simulación a través de pruebas estadísticas. (3) la comparación de resultados de la simulación con los últimos resultados del análisis real. (4) Animación, para la validación se discute la obtención de datos reales que pueden ser escasos o abundantes; las pruebas sencillas para comparar datos reales y simulados: gráficas, Schruben-Turing, y pruebas t; dos nuevos procedimientos estadísticos simples para probar si las respuestas simuladas y reales son correlacionadas positivamente; Análisis de sensibilidad (basado en el diseño de experimentos y análisis de regresión. (5) En simulación, tanto la verificación como la validación requieren una adecuada documentación (V & V) ya que son partes cruciales para desarrollar una correcta evaluación, para obtener credibilidad y para acreditar el estudio.

Este trabajo demuestra la utilidad de la estadística en V & V. Destaca que el analistas y los usuarios de un modelo de simulación deben estar convencidos de su validez, no sólo por las estadísticas sino también por otros procedimientos como, la animación que proporciona un alto grado de validez aparente [27].

Douglas L. (2011) contribuye a la literatura sobre la programación en los sistemas de transporte de varias maneras. Se trata específicamente de limitaciones que se producen con frecuencia en un tipo de cola de dos etapas, que se encuentra con frecuencia en el sistema de servicio de transporte. Además, se emplea una mezcla única de la optimización, la heurística y la simulación por computadora para evaluar el impacto de los mecanismos de programación alternativos bajo condiciones estocásticos [28].

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2. Introducción a la simulación de procesos

La introducción al concepto de simulación de procesos se hará por medio de un ejemplo práctico y sencillo, teniendo por finalidad adquirir una clara comprensión; en la gestión de un aeropuerto se planean con anterioridad los servicios que se requieren en una terminal para un nuevo edificio. Las decisiones importantes deben ser hechas sobre, entre otras cosas, el número de mostradores de facturación dedicados a cada línea aérea, el tamaño del sistema de manejo de equipaje, la cantidad de puestos de control de seguridad, el número de puertas de embarque. Además de esto, es necesario determinar la cantidad de personal a emplear y los cambios entre puestos de trabajo, entre otros servicios necesarios para el correcto funcionamiento del aeropuerto. La inversión total depende de la capacidad proyectada que tendrá la instalación para atender a las decenas de miles de personas, por lo que es muy importante que estas decisiones se tomen correctamente. La pregunta que surge es ¿Cómo puede la administración determinar la cantidad de recursos que se requieren en cada área del aeropuerto?

Un enfoque podría ser la construcción de la terminal y la esperanza de que funcionara, esto parece muy arriesgado con tanto en juego. Sólo un poco mejor sería confiar en el instinto, basado sin duda en alguna experiencia con el diseño y la gestión de las terminales aeroportuarias. Unos cálculos de papel, o incluso una hoja de cálculo, pueden ayudar, pero no es probable que sea capaz de manejar toda la complejidad de la situación.

Un enfoque mucho más eficaz es probable que sea una simulación de la terminal del aeropuerto propuesto. Esto podría imitar el flujo de los pasajeros y su equipaje a través de cada una de las etapas clave de la llegada hasta la partida y actuaría como una base para la planificación de las instalaciones aeroportuarias. De hecho, los modelos de simulación son utilizados por muchas organizaciones para planificar futuras instalaciones y mejorar las actuales. Las empresas de fabricación simulan sus líneas de producción, las organizaciones de

servicios financieros simulan sus centros de llamadas telefónicas y las empresas de transporte simulan sus redes de distribución. Hay muchos ejemplos de simulación que se utilizan en la práctica.

Tres preguntas importantes a responder relativas a simulación para entender su significado pueden ser: (i) ¿qué es una simulación?, (ii) ¿por qué una empresa decide desarrollar y utilizar un modelo de simulación?, (iii) ¿cuándo es apropiada la simulación?

2.1. ¿Qué es simulación?

Los modelos de simulación se utilizan todos los días, por ello la simulación es un concepto que no es ajeno a nosotros. Por ejemplo, los meteorólogos nos muestran a diario simulaciones del sistema climático, en la que vemos el movimiento de los frentes meteorológicos en los próximos días. Muchos de nosotros tenemos consolas de juegos que simulan una gran variedad de actividades, lo que permite poner a prueba nuestras habilidades como pilotos, aventureros y urbanistas. Sin embargo las simulaciones no tienen que ser solamente con base informática, trenes en miniatura y barcos de control remoto son ejemplos familiares de simulaciones físicas.

Entonces, ¿qué significa el término simulación? En su sentido más general una simulación se puede definir como: Una imitación de un sistema, imitación implica imitar o copiar algo más. Por ejemplo, un falsificador imita la obra de un gran artista. El Strip de Las Vegas está llena de imitaciones: la Torre Eiffel, el horizonte de Nueva York, Venecia, etc. En la Copa Mundial de Fútbol 2010, si un jugador imitaba ser el receptor del juego sucio, se denomina "simulación". Los sistemas de diseño asistido por computadora (CAD) ofrecen imitaciones de diseño de las instalaciones de producción, un mapa de procesos de negocio es una imitación de una organización empresarial. Todo esto puede ser descrito como una simulación en su sentido más general.

Hay, sin embargo, una diferencia fundamental entre estas imitaciones y los ejemplos descritos en el primer párrafo de este apartado. Los ejemplos anteriores implican el paso del tiempo, es decir, se trata la circulación de trenes en una vía o las nubes en un sistema de tiempo. El segundo conjunto de ejemplos no implica el paso del tiempo. Por lo tanto hay una diferencia

entre los conceptos de una simulación estática, que imita un sistema en un punto en el tiempo, y otros distintos en puntos dinámicos de simulación, que imitan un sistema a medida que avanza a través del tiempo (Law y Kelton 2000). El término simulación se utiliza sobre todo en el contexto de la simulación dinámica.

Aunque, la atención se centra en simulación computarizada sobre lugar de simulaciones físicas, muchos de los principios que se describen seguirían siendo aplicables a este último. Sobre la base de la definición anterior, la simulación dinámica por computadora se puede definir como una imitación de un sistema a medida que avanza a través del tiempo.

2.1.1. ¿Por qué utilizar simulación?

Para responder a esta pregunta, se adoptan tres perspectivas. En primer lugar, es necesario discutir la necesidad de utilizar la simulación sobre otras técnicas conocidas, considerando la naturaleza de los sistemas operativos que se desean simular, se debe analizar el grado de complejidad que se desea representar en un modelo. En segundo lugar, es importante conocer las ventajas de la simulación sobre otros enfoques para la comprensión y la mejora de un sistema. Finalmente, siendo no menos importante, se discuten las desventajas de la simulación, para conocer si es una opción adecuada para ser utilizada, con el argumento de que es importante ser conscientes de estos términos para determinar si desea utilizar o no el enfoque de simulación. Es importante entender que las técnicas de simulación podrán ser muy complejas, esto dependerá del grado exactitud que se desea lograr y del conocimiento del modelador.

2.1.2. ¿Cuándo utilizar la simulación?

En cuanto a la simulación general, una de sus principales aplicaciones se utiliza para los sistemas de gestión en el modelado de colas. Estos consisten en entidades que se procesan a través de una serie de etapas, con colas que se forman entre cada etapa si hay suficiente capacidad de procesamiento. A primera vista esto puede parecer un conjunto limitado de circunstancias, pero las aplicaciones son muchas y variadas. Muchos sistemas pueden ser concebidos como sistemas de colas, si se trata de personas, bienes físicos o información que están representados por las entidades que se desplazan a través del sistema. Es imposible dar

una lista completa de las aplicaciones de simulación que podrían ser utilizados. No obstante, es útil para dar una idea de la variedad de sistemas que pueden ser modelados. Algunos pueden ser: sistemas de manufactura, sistemas públicos; sanidad, militares, los recursos naturales, sistemas de transporte, sistemas constructivos, sistemas de entretenimiento y restaurante. Proceso de reingeniería de negocios/gestión, procesamiento de alimentos, rendimiento de sistemas informáticos, entre muchos otros. Hay sin duda otras aplicaciones que se pueden agregar a esta lista, por ejemplo, de servicios y sistemas de venta [29].

2.2. Los modelos de simulación

Los modelos de simulación "imitan" el comportamiento del sistema sobre un periodo. Esto se logra especificando ciertos eventos, los cuales son puntos en el tiempo, cuya ocurrencia significa que puede recolectarse la información importante perteneciente al comportamiento del sistema. Una vez que se definen tales eventos es importante prestar atención al sistema únicamente cuando ocurre un evento. La información que mide el funcionamiento del sistema y se acumula en observaciones estadísticas, las cuales se actualizan en cuanto cada evento tiene lugar.

Dado que los modelos de simulación no necesitan funciones matemáticas explicitas para relacionar las variables, usualmente es posible simular sistemas complejos que no pueden modelarse o resolverse matemáticamente. Además, tal flexibilidad permite una representación más aproximada del sistema. La principal falta de la simulación consiste en que el análisis es equivalente a realizar experimentos y por consiguiente está sujeto al error experimental. Esto lleva a las dificultades usuales de diseñar (estadísticamente) el experimento, recolectar observaciones (datos) y entonces ejecutar las pruebas estadísticas necesarias de inferencia. Los modelos pueden ser físicos o lógicos (matemáticos). Los modelos físicos, son replicas físicas o modelos a escala del sistema. Los modelos lógicos, por lo general se representan en un programa por computadora que se ejecuta para plantear preguntas acerca del comportamiento del modelo [30].

2.3. Modelo conceptual

La modelización conceptual es el proceso de abstraer un modelo de un sistema real o propuesto. Es casi seguro que es el aspecto más importante de un proyecto de simulación. El

diseño del modelo conceptual afecta a todos los aspectos del estudio, en particular, los requisitos de los datos, la velocidad con la que el modelo puede ser desarrollado, la validez del modelo, la velocidad de la experimentación y la confianza que se coloca en los resultados del modelo. Un modelo bien diseñado aumenta significativamente la posibilidad de que un estudio de simulación será un éxito.

Aunque el modelado conceptual eficaz es un aspecto vital de un estudio de simulación, es probablemente el más difícil y menos comprendido, ya que existe muy pocos escritos sobre el tema. Tampoco hay una gran cantidad de trabajos de investigación. Una búsqueda a través de las vías académicas en las principales conferencias de simulación de eventos discretos revela una serie de documentos sobre otros aspectos de los modelos de simulación. Hay, sin embargo, muy pocos documentos que confieren a cualquier espacio al tema de modelado conceptual.

La principal razón para esta falta de atención es probablemente debido al hecho de que el modelado conceptual es más de un "arte" que una "ciencia", por lo que es difícil de definir métodos y procedimientos. Cualquiera que sea la razón, el resultado es que la técnica de modelado conceptual se aprende en gran medida por la experiencia.

Es posible identificar algunos aspectos claves del modelado conceptual y una definición acertada:

- Modelado conceptual, se trata de pasar de una situación problemática, a través de requisitos de modelo a una definición de lo que va a hacer y cómo se hará el modelo.
- Modelado conceptual, es reiterativo y repetitivo, el modelo debe ser revisado continuamente a través de un estudio de modelado.
- El modelo conceptual es una representación simplificada del sistema real.
- El modelo conceptual es independiente del modelo lógico (programación) o software (mientras que el diseño del modelo incluye tanto el modelo conceptual y programación).
- La perspectiva del cliente y el modelador son importantes en el modelado conceptual.

Está claro, sin embargo, que en un método completo no existen los aspectos anteriormente descritos [31].

Kathy Kotiadis *et al*. (2008) Menciona que el modelado conceptual ha ganado un gran interés en los últimos años y los modeladores de simulación están particularmente interesados en la comprensión de los procesos involucrados para llegar a un modelo conceptual. Plantea que es necesario para desarrollar un modelo conceptual, adquirir conocimientos del sistema bajo estudio y obtener un modelo abstracto para realizar simplificaciones del sistema que faciliten el planteamiento del modelo conceptual [32].

Robinson (2008), explica que la etapa de diseño *conceptual* es el proceso de comprensión de un sistema real o propuesto. Seguramente es el aspecto más importante de un proyecto de simulación. El diseño del modelo impacta todos los aspectos del estudio, 3existen muy pocos escritos sobre el tema y es difícil encontrar un libro que explique el diseño del modelado conceptual.

Las aportaciones principales en el trabajo de Stewart Robinson es proporcionar una definición de un modelo conceptual e identificar sus requisitos, estos son:

- *Los Clientes*, son propietarios del problema y los receptores de los resultados.
- *El Modelador*, es el responsable de desarrollar el estudio de simulación.
- *Expertos del dominio*, son los conocedores del sistema que se modela, ellos son quienes proporcionan datos e información para el proyecto.

A menudo existen muchos clientes y expertos del dominio involucrados en un estudio de simulación. En algunas situaciones, uno de los clientes o expertos también pueden actuar como el modelista.

El modelo conceptual consta de cuatro componentes principales:

1. Los *Objetivos…* existen dos tipos de objetivos a informar en un proyecto de simulación:
   a. En primer lugar, están los objetivos del modelo, que describen el propósito del proyecto.
   b. En segundo lugar, hay objetivos generales del proyecto que incluyen las escalas de tiempo para el proyecto, la naturaleza del modelo y su uso.

2. Las *entradas o insumos* (factores experimentales)… son los elementos del modelo que se pueden modificar para lograr una mejora en la comprensión de la situación del problema, son determinados por los objetivos.
3. *Salidas o resultados* (respuestas)… informan sobre los efectos de una corrida del modelo de simulación. Estos tienen dos propósitos:
   a. Primero, para determinar si los objetivos del modelado se han alcanzado.
   b. En segundo lugar, puntualizar las razones por las cuales los objetivos no se están cumpliendo
4. El *contenido del modelo*… consiste en los componentes que están siendo representados y sus interconexiones.

El modelado conceptual se puede definir como la etapa descriptiva de un modelo informático que aún no se ha desarrollado o por lo menos el desarrollo aún no está completo.
Sobre la base de la definición anterior se requiere de las siguientes actividades:

- Comprensión de la situación y problemática.
- Determinar los objetivos generales del proyecto.
- Identificar los resultados del modelo (las respuestas).
- Identificar los parámetros del modelo (factores experimentales).
- Determinar el contenido del modelo (el alcance y nivel de detalle), la identificación de los supuestos y simplificaciones.

Pace D. K. (2000) menciona que el modelado conceptual debe de contar con objetivos bastante estrechos, se debe observar el alcance y definir los requisitos del proceso de modelado conceptual. El modelo conceptual es independiente del diseño de software y de las decisiones de ejecución. El autor, identifica la información proporcionada por un modelo conceptual como un conjunto de supuestos, características, relaciones y datos [33].

2.3.1. Determinación de los objetivos de modelado

La clave para el desarrollo de un modelo apropiado son el modelado de los objetivos, ellos manejan todos los aspectos del proceso de modelización como proporcionar los medios por los cuales se determina el tipo de modelo, el punto de referencia para la validación de modelos, la

guía para la experimentación y una métrica para juzgar el éxito del estudio. Se debe tener claro cómo se utilizan los objetivos de modelado para el desarrollo del modelo conceptual.

Antes de concentrarse en objetivos específicos de modelado, es útil identificar los objetivos generales de la organización. Los objetivos no expresan en términos bien definidos lo que el modelo debería alcanzar, pero, si, lo que la organización espera alcanzar. Una vez que los objetivos de la organización se han determinado, es posible comenzar a identificar la forma en que el modelo de simulación podría contribuir a los mismos objetivos. En la mayoría de los casos, por supuesto, el modelo de simulación será probablemente sólo capaz de contribuir a un subconjunto de los objetivos de la organización. Este subconjunto se expresa a través de los objetivos de modelado.

El objetivo de un estudio de simulación nunca debe ser el desarrollo de un modelo. Si lo fuera, entonces una vez que el modelo se ha desarrollado el estudio de simulación se habría completado, ya que no habría necesidad de experimentación con escenarios alternativos para identificar posibles mejoras. Los objetivos siempre deben ser expresados en términos de lo que puede lograrse con el desarrollo y el uso del modelo. Como tal, una pregunta útil cuando se forman los objetivos al final del estudio es ¿qué se espera lograr?

2.3.2. Identificar las necesidades de datos a modelar

La identificación de las necesidades de datos, aparte de la definición de la naturaleza del modelo, proporciona una lista de los requisitos de datos. Se requieren tres tipos de datos para un estudio de simulación: datos contextuales, los datos para el modelo de realización y validación de datos. Datos contextuales son necesarios para la comprensión de la situación del problema y como una ayuda a la formación del modelo conceptual (por ejemplo, un diagrama esquemático del sistema de operaciones y los datos preliminares sobre los tiempos de servicio). Los datos para el modelo de realización se pueden identificar directamente desde el nivel de la tabla de detalles. Los datos de validación (por ejemplo, las estadísticas de rendimiento pasados para el sistema de operaciones, si actualmente existe) deben ser considerados a la luz del modelo que se está desarrollando y la disponibilidad de datos para el

sistema real, es una tarea sencilla para identificar los datos y el detalle del modelo. Esto se puede hacer con referencia a los componentes y sus detalles que se van a incluir en el modelo.

Una vez que se identifican los datos para la realización del modelo, la responsabilidad para la obtención de los datos se debe asignar una orientación clara sobre el momento en que los datos deben estar disponibles. Por supuesto, algunos datos ya estén disponibles, pero otros pueden necesitar ser recogidos y algunos pueden estar disponibles sin saberlo. La falta de datos no requiere el abandono del proyecto. Los datos pueden ser estimados con otras técnicas como con un análisis de sensibilidad, se pueden realizar para entender el efecto de inexactitudes en los datos. Incluso cuando se dispone de datos o pueden ser recogidos, las decisiones deben ser hechas sobre el tamaño de la muestra requerida y se debe tener cuidado para asegurar que los datos son lo suficientemente precisos y en el formato adecuado.

2.3.3. La identificación de los supuestos y simplificaciones

Al determinar el alcance y nivel de detalle del modelo, se hacen varias suposiciones y simplificaciones. Como recordatorio, las suposiciones se hacen cuando hay dudas o creencias sobre el mundo real que se está modelando, mientras las simplificaciones se incorporan en un modelo que permita el desarrollo de modelos más rápidos. Para efectos de mayor claridad, conviene incorporar explícitamente las hipótesis y simplificaciones.

En gran medida, los supuestos y simplificaciones pueden ser identificados con referencia a los componentes y detalles que han sido excluidos del modelo. En efecto, un componente o detalle se ha excluido de la base de que es una suposición, simplificación o un hecho, esta última categoría se refiere a los lugares comunes sobre el sistema real. Cabe señalar que los supuestos y simplificaciones (en realidad los hechos) no figuran en los temas excluidos solamente [34].

2.4. ¿Qué hacer con un modelo lógico?

Después de hacer las aproximaciones y de señalar las suposiciones para un modelo lógico y valido del sistema objetivo, hay que encontrar una manera de tratar con el modelo y analizar su comportamiento. Si el modelo es lo bastante simple, se debe poder usar herramientas

matemáticas tradicionales como la teoría de colas, métodos de ecuaciones diferenciales o algo como la programación lineal para obtener las respuestas que se necesitan. Aun cuando no se obtenga una formula sencilla de forma cerrada, sino un algoritmo para generar respuestas numéricas, se tendrán respuestas exactas más que estimadas, que están sujetos a la incertidumbre. Sin embargo, la mayoría de los sistemas que las personas modelan y estudian son bastante complicados, así que sus modelos validos también son bastante complicados. Es posible que para esos modelos no haya soluciones matemáticas exactas resueltas, y es ahí donde entra la simulación.

2.4.1. Simulación por computadora

La simulación por computadora se refiere a los métodos para estudiar una gran variedad de modelos de sistemas del mundo real mediante la evaluación numérica al usar un software diseñado para imitar las operaciones o características del sistema, a menudo en el transcurso del tiempo.

Desde un punto de vista práctico, la simulación es el proceso de diseñar y crear un modelo computarizado de un sistema real o propuesto con la finalidad de llevar a cabo experimentos numéricos que den un mejor entendimiento del comportamiento de dicho sistema en un conjunto dado de condiciones. El poder real de esta técnica surge cuando se usa para estudiar sistemas complejos.

La simulación es con frecuencia la técnica más utilizada para estudiar diversos modelos. La razón es que el modelo de simulación puede permitir una gran complejidad si se necesita para representar al sistema con exactitud, e incluso seguir haciendo análisis de la simulación.

2.5. Clasificación de los modelos de simulación

Hay muchas maneras de clasificar los modelos de simulación, pero una forma útil es a través de estas tres dimensiones:

Estático vs dinámico. Los modelos estáticos suelen utilizarse para representar el sistema en un cierto instante de tiempo; y en su formulación no se considera el avance del tiempo. Por ejemplo, considérese un modelo matemático sobre la cantidad de material en un almacén de

una fábrica. Stock= Stock inicial + Material entrada – Material, consumido por la fábrica. En contraposición a los modelos estáticos, los modelos dinámicos permiten deducir como las variables de interés del sistema en estudio evolucionan respecto al tiempo. El tiempo no desempeña un papel natural en los modelos estáticos pero si en los dinámicos. Un ejemplo de modelo dinámico es la evolución del material en un stock, que depende de los flujos de entrada y salida, cada uno de los cuales conlleva implícita la evolución del tiempo. Evolución del *stock = Flujo de entrada – Flujo de salida*.

Continúo vs discreto. En un modelo continuo el estado del sistema puede cambiar continuamente en el tiempo; un ejemplo es el nivel de una presa conforme entra y sale el agua, y conforme suceden la precipitación y evaporación. Sin embargo, en un modelo discreto el cambio puede ocurrir solo en puntos separados en el tiempo, tal como un sistema de fabricación con partes que llegan y se van en tiempos específicos, maquinas que se apagan y se encienden en momentos específicos y descanso para los trabajadores.

Determinista vs estocástico. Un modelo se denomina determinista si su nuevo estado puede ser completamente definido a partir del estado previo y de sus entradas. Es decir, ofrece un único conjunto de valores de salida para un conjunto de entradas conocidas (modelos que no tienen entradas aleatorias). Por ejemplo una agenda de citas con tiempos de servicio fijos. Los modelos estocásticos utilizan una o más variables aleatorias para formalizar las dinámicas de interés del sistema. En consecuencia, en la fase de experimentación, el modelo no genera un único conjunto de salida, sino que los resultados generados sirven para obtener estimaciones de las variables que caracterizan el comportamiento real del sistema. Por ejemplo, clientes que llegan a un banco de forma aleatoria y requieren servicios de tiempos variados [35].

2.6. Simulación de eventos discretos y elementos de un modelo

Comenzaremos por definir el concepto de *simulación de eventos discretos* como el *conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísimas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado.* El objetivo del modelo de simulación consiste, precisamente, en comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes del sistema.

En la definición anterior encontramos elementos como sistema, modelo y evento, de los cuales se desprenden otros conceptos importantes dentro de una simulación, por lo que a continuación abundaremos en cada uno de ellos.

La definición básica de **sistema** nos dice que se trata de un *conjunto de elementos que se interrelacionan para funcionar como un todo;* desde el punto de vista de la simulación, tales elementos deben tener una frontera clara. Por ejemplo, podemos hablar del sistema de atención de clientes en un banco, del sistema de inventarios de una empresa o del sistema de atención en la sala de emergencia de un hospital. Cada uno de ellos puede dividirse en elementos que son relevantes para la construcción de lo que constituirá su modelo de simulación; entre ellos tenemos entidades, estado del sistema, eventos actuales y futuros, localizaciones, recursos, atributos, variables y el reloj de la simulación.

Una **entidad** es la *representación de los flujos de entrada a un sistema;* éste es el elemento responsable de que el estado del sistema cambie. Ejemplos de entidades pueden ser los clientes que llegan a la caja de un banco, las piezas que llegan a un proceso o el embarque de piezas que llega a un inventario.

Un **atributo** es una *característica de una entidad.* Por ejemplo, si la entidad es un motor, los atributos serían su color, peso, tamaño o cilindraje. Los atributos son muy útiles para diferenciar entidades sin necesidad de generar una entidad nueva, y pueden adjudicarse al momento de la creación de la entidad, o asignarse y/o cambiarse durante el proceso.

Como indica su nombre, las **variables** son *condiciones cuyos valores se crean y modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas.* Pueden ser *continuas* (por ejemplo, el costo promedio de operación de un sistema) o *discretas* (por ejemplo, el número de unidades que deberá empacarse en un contenedor). Las variables son muy útiles para realizar conteos de piezas y ciclos de operación, así como para determinar características de operación del sistema.

Los **recursos** son aquellos *dispositivos* —diferentes a las localizaciones— *necesarios para llevar a cabo una operación.* Por ejemplo, un montacargas que transporta una pieza de un lugar a otro: una persona que realiza la inspección en una estación y toma turnos para descansar; una herramienta necesaria para realizar un proceso pero que no forma parte de una localización específica, sino que es trasladada de acuerdo con los requerimientos de aquel.

Un **evento** es un *cambio en el estado actual del sistema;* por ejemplo, la entrada o salida de una entidad, la finalización de un proceso en un equipo, la interrupción o reactivación de una operación (digamos por un descanso del operario), o la descompostura de una máquina. Podemos catalogar estos eventos en dos tipos: **eventos actuales,** que son aquellos que están sucediendo en el sistema en un momento dado, y **eventos futuros,** que son cambios que se presentarán en el sistema después del tiempo de simulación, de acuerdo con una programación específica.

El **reloj de la simulación** es el *contador de tiempo de la simulación,* y su función consiste en responder preguntas tales como cuánto tiempo se ha utilizado el modelo en la simulación, y cuánto tiempo en total se quiere que dure esta última. En general, el reloj de simulación se relaciona con la tabla de eventos futuros, pues al cumplirse el tiempo programado para la realización de un evento futuro, éste se convierte en un evento actual.

Las **colas** se presentan cuando una entidad no puede seguir adelante, quizá porque necesita que un recurso esté disponible, en ese momento se requiere un lugar para esperar, denominado cola de espera [36].

2.7. Verificación y validación del modelo de simulación

Para garantizar la calidad total del modelado y de la simulación (M&S) se debe involucrar la medición y evaluación de una variedad de características de calidad tales como la precisión, eficiencia de la ejecución, veracidad del estudio, utilidad y facilidad de uso (interfaz del sistema). Siendo las característica de calidad del sistema, denominadas *verificación* y *validación*, estas se utilizan para evaluar la credibilidad, la medición y evaluación de la precisión de los modelos de simulación (M&S).

La **verificación** se refiere a indicar que el modelo por computadora se comporta conforme a los objetivos del estudio y afín a la programación lógica con suficiente precisión, buscando comprobar que es adecuado. La **validación** indica que el modelo de aplicación se comporta con una precisión satisfactoria en consonancia con los objetivos de M&S. En la validación se comprueba que el modelo construido se comporta igual que el sistema real.

Una actividad para evaluar la precisión del modelo se etiqueta como verificación y validación, sobre la base como respuesta a la siguiente pregunta: ¿En la evaluación de la precisión, es el modelo de simulación una representación fiel del comportamiento del sistema real? Si la respuesta es "sí", entonces se llevó a cabo un adecuado proceso de verificación y validación del modelo. La verificación y validación no solo son una frase o etapa durante la M&S, son una actividad continua durante todo el ciclo de vida del estudio. El ciclo de vida no debe interpretarse como estrictamente secuencial. La figura 2.1 describe los procesos de verificación y validación expuestos como el ciclo de vida del modelado y simulación, por el autor Osman Balci (1997) [37].

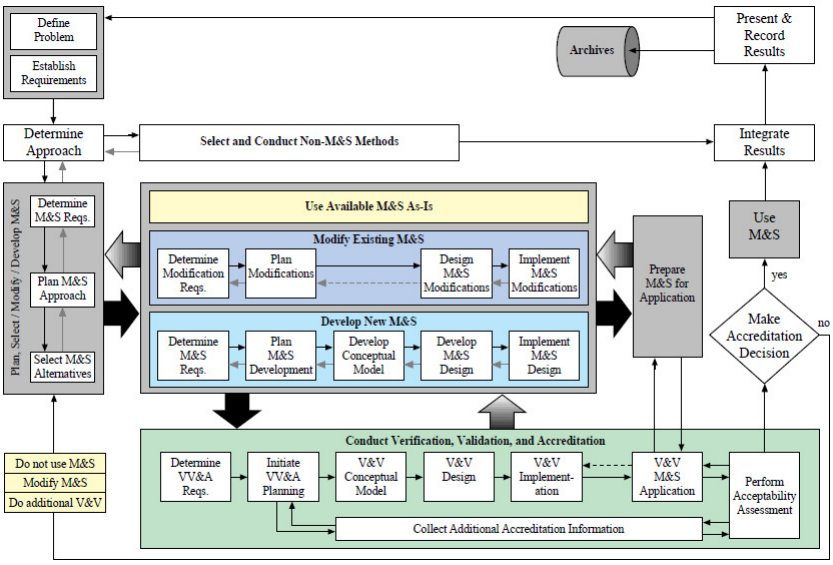


Figura 2.1. Etapa de verificación y validación para el ciclo de vida de un M&S.

Un modelo debe ser desarrollado para un propósito específico (aplicación) y su etapa de validación se determina con respecto a dicho propósito. Si, el propósito de un modelo es para responder a una variedad de preguntas, la validez del modelo se debe determinar con respecto

a cada pregunta. Numerosos conjuntos de condiciones experimentales se requieren generalmente para definir el dominio de aplicabilidad de un modelo. Un modelo puede ser válido para un conjunto de condiciones experimentales y no válido para otro. Un modelo se considera válido para un conjunto de condiciones experimentales si su exactitud está dentro de su rango aceptable, que es la cantidad de la precisión requerida para la finalidad prevista del modelo. En general, esto requiere que las variables de salida del modelo de interés (es decir, las variables del modelo se utilizan para responder a las preguntas que en el modelo se están desarrollando para satisfacer su respuesta) se identifique y que se especifique la cantidad necesaria de precisión. La cantidad de exactitud requerida debe ser especificada antes de iniciar el desarrollo del modelo. Si las variables de interés son variables aleatorias, las propiedades y sus funciones tales como medias y varianzas son generalmente los principales puntos de interés y es lo que se utiliza para determinar la validez del modelo. Varias versiones de un modelo se desarrollan a menudo antes de obtener un modelo válido satisfactorio. La comprobación de que un modelo fue validado, es decir, realizar la etapa de verificación y de validación del modelo se considera generalmente como las principales actividades para determinar si el modelo es correcto [38].

2.8. Metodología para desarrollar un modelo de simulación de eventos discretos

Diversos autores que exponen sus puntos de vista sobre temas de modelado definen diferentes metodologías para desarrollar un estudio de simulación y estas propuestas difieren en menor a gran medida unas de otras. Por ello, se concluye, que no existe un método determinado, solo aproximaciones hechas por diversos investigadores. Para este estudio se emplea la metodología propuesta por el profesor Antoni Guash (2005), la cual se define por los siguientes pasos:

1. **Formulación del problema**. Incluye la descripción del problema y la definición de los objetivos del proyecto de simulación.
2. **Diseño del modelo conceptual**. Siendo una parte fundamental dentro del estudio, los puntos que debe incluir son una distribución física del sistema, diagramas de flujo de los procesos a simular y la descripción. Listar los datos de entrada requeridos. Definir los métricos o indicadores que se desean obtener.

3. **Colección y tratamiento de los datos**. Posiblemente la parte más laboriosa dentro de la simulación. Se deben de tomar muestras de los datos y se determina un tamaño de muestra necesario para no sobre pasar el error permitido. Realizar pruebas de independencia de los datos (diagrama de dispersión, autocorrelación, proporción de llegadas) para los datos de llegada y procesos. Los datos deben ser ajustados a distribuciones de probabilidad.
4. **Construcción del modelo**. Se refiere a programas el modelo de simulación, desarrollar la animación del modelo. Determinar el número y duración de las corridas.
5. **Verificación.** Consiste en que el modelo se ejecuta correctamente y según las especificaciones del modelo conceptual.
6. **Validación.** Consiste en comprobar estadísticamente que el modelo de simulación se comporta como el sistema real.
7. **Análisis.** Consiste en experimentar con el modelo con el objetivo de efectuar inferencias que permitan tomar decisiones con mayor seguridad.
8. **Documentación.** Se refiere a plasmar en documento todo el proceso de simulación y modelado.
9. **Implementación** [39].

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN ACTUAL

El desarrollo del estudio de simulación aplicado en una terminal marítima de contenedores se basa en la metodología propuesta por Guasch. A continuación se describe el método propuesto y su relación con el sistema portuario. (Guash A. et al. 2005).

3.1. Formulación del problema de simulación

La presente investigación se realiza en la terminal marítima de contenedores del puerto de Ensenada, es además una terminal de usos múltiples (TUM), dedicada al movimiento de contenedores y manejo de carga general. Se encuentra ubicada en el estado de Baja California en la ciudad y puerto de Ensenada, en el interior una gran bahía protegida [40].

Las áreas de oportunidad identificadas en la terminal de contenedores y sobre la cual se enfoca la temática del estudio de investigación se relaciona con el movimiento general de contenedores durante las operaciones de carga y descarga de buques portacontenedores. Las operaciones portuarias se desarrollan como un trabajo conjunto entre cuatro subsistemas principales, los cuales forman un sistema completo.

1. Subsistema de carga y descarga de contenedores (muelle).
2. Subsistema de almacenamiento de contenedores (patio).
3. Subsistema de transporte interno (camiones).
4. Subsistema de puertas de acceso y salida de contenedores (transporte terrestre).

En el momento que se presentan fallas o problemas en alguno de los cuatro subsistemas, se tienen repercusiones en todo el sistema. Los posibles problemas identificados son: accidentes de personal, accidentes operativos, fallas de maquinaria (grúa de pórtico, patio, frontales, tracto – camión), perdida de energía eléctrica, clima adverso, amenazas terroristas, entre otras. Las consecuencias de estos problemas pueden llegar a ser tanto a nivel interno como externo, con graves penalizaciones y multas económicas elevadas.

Este estudio se centra en la problemática encontrada en los subsistemas mencionados, estos cuatro sistemas determinan la eficiencia de la terminal de contenedores, las propuestas de mejora que se realicen a partir del modelo de simulación tendrán impacto en la productividad portuaria.

La metodología de *simulación de procesos* enfocada a reproducir el funcionamiento de una terminal de contenedores, permitirá aumentar su capacidad operativa, planificar las operaciones y rediseñar los diferentes subsistemas, generando nuevos escenarios de simulación que contribuyen a la optimización de sus procesos y aporta diversos beneficios en el desarrollo del puerto.

Mediante la aplicación de técnicas de simulación y modelado a la terminal marítima de contenedores se desarrollará un modelo de simulación original con el cual sé representan las operaciones portuarias. En la segunda etapa del estudio se continúa con la fase de experimentación proponiendo un nuevo escenario virtual, siendo este una herramienta de apoyo en la toma de decisiones y en el desarrollo del puerto, el modelo propuesto se denomina *Aumento de la capacidad operativa del puerto*; esta etapa se refiere a representar el desarrollo de un muelle de atraque adicional que permita brindar atención a dos embarcaciones simultáneamente, con dicha mejora las operativas portuarias cambian en cuanto a dimensiones de almacenamientos de sus patios, rutas de transporte, distribución, maquinaria, personal, entre otros.

3.1.1. Descripción del problema

Los clientes de una terminal de contenedores son diversos y distintos, cada uno de ellos demanda servicios de calidad, seguridad para sus mercancías, rapidez y eficiencia en el manejo de la carga manteniendo precios competitivos. Las terminales se encuentran en la constante necesidad de adquirir nuevos clientes y de mantener a los actuales, ofreciendo las mejores opciones en la prestación de servicios.

Un puerto continuamente busca nuevos métodos o herramientas que ayuden a minimizar los costos de sus operaciones, reducir la utilización de personal, maquinaria y recursos, mejorar sus procesos logísticos para el progreso de sus operaciones. El recurso económico utilizado

representa un valor muy alto, debido principalmente a que estas actividades se desarrollan en instalaciones especializadas con estructuras y superestructuras exclusivas de este sector.

En la empresa bajo estudio se presenta la necesidad de contar con herramientas que faciliten la toma de decisiones operativas, antes, durante y después de sus actividades, que sean de fácil comprensión y pueda llegar a ser el motor para el desarrollo de nuevos proyectos. En base a lo anterior se optó por realizar un modelo de simulación por computadora de la terminal marítima para simular sus procesos, planteando distintos escenarios los cuales resuelven problemáticas actualmente presentes.

Durante el desarrollo de las operaciones portuarias el transporte de mercancías se genera en dos direcciones; (1) *muelle – patio*, se refiere a la descarga de contenedores situados a bordo de buques por medio de grúas de muelle, traslado de mercancías y almacenamiento en patio. (2) *patio – muelle*, (proceso inverso), es el transporte de contenedores almacenados desde el área de patio hacia el área de muelle y su posterior carga sobre buque. En ambos procesos se pueden llegar a presentar los siguientes problemas:

- Retrasos en las operaciones de carga/descarga, elevando el tiempo de estadía de buque en puerto con sus respectivas penalizaciones y multas económicas. (a) al incrementar el tiempo de estadía de buque pueden presentarse retrasos en la cadena de transporte internacional. (b) posibles pérdidas de clientes potenciales (incrementar los tiempos de estadía de buques se interpreta como una mala organización operativa).
- Incremento en los tiempos de procesos operativos.
- Incremento en el tiempo de recorrido de transporte y falta de organización.
- Cuellos de botella presente en las operaciones de las grúas de muelle y patio, produciendo paro en las operaciones.
- Congestionamiento y retrasos en las operaciones del patio de contenedores, causado por la atención a la carga y descarga del transporte público federal.
- Deficiencia en las estrategias logísticas para maquinaria y transporte.
- Inadecuada planeación de las operaciones de carga/descarga incrementando la utilización de grúas y reacomodo de contenedores.

Otra área de oportunidad identificada en esta empresa es la necesidad de expansión del subsistema de carga/descarga de contenedores (muelle), derivado de la exigencia en el aumento de servicios portuarios demandados por sus clientes. En la actualidad la terminal cuenta sólo con un muelle en donde se reciben las embarcaciones y se desarrollan las operaciones, teniendo capacidad en instalaciones y maquinaria suficiente para brindar servicios operativos a solo un buque portacontenedores, además, siendo una terminal de usos múltiples se ofrecen servicios a embarcaciones de carga general y carga granel. Su falta de capacidad impide la atracción de nuevos clientes y crecimiento comercial. Un ejemplo de dicho problema se presenta en el momento que un buque o más se encuentran en un cuello de botella esperando ser atendidos. En el desarrollo de la investigación se propone una simulación de procesos como una herramienta para proyectar el aumento de capacidad de la terminal marítima, teniendo la finalidad de evaluar su comportamiento operativo y medición del impacto que representa la ampliación del muelle y de los patios de almacenamiento, logrando atender dos embarcaciones simultáneamente (independientemente del tipo de embarcación que se trate) [41].

Estas propuestas para la terminal de contenedores propiciarán en mejoras y serán una herramienta eficaz en la toma de decisiones, además de permitir analizar de forma eficiente diferentes problemáticas de la organización en las áreas de carga/descarga, en la interface de transporte terrestre, en la recepción y despacho de mercancías vía terrestre, identificar si la maquinaria es utilizada inadecuadamente o existen deficiencias en el sistema operativo; estas características determinan la rapidez y exactitud con que pueden desarrollarse las operaciones entre buques portacontenedores, transporte y manejo de mercancías.

A continuación se describen los objetivos del proyecto de simulación, objetivos generales y específicos. El autor Stewart Robinson menciona que mientras más claro y preciso sea descrito un diseño conceptual dentro de un proyecto, esto repercute en la facilidad con que puede ser construido el modelo de simulación, durante la experimentación y análisis; siendo la etapa más importante de la investigación y para la cual no existen manuales o procedimientos, solo recomendaciones.

El estudio se enfoca en el desarrollo de los subsistemas de *carga/descarga (muelle), almacenamiento de contenedores (patio), transporte interno (camiones), puertas de acceso y salida (transporte terrestre),* representando por completo el sistema de una terminal marítima de contenedores. El entendimiento que se obtenga del puerto mediante la simulación y el detalle en el nivel de servicio representado en el modelo ofrecerá a las autoridades portuarias facilidad de planear estratégicamente las actividades, reducir pérdidas económicas generadas en distintas áreas que repercuten considerablemente en el desempeño del puerto y su competitividad frente al mercado.

Por lo tanto, se propone crear alternativas que optimicen las operativas en los cuatro subsistemas de la terminal marítima, el análisis de actividades y definición de los principales componentes que gobiernan su comportamiento facilita la solución de problemas de congestión, por consiguiente se producen mejoras en los niveles de servicio ofrecidos por estos subsistemas.

Para ello se realiza una simulación de procesos mediante el software ***Arena Rockwell***, herramienta que permite reproducir de forma dinámica los procesos desarrollados en la terminal de contenedores. De esta manera se obtendrán resultados que serán útiles para analizar y proponer soluciones óptimas a diferentes problemáticas [42].

3.1.2. Objetivo general

Aplicar las técnicas de modelado en la terminal marítima de contenedores del puerto de Ensenada, para desarrollar modelos de simulación y evaluar con eficiencia nuevos proyectos, incrementar las oportunidades de éxito sin comprometer inversiones, mejorando la capacidad y rapidez de los servicios.

3.1.3. Objetivo escenario experimental: *"Aumento de la capacidad operativa"*

Proyectar la ampliación del muelle de carga/descarga y los patios de almacenamiento de contenedores para incrementar la capacidad de servicio pasando de uno a dos buques atendidos simultáneamente para aumentar el movimiento general de mercancías, atraer nuevos clientes y desarrollar su mercado.

3.2. Descripción de los subsistemas portuarios

Diferentes autores coinciden en que el modelado conceptual es un resumen apropiado de la simplificación real del sistema, esto proporciona una idea del modelo en términos generales. Con el objetivo de comprender las actividades portuarias se realiza una descripción de los diferentes subsistemas de una terminal de contenedores que serán modelados en el estudio de simulación para facilitar su entendimiento y comprensión.

Una terminal portuaria está estructurada en una serie de procesos que van desde el lado mar, donde se encuentran los muelles y mediante grúas especializadas son atendidos grandes buques portacontenedores, hasta la red logística que permite comunicar con otros medios de transporte como lo son camiones y ferrocarriles. No todas las terminales de contenedores tienen la misma estructura y no todas ellas ejecutan sus procesos con la misma metodología, ya que el desarrollo de sus actividades depende de las características propias de cada terminal. Para ello la maquinaria tiene que ser seleccionada estratégicamente para obtener la máxima eficiencia, pero los procesos a grandes rasgos son comunes en todas ellas.

Generalmente, todas las terminales realizan operaciones de importación y exportación de mercancías, con esta distinción se explican los procesos portuarios, pero teniendo en cuenta que se ejecutan en la misma terminal.

Dada la complejidad de procesos y decisiones que se generan en una terminal de contenedores, es preciso realizar una distinción para analizar cada uno de los sistemas que la componen. Permitiendo analizarlos por separado y una vez hecho esto, establecer cuáles son los procesos más limitantes a la hora de tomar decisiones finales sin afectar el funcionamiento de la terminal. El conjunto de operaciones que se llevan a cabo en el puerto es muy extenso, pero todas las aproximaciones se identifican comúnmente [43].

López A. (2012) menciona que antes de iniciar con la etapa de diseño conceptual es fundamental entender cada una de las actividades de carga/descarga, almacenamiento, acceso/salida, transporte o al menos los procesos que se desean simular de una terminal marítima de contenedores. Una vez comprendido es importante realizar un análisis de las operaciones en tierra y en el medio marítimo, sobre todo entender el impacto que tienen las

terminales de contenedores hacia el exterior. Se considera que es importante aplicar la simulación de procesos en terminales marítimas de contenedores debido principalmente a que en México no se ha encontrado evidencia bibliográfica de estudios implementados, solo se han identificado trabajos exitosos en el extranjero demostrando que su aplicación aporta muchos beneficios en el desarrollo de los puertos [44].

3.2.1. Subsistema de carga y descarga de contenedores (muelle)

Mediante una programación mensual previa se definen los arribos de buques portacontenedores al puerto; fechas de arribo de buque, horario de llegada, horario de atraque, muelle de atraque, horario de zarpe, etc. Cabe mencionar que la llegada de buques portacontenedores a una terminal no sigue un proceso aleatorio sino, más bien, una programación fija antes predeterminada, sujeta a posibles cambios.

Una vez atracado el buque en muelle y liberada la orden de inicio de operaciones, el subsistema de muelle se encarga de brindar los servicios de descarga y carga de contenedores (importación y exportación respectivamente), las mercancías de importación se descargan de un buque atracado en muelle por medio de grúas de pórtico y son enviadas al área de patio para su almacenamiento por medio de camiones, los contenedores de exportación son transportados desde patio hacia muelle por medio de camiones y posteriormente son cargados por las grúas de pórtico sobre buque . En la figura 3.1 se observan grúas del tipo pórtico (de muelle), camiones de traslado de mercancías y un buque portacontenedores en operaciones.

Figura 3.1: Grúa de muelle tipo pórtico y buque portacontenedores durante una operativa.

La grúa de pórtico es el principal recurso para realizar las operaciones de carga y descarga de contenedores en el subsistema de muelle. Las operaciones de carga/descarga son controladas

por la jefatura y supervisión de muelle, por el departamento de planeación y en conjunto se realizan con personal de apoyo (controladores, operadores, obreros).

La planificación del trabajo tiene en cuenta el "perfil de carga" (plano de la bodega de un barco donde se indica el lugar donde se sitúan los contenedores de descarga y se deberán localizar los contenedores de carga) y la disponibilidad de las grúas. Este sistema genera la orden en el que se cargan y descargan las bodegas de un barco, resolviendo las posibles interferencias que puedan producirse en las grúas. Cada buque cuenta con distintas secciones donde se sitúan los contenedores a diferentes niveles con una específica capacidad de almacenamiento respecto al peso.

3.2.2. Procedimiento de descarga de contenedores en buque (importación)

1. El controlador de buque informa a los trabajadores el plan de trabajo, los abastece de las herramientas necesarias e indica cuales son las secciones de buque a trabajar.
2. Los trabajadores retiran el material de aseguramiento de los contenedores situados en buque que serán descargados en puerto y colocan el material en sus respectivos estantes, dirigidos por el controlador de buque y/o el supervisor de muelle.
3. Los camiones de transporte son colocados debajo de la grúa pórtico asignada.
4. El controlador de buque revisa los contenedores físicos contra su plano de descarga, una vez verificado y liberados los contenedores, gira instrucciones al operador de grúa pórtico para dar inicio a la descarga. De existir discrepancias en los contenedores se deberá dar aviso al departamento de planeación para su verificación y/o corrección.
5. El operador de grúa pórtico inicia su operación tomando el primer contenedor indicado por el controlador de buque y lo deposita sobre los camiones para su transporte.
6. El controlador de buque (en muelle) en la descarga, revisa el número y siglas del contenedor, tamaño, número de sello y tipo de contenedor, en caso de existir discrepancia realiza las correcciones en su lista de secuencia de descarga.
7. El controlador de buque (en muelle) al detectar que algún contenedor descargado no se encuentra en su lista de secuencia de descarga, dirige el camión detrás de la grúa pórtico, avisa al supervisor de muelle y se comunica al departamento de planeación, así mismo lo anota en su lista de secuencia de descarga, hasta esperar instrucciones del supervisor.

8. El controlador de buque (en muelle), anota los números de sellos de los contenedores descargados en la lista de secuencia de descarga, en caso de no observarse impreso se registra por medio de una terminal remota.
9. El controlador de buque (en muelle) inspecciona todos los contenedores al momento de la descarga, si observa alguno con daño y/o avería, falta de sello o que no coincide el número de sello manifestado con lo físico, procede a realizar un recibo de intercambio de equipo, en el caso de falta de sello coloca un sello de protección, este a su vez lo registra en su lista de secuencia de descarga, informa el hecho al supervisor de muelle para que este a su vez informe al oficial de guardia y tome nota del caso.
10. Antes de ser entregada la lista de secuencia de descarga al departamento de planeación, el controlador de buque (en muelle) indica con la palabra "SI" todos los contenedores a los que se les elaboró el recibo de intercambio de equipo, marcando todos a los que no se les realizó para dejar constancia de la inspección a los contenedores que figuren en la misma y firma dicha lista de secuencia de descarga para su posterior entrega a planeación.
11. El controlador de buque (en muelle) dirige al operador del camión a la ubicación en patio asignada de acuerdo con su lista de secuencia de descarga.
12. El controlador de buque (en muelle) al término de la operación o turno, entrega las páginas cumplidas de la lista de secuencia de descarga al departamento de planeación, en todas las páginas deben registrarse los siguientes datos; fecha, turno, grúa nombre y firma.
13. El supervisor de muelle es responsable que todas las listas de secuencias de descarga sean llenadas correctamente, así como toda la documentación se encuentren bien elaborada.
14. El supervisor de muelle informa al jefe de muelle los movimientos realizados cada hora así como cualquier tipo de incidente o problema no considerado en el plan de trabajo.
15. El supervisor y/o jefe de muelle elabora el reporte de operaciones al término del buque, lo entrega al departamento de planeación y archiva.
16. El jefe de muelle es el responsable de supervisar que se cumplan los objetivos establecidos, detectar cualquier tipo de desviación para corregir y cumplir con lo planeado.

En la tabla 3.1 se describe el proceso de importación de contenedores de buque.

Tabla 3.1. Diagrama de proceso para la importación de contenedores.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LAS OPERACIONES DE DESCARGA DE CONTENEDORES DE BUQUE *(IMPORTACIÓN)*		
RESPONSABILIDADES	ACTIVIDAD	DOCUMENTO REQUERIDO
Jefe de muelle	INICIO SE RECIBE INFORMACIÓN Y SE REALIZA PLANEACIÓN SE REALIZA SECUENCIA DE OPERACIONES	**Plano esquemático de Descarga. Planos de descarga.**
Jefe de muelle Supervisor de Muelle	DISTRIBUCIÓN DE DOCUMENTOS A JEFATURAS Y SUPERVISIONES ASIGNACIÓN DE PERSONAL NOMBRADO SE PROCEDE AL ATRAQUE DE BUQUE EN MUELLE	**Plano esquemático de descarga. Planos de descarga. Listas de secuencia de Descarga. Listados de re estibas. Secuencia de operaciones. Tarja de carga no contenerizada.**
Supervisor de Muelle Controlador de Buque Controlador de Buque (En muelle)	OPERACIONES DE DESCARGA DE CONTENEDORES	**N/A**
Supervisor de Patio Controlador de Patio	1 ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES EN ÁREAS ASIGNADAS	**N/A**
Jefe de Muelle Supervisor de muelle	¿REQUIERE CAMBIOS LA SECUENCIA? SI → SE ELABORA LA MODIFICACIÓN Y SE DISTRIBUYE EN MUELLE Y PATIO LA SUPERVISIÓN INFORMA LOS CAMBIOS A LAS ÁREAS 1	**N/A**
Jefe de Muelle	NO ¿TERMINO DESCARGA? NO → 1 SI ELABORACIÓN DE REPORTE DE OPERACIÓN Y ESTADOS DE HECHOS	**Secuencia de operaciones**
Jefe de Muelle Supervisor de Muelle	SE ENVÍA INFORMACIÓN A PLANEACIÓN FIN DE LA DESCARGA	**Reporte de operaciones Estado de hechos**

Nota: Las siglas N/A significan No Aplica.

3.2.3. Procedimiento de carga de contenedores en buque (exportación)

1. El supervisor de muelle solicita al supervisor y/o controlador de patio la documentación de carga de exportación a recibir en muelle e informa a los controladores de buque el plan de trabajo a seguir de acuerdo a la secuencia de operaciones.
2. El controlador de buque verifica con el primer oficial de buque la forma que requiere sean asegurados los contenedores e informa a los trabajadores el tipo de aseguramiento que se realizará y el plan de trabajo a ejecutar.
3. El supervisor y/o controlador de patio indican al controlador de buque (en muelle) el área a la cual deberá dirigir los camiones para ser cargadas en patio, de acuerdo a la secuencia de operaciones.
4. El controlador de buque (en muelle) indica al operador de camión la posición en patio a la cual debe dirigirse para ser cargado.
5. El operador de camión se dirige a la posición en patio y se coloca debajo de la grúa de patio.
6. Una vez que fue cargado el camión en patio este se dirige a muelle y se coloca debajo de la grúa pórtico que asignado.
7. El controlador de buque (en muelle) captura en su terminal remota el número de contenedor, el número del camión que transportó e ingresa y/o confirma sellos, de existir alguna discrepancia se hace la debida corrección.
8. El controlador de muelle (en buque) captura en su terminal remota el número de contenedor, verifica puerto, peso y tipo. Índica al operador de la grúa pórtico la ubicación correcta donde deberá situarse el contenedor sobre buque de acuerdo a su plan de carga, lo registra y/o verifica en los planos por secciones de buque e ingresa y confirma posición en la terminal remota.
9. Como plan de contingencia el controlador de buque consolida su plano por secciones de buque como medida de seguridad, derivado de una posible falla del sistema de la terminal remota, de esta forma queda registrada la posición de los contenedores y posteriormente serán capturados en el sistema.
10. Como plan de contingencia el controlador de buque (en muelle) derivado de una falla en sistema, deberá llenar la lista de secuencia de carga y se entregará a planeación para su captura en sistema.

11. El controlador de buque gira instrucciones al operador de grúa pórtico para iniciar las operaciones de carga (exportación) e indica la posición donde deberá ser colocado el contenedor, verifica que la indicación haya sido cumplida.
12. El operador de grúa pórtico inicia la carga tomando el primer contenedor colocado sobre el camión en muelle y lo posiciona donde le indicó el controlador de buque.
13. El supervisor de muelle y/o controlador de buque informan al jefe de muelle los movimientos realizados durante cada hora así como de cualquier tipo de incidente o problema, no considerados en el plan de trabajo.
14. Los trabajadores aseguran los contenedores cargados sobre buque, siempre dirigidos por el controlador de buque y/o supervisor de muelle.
15. El controlador de buque verifica que todos los contenedores cargados hayan sido debidamente asegurados.
16. El supervisor de muelle y/o jefe de muelle elabora el reporte de operaciones al término del buque y/o turno y lo entrega al departamento de planeación.
17. El Jefe de Muelle es el responsable de supervisar que se cumplan los objetivos establecidos y detectar cualquier tipo de desviación para corregir y cumplir con lo planeado.

En la tabla 3.2 se describe el diagrama de flujo para las operaciones de carga de contenedores sobre buque para el proceso de exportación.

Tabla 3.2. Diagrama de proceso para la exportación de contenedores.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LAS OPERACIONES DE CARGA DE CONTENEDORES SOBRE BUQUE (EXPORTACIÓN)		
RESPONSABILIDADES	ACTIVIDAD	DOCUMENTO REQUERIDO
Jefe de muelle	INICIO SE RECIBE INFORMACIÓN Y SE REALIZA PLANEACIÓN SE REALIZA SECUENCIA DE OPERACIONES	Plano esquemático de descarga. Planos de descarga.
Supervisor de Muelle	DISTRIBUCIÓN DE DOCUMENTOS A JEFATURAS Y SUPERVISIONES ASIGNACIÓN DE PERSONAL NOMBRADO	Pre-estiba. Lista de secuencia de carga. Plano esquemático de carga. Lista de adicionales y/o cancelados.
Supervisor de Patio y Muelle Controlador de Buque y de patio Controlador de Buque (En muelle)	TRASLADO DE CONTENEDORES DE PATIO A MUELLE	N/A
Supervisor de Patio y Muelle Controlador de Patio y Muelle	OPERACIONES DE CARGA DE CONTENEDORES	Secuencia de operaciones
Jefe de Muelle Supervisor de muelle	1 ¿REQUIERE CAMBIOS LA SECUENCIA? SI → SE ELABORA LA MODIFICACIÓN Y SE DISTRIBUYE EN MUELLE Y PATIO	N/A
Jefe de Muelle	NO ¿TERMINO DESCARGA? NO → LA SUPERVISIÓN INFORMA LOS CAMBIOS A LAS ÁREAS → 1 SI ELABORACIÓN DE REPORTE DE OPERACIÓN Y ESTADOS DE HECHOS	Secuencia de operaciones
Jefe de Muelle Supervisor de Muelle	SE ENVÍA INFORMACIÓN A PLANEACIÓN FIN DE LA DESCARGA	Reporte de operaciones Estado de hechos.

Nota: Las siglas N/A significan No Aplica.

3.2.4. Área de almacenamiento de contenedores *(patio)*

El subsistema de patio tiene como finalidad la ubicación, control, almacenamiento y manipulación segura de los contenedores en el interior de la terminal marítima. Los patios de almacenamiento se encuentran distribuidos en secciones para los diferentes tipos de mercancías siendo estas: *contenedores de importación, exportación y vacíos*, estas son las tres categorías principales; contando con subcategorías de contenedores siendo *refrigerados, peligrosos, especiales*, entre algunas otras pero todas las subcategorías pertenecen a las primeras tres. A todos los contenedores independientemente del tipo que sean se les otorga una coordenada específica para su ubicación en patio, haciendo más eficiente su control y resguardo. El proceso de almacenamiento es el corazón de una terminal marítima ya que todo contenedor será almacenado, además de ser el subsistema con la mayor extensión en el recinto, un manejo eficiente o deficiente repercute directamente en la productividad de la terminal.

Patio es uno de los distintos subsistemas del puerto, básicamente brinda servicio al subsistema de *carga/descarga (muelle)* recibiendo y almacenado los contenedores descargados directamente del buque *(importación)* y envía los contenedores almacenados en los patios hacia el área de muelle para ser cargados directo al buque portacontenedores *(exportación).* Otro subsistema al que *patio* brinda servicio es el de *puertas de acceso terrestre de mercancías*, recibiendo los contenedores de exportación a través del *transporte público federal* (TPF) y su posterior almacenamiento, además de enviar a las *puertas (ahora de salida de mercancías)* los contenedores de importación que son almacenados en patio, estos posteriormente pasaran por un procesos de autoridades para legalizar la estancia de mercancías extranjeras en territorio nacional.

Como se mencionó el patio es el corazón de una terminal marítima de contenedores, el manejo eficiente o deficiente de mercancías, maquinaria y personal repercuten en la rentabilidad del puerto. Un control inadecuado de las operaciones de este sistema incrementa los costos debido a que en la manipulación de mercancías son utilizados una gran cantidad de recursos; grúas, distintos medios para su traslado y personal especializado, además de que el manteniendo de maquinaria, suelo y subsuelo representa un elevado costo. Las grúas especializadas para el

manejo de contenedores en patio son del tipo de *marco* o *RTG's* (Rubber Tyred Gantry Cranes) y equipos frontales para contenedores llenos y vacíos, grúas del tipo *Reach Stacker.* En la figura 3.2 se muestran las áreas operativas del subsistema de almacenamiento (patio).

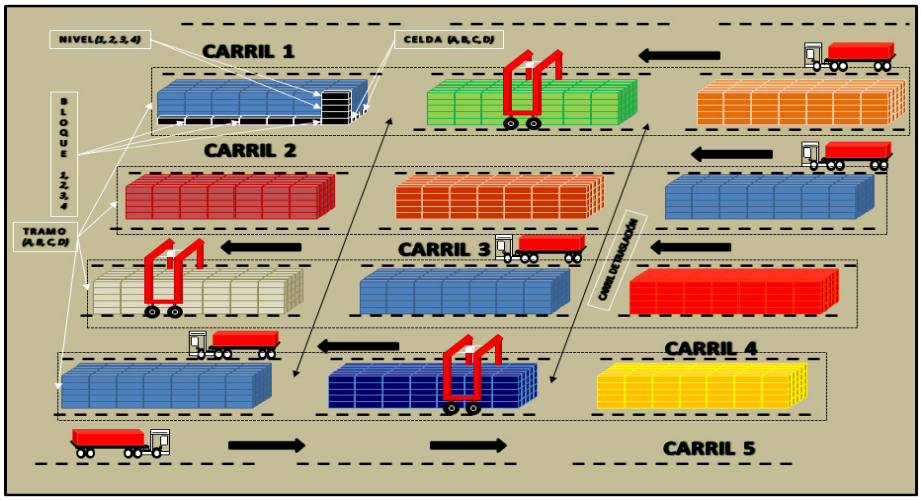


Figura 3.2: Subsistema de almacenamiento de contenedores (patio).

3.2.5. Recepción en patio de contenedores descargados de buque (importación)

1. El controlador de patio recibe por parte del supervisor de patio la documentación y la asignación de la grúa de patio.
2. El controlador de patio recibirá la información del tipo de contenedores con los que iniciara la operación de descarga de buque para posicionar la grúa de patio en las secciones de almacenamiento asignadas.
3. El controlador de patio verifica en el plan de descarga todo los contenedores que reciba, en caso de que alguno no aparezca dará aviso al supervisor de patio, al proceso de planeación y no capturará la descarga.
4. En caso de que el contenedor tenga un daño o discrepancia se mandará a muelle para la elaboración del recibo de intercambio de equipo para proseguir con la captura de descarga.
5. Ingresa el número del contenedor recibido en su terminal remota para asignar una posición al contenedor en el área de almacenamiento (carril, tramo, celda y nivel).
6. Marcará en su plan de descarga cada contenedor recibido de buque.

7. El controlador avisará al operador de la grúa de patio cuando esta tenga que trasladarse de la posición actual a otra (tramo o carril), según sea requerida. (si la grúa es una RTG, revisará el lado ciego del operador y lo dirigirá durante todo el traslado).
8. El controlador de patio registra los movimientos y tiempos muertos en su reporte de operaciones.

3.2.6. Envió de contenedores de patio hacia muelle para su carga sobre buque (exportación)

1. El controlador (en patio) recibe por parte del supervisor de patio la documentación, la asignación de grúa de patio y los camiones con los que se realizarán las operaciones.
2. El supervisor de patio se coordina con el controlador (en patio) sobre cuál es la sección de buque que se iniciará a cargar con las grúas de muelle.
3. Una vez identificada la sección de carga de buque, se revisa en el plan de carga los contenedores en patio que se enviarán a muelle.
4. Una vez que se identificaron los contenedores en patio, se verifica que no existan daños ni discrepancias en el número y tipo de contenedor.
5. Si existe un daño o discrepancia el controlador informa al proceso de planeación y al supervisor de patio.
6. El controlador indica al operador de grúa de patio la posición donde se iniciará la carga (carril, tramo, celda y nivel). (Si la grúa es una RTG, revisará el lado ciego del operador y lo dirigirá durante todo el traslado).
7. El controlador (en patio) indica al operador del camión a que grúa de muelle se debe dirigir para la carga del contenedor a buque.
8. Marca en el plan de carga la sección planeada para cada contenedor que se envía al buque.
9. Captura la posición de cada contenedor que se envía a buque en su terminal remota.
10. El controlador de patio registra los movimientos y tiempos muertos en su reporte de operaciones.

3.2.7. Entrega de contenedores al Servicio Público Federal (importación)

1. Una vez que el camión del S.P.F. ingresa *vacío* a la terminal de contenedores, el operador (chofer) entrega al controlador de patio la boleta de liberación y recibo de entrada.

2. El controlador de patio localiza físicamente el contenedor en la posición que indica la boleta de liberación y/o recibo de entrada, en caso de no encontrar el contenedor en la posición indicada se ingresara el número del contenedor en la terminal remota para identificar su posición actual.
3. El controlador (en patio) le indica al operador de S.P.F. y al operador de la grúa de patio la posición donde se realizará el servicio de entrega. (Si la grúa es una RTG, revisará el lado ciego del operador y lo dirigirá durante todo el traslado)
4. Si la grúa que realiza el servicio ejecuta libramientos (remover uno o varios contenedores para liberar el que se desea) para poder entregar el contenedor, se registra en la terminal remota el movimiento en tiempo real y se capturan todos los campos. (Posición, equipo y camión)
5. Al momento de cargar el contenedor el controlador verifica físicamente que no existan discrepancias en el sello y número de contenedor contra lo indicado en la boleta de liberación.
6. Una vez que se realiza el servicio de entrega, el controlador escribe el nombre en el recibo y lo regresa al transportista e indica que se dirija hacia la puerta de salida.
7. El controlador registra en la terminal remota la *salida del contenedor* entregado.
8. El controlador registra los movimientos y tiempos muertos en su reporte de operaciones.

3.2.8. Recepción de contenedores del Servicio Público Federal (exportación)

1. Una vez que el camión del S.P.F. ingresa *cargado* a la terminal de contenedores, el operador (chofer) entrega al controlador de patio el formato único de ingreso o pre-alta con su respectivo recibo de entrada generado en puerta.
2. El controlador de patio verifica que la información del recibo de registro de entrada y formato único de ingreso o pre-alta coincidan contra el chequeo físico del número de contenedor, número de sello, ISO, tipo de contenedor, puerto de descarga, buque y referencia para asignarle su posición en patio mediante la terminal remota.
3. Si existe algún daño o discrepancia el controlador realizará un recibo de intercambio de equipo electrónico mediante una terminal remota. En caso de contingencia lo realizará físico (papel) y solicitará al chofer de S.P.F. su firma de conformidad para futuras reclamaciones.

4. El controlador (en patio) indica al operador de S.P.F. y al operador de grúa de patio la posición donde se realizará el servicio de recepción. (Si la grúa es una RTG, revisará el lado ciego del operador y lo dirigirá durante todo el traslado).
5. Una vez realizada la recepción, el verificador escribe su nombre en el recibo de entrada y entrega los documentos al operador de S.P.F. indicándole que se dirija hacia la puerta de salida.
6. El controlador registra en la terminal remota la *recepción del contenedor* recibido.
7. Registra los movimientos y tiempos muertos en su reporte de operaciones.

3.3. Sistema de transporte interno

El subsistema de *Transporte Interno* se encarga de desarrollar el traslado de contenedores entre las distintas áreas de la terminal marítima de forma económica, rápida y segura, los diferentes sentidos de transporte son los siguientes:

- Traslado de contenedores desde los muelles de carga/descarga hacia los patios de almacenamiento.
- Traslado de contenedores desde los patios de almacenamiento hacia los muelles de carga/descarga.
- Transporte para la reubicación de contenedores entre distintas secciones de patios de almacenamiento.
- Traslado de contenedores desde los patios de almacenamiento hacia otros procesos, (servicios previos para consolidación y des-consolidación de mercancías, mantenimiento y lavado de contenedores, pesaje).

El recurso mayormente utilizado en las terminales marítimas para desarrollar el transporte de contenedores es el uso de *tracto camiones* portuarios, dicha maquinaria se constituye de un vehículo a motor y una plataforma donde se colocan los contenedores para ser transportados internamente en el recinto portuario; la plataforma se acopla al tractor camión para ser remolcado entre áreas (ver figura 3.3). Los puertos alrededor del mundo utilizan diferentes métodos para movilizar contenedores internamente, la elección del método ideal depende de las necesidades y condiciones de cada terminal, algunas técnicas son: utilización de grúas

straddle carriers o grúas de fácil desplazamiento, las terminales modernas manipulan sus contenedores con tecnológicas plataformas automáticas.

Figura 3.3: Camión, utilizado en el transporte de contenedores en operaciones portuarias.

3.3.1. Transporte de contenedores de importación hacia los patios de almacenamiento.

1. Los controladores de patio y muelle reciben la documentación por parte de sus respectivos supervisores de área.
2. El controlador o supervisor (de muelle) informa al operador de grúa pórtico la sección de buque donde iniciarán las operaciones de descarga, para que este traslade la grúa y se posicione.
3. Los controladores de muelle (en muelle) comunican a los operadores de los camiones la asignación de la grúa pórtico a la cual abastecerán durante las operaciones.
4. Los camiones se colocan en fila debajo de la grúa pórtico asignado.
5. Una vez liberados los contenedores de buque comienza la descarga.
6. La grúa pórtico descarga cada contenedor desde buque y lo coloca sobre la plataforma del tracto camión.
7. El controlador de muelle (en muelle) inspecciona el estado físico exterior de cada contenedor, captura en su terminal remota el número de sello, número de contenedor y lo da de alta en el sistema.

- En caso de existir algún tipo de daño en el contenedor, discrepancias con el número de sello o de contenedor será colocado tras de patas de la grúa pórtico o en una posición

cercana, el controlador se comunica con su supervisor y elabora el recibo de intercambio de equipo.

8. El controlador de muelle (en muelle) menciona al operador de camión la ubicación en patio en donde debe dirigirse y autoriza su salida.
9. El operador de camión se traslada desde muelle hacia la sección de almacenamiento en patio asignada.
10. El camión se coloca debajo de la grúa de patio, el controlador de grúa (en patio) captura en su terminal remota el número de contenedor, número de sello y la posición donde se almacenará el contenedor en el sistema.
11. El controlador indica al operador de grúa de patio cuando proceder con el movimiento de almacenamiento.
12. La grúa de patio toma el contenedor del camión y este es almacenado.
13. El camión vacío se dirige desde patio hacia muelle para continuar con la descarga de contenedores de buque.

En la tabla 3.3 se describe el diagrama de flujo de transporte de contenedores de descarga.

Tabla 3.3. Diagrama de flujo del transporte de contenedores de descarga (importación).

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL TRANSPORTE DE CONTENEDORES DE DESCARGA (IMPORTACIÓN)"		
RESPONSABILIDADES	ACTIVIDAD	DOCUMENTO REQUERIDO
Operador de tracto – camión.	INICIO EL TRACTOR – CAMIÓN SE COLOCA DEBAJO DE LA GRÚA DE PÓRTICO	N/A
Operador de grúa de pórtico, controlador y supervisor de muelle.	LA GRÚA DE PÓRTICO MUEVE UN CONTENEDOR DESDE BUQUE HACIA MUELLE LA GRÚA DE PÓRTICO DEPOSITA EL CONTENEDOR SOBRE LA PLATAFORMA DEL TRACTOR - CAMIÓN	N/A
Controlador y supervisor de muelle	¿TIPO DE CONTENEDOR DESCARGADO? 20, 40 Y 45 PIES → ENVIO AL PATIO 4A, 4B O 4C → 1 VACIO → ENVIÓ AL PATIO 1C, 2C O 3C → 2 REFRIGERADO → ENVIÓ AL PATIO 1A O 1B → 3 1 2 3 →	N/A
Operador de tracto - camión	TRASLADO DEL CONTENEDOR DESDE MUELLE HACIA LA SECCIÓN DE PATIO ASIGNADA EL TRACTO – CAMIÓN SE COLOCA DEBAJO DE LA GRÚA DE PATIO	N/A
Operador de grúa de patio, controlador y supervisor de patio.	LA GRÚA DE PATIO TOMA EL CONTENEDOR DEL TRACTO – CAMIÓN Y LO ALMACENA EN LA SECCIÓN DE PATIO ASIGNADA	N/A
Operador de tracto – camión	EL TRACTOR CAMIÓN VACIO SE TRASLADA DESDE PATIO HACIA MUELLE FINALIZA TRANSPORTE DE DESCARGA	N/A

Nota: Las siglas N/A significan No Aplica.

3.3.2. Transporte de contenedores de exportación hacia el muelle de carga

1. Los controladores de patio y muelle reciben la documentación por parte de sus respectivos supervisores de área.

2. El controlador o supervisor (de patio) informa al operador de grúa de patio la sección donde iniciarán las operaciones de carga, para que este traslade la grúa y se posicione.
3. Los controladores o supervisor (en patio) comunican a los controladores o supervisor (en muelle) el inicio de las operaciones de carga.
4. Los controladores de muelle comunican a los operadores de camión trasladarse a los patios de almacenamiento y mencionan la ubicación donde iniciará la carga.
5. Los camiones se colocan en fila debajo de las grúa de patio.
6. La grúa de patio toma cada contenedor desde las pilas de almacenamiento y lo coloca sobre la plataforma del tracto camión.
7. El controlador de grúa (patio) inspecciona el estado físico exterior de cada contenedor, captura el número de sello, número de contenedor y lo da de alta en el sistema.

   - En caso de existir algún tipo de daño en el contenedor, discrepancias con el número de sello o de contenedor este se coloca tras de patas de la grúa pórtico o en una posición cercana, el controlador se comunica con su supervisor y elabora el recibo de intercambio de equipo.

8. El controlador de grúa (en patio) se comunica con el operador de camión y autoriza su salida, una vez que la grúa liberó el contenedor.
9. El camión se traslada desde los patios de almacenamiento hacia el muelle.
10. El camión se coloca debajo de la grúa de pórtico, el controlador de grúa (en muelle) verifica en su terminal remota el número de contenedor y de sello y la posición donde se ubicará el contenedor sobre buque, en su terminal remota lo da de baja en el sistema de la terminal.
11. El controlador indica al operador de grúa de pórtico cuando proceder con el movimiento de carga.
12. La grúa de pórtico toma el contenedor del camión y lo deposita sobre buque.
13. El controlador de muelle (en buque) captura en su terminal remota que el movimiento de carga se realizó con éxito.
14. El camión vacío se dirige desde muelle hacia los patios para continuar con el traslado de contenedores desde patio hacia muelle.

En la tabla 3.4 se describe el diagrama de flujo del transporte de contenedores.

Tabla 3.4. Diagrama de flujo del transporte de contenedores de carga (exportación).

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL TRANSPORTE DE CONTENEDORES DE CARGA (EXPORTACIÓN)		
RESPONSABILIDADES	ACTIVIDAD	DOCUMENTO REQUERIDO
Operador de grúa de patio, controlador y supervisor de patio.	INICIO TRASLADO DE GRÚA DE PATIO A LA SECCIÓN DONDE INICIA LA CARGA	N/A
Controlador y supervisor de patio.	¿TIPO DE CONTENEDOR A CARGAR? 20, 40 Y 45 PIES → TRASLADO AL PATIO 2A, 3A, 2B O 3B → 1 VACIO → ENVIÓ AL PATIO 1C, 2C O 3C → 2 REFRIGERADO → ENVIÓ AL PATIO 1A O 1B → 3 1 2 3 →	N/A
Operador de tracto - camión	EL TRACTOR – CAMIÓN SE COLOCA DEBAJO DE LA GRÚA DE PATIO	N/A
Operador de grúa de patio, controlador y supervisor de patio.	LA GRÚA DE PATIO TOMA UN CONTENEDOR DE LA ESTIBA DE ALMACENAMIENTO LA GRÚA DE PATIO DEPOSITA EL CONTENEDOR SOBRE LA PLATAFORMA DEL TRACTOR - CAMIÓN	N/A
Operador de tracto – camión	TRASLADO DEL CONTENEDOR DESDE LA SECCIÓN DE PATIO HASTA MUELLE EL TRACTO – CAMIÓN SE COLOCA DEBAJO DE LA GRÚA DE PÓRTICO	N/A
Operador de grúa de patio, controlador y supervisor de patio.	LA GRÚA DE PATIO TOMA EL CONTENEDOR DEL TRACTO – CAMIÓN Y LO CARGA SOBRE UNA SECCIÓN DE BUQUE	N/A
Operador de tracto – camión	EL TRACTOR CAMIÓN VACIO SE TRASLADA DESDE EL MUELLE HASTA EL PATIO FINALIZA TRANSPORTE DE CARGA	N/A

Nota: Las siglas N/A significan No Aplica.

La figura 3.4 muestra un diagrama sobre el sentido operativo utilizado por el subsistema de transporte en la terminal marítima, para las operaciones de carga/descarga en buques portacontenedores. Las actividades inician con la descarga de contenedores desde la embarcación (importación de mercancías, en la figura 3.4 representado con el número (1) y su traslado hacia los patios de almacenamiento. Concluida la descarga, continua la carga de contenedores sobre buque (exportación, en la figura 3.4 señalada con el numero 2) se refiere a transportar contenedores desde los patios de almacenamiento hacia muelle para ser cargados sobre buque.

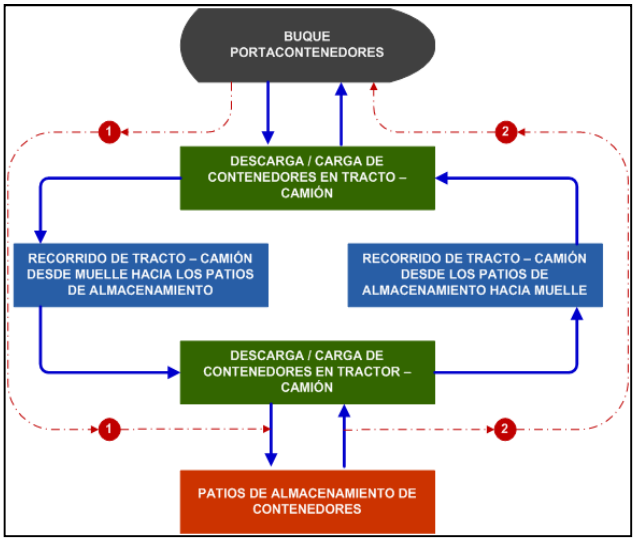


Figura 3.4. Carga/descarga de contenedores, sentido operativo del sistema de transporte**.**

3.4. Subsistema de Puertas de Entrada y Salida

El objetivo del subsistema de puertas de entrada y salida de contenedores es controlar el acceso, mantener un flujo constante del transporte público y controlar la salida de mercancías de cualquier medio de transporte y agentes externos que deseen ingresar a la terminal marítima en solicitud de servicios. A continuación se hace una descripción de los procesos desarrollados en el subsistema de entrada y salida que son necesarios para su comprensión. Los procesos o actividades de puerta que son incensarios en esta investigación no son mencionados.

3.4.1. Capturista de puerta (entrada)

Solicita al operador de S.P.F. licencia, infracción y documentación necesaria según el flujo a realizar. Captura el número de placas, número económico, licencia, nombre del operador y transporte, de no cumplir con dichos requisitos se le da a conocer al operador la razón por la cual ha sido negado su ingreso.

Dependiendo el flujo que vaya a realizar el transportista se debe seguir los siguientes pasos en puerta de entrada:

1. Retiro de contenedores de importación.

   Solicitar y revisar que las boletas de liberación no estén vencidas, se captura la información vía escáner o manual en la pantalla del flujo de retiro de contenedores de importación y verifica que coincida con lo capturado. Para el caso de contenedores refrigerados se le entregará el recibo de desconexión. Una vez concluidos estos pasos, el capturista deberá grabar la información en el software Container Terminal System (CTS). Imprimir el recibo y se entrega con la boleta al operador del transporte de S.P.F. para su ingreso, espera a que la barrera se levante e indica la ubicación a la cual dirigirse dando ingreso al operador.

2. Ingreso de Contendores llenos de exportación.

   Debe solicitar el formato único de ingreso de contenedores llenos o pre alta del contenedor según sea el caso, procede a capturar la información vía escáner o manual en la pantalla de flujo de recepción de exportación. Revisa la documentación contra lo que se refleja en pantalla, verificando físicamente el contenedor y la correcta colocación del sello. Para los contenedores que manifestados en formato único de ingreso de contenedores llenos o pre altas como IMO (International Marítima Organización) el capturista debe verificar que contengan pegadas correctamente 4 etiquetas de 25 cm. del tipo de IMO registrado en el documento y distribuidas una en cada uno de sus cuatro paneles.

   Cuando se trate del ingreso de contenedores especiales deberá revisar que la mercancía venga debidamente asegurada y en caso de existir alguna duda al respecto deberá informar al jefe o supervisor de patio para su revisión y aprobación de ingreso. Tratándose de contenedores refrigerados deberá verificar que la solicitud de ingreso y/o pre-alta contenga la temperatura de operación y se entrega al operador el recibo de conexión, en caso de contingencia se le proporciona un recibo de intercambio de equipo para que sea llenado por el controlador de patio y/o refrigerados. Si el capturista de puerta de entrada no encuentra la pre-alta en el sistema, le otorga un pase de salida al operador para su retiro.

Una vez concluidos estos pasos, el capturista deberá grabar la información en el CTS, se imprime el recibo y se entrega con la documentación del flujo a realizar al operador del transporte de S.P.F. espera a que la barrera se levante e indica la ubicación del área donde se realizara el servicio y da ingreso al operador.

3. Ingreso de Contenedores Vacíos.

   Debe solicitar el formato único de ingreso de contenedores vacíos o pre alta del contenedor según sea el caso, procede a capturar la información vía escáner o manual en la pantalla de flujo de recepción de ingreso de vacíos. Revisa la documentación contra lo que refleja en pantalla, verifica físicamente el contenedor. Una vez concluidos estos pasos, el capturista deberá grabar la información en el CTS, imprime el recibo y espera a que la barrera se levante, entrega la documentación del flujo a realizar y permite el ingreso del operador.

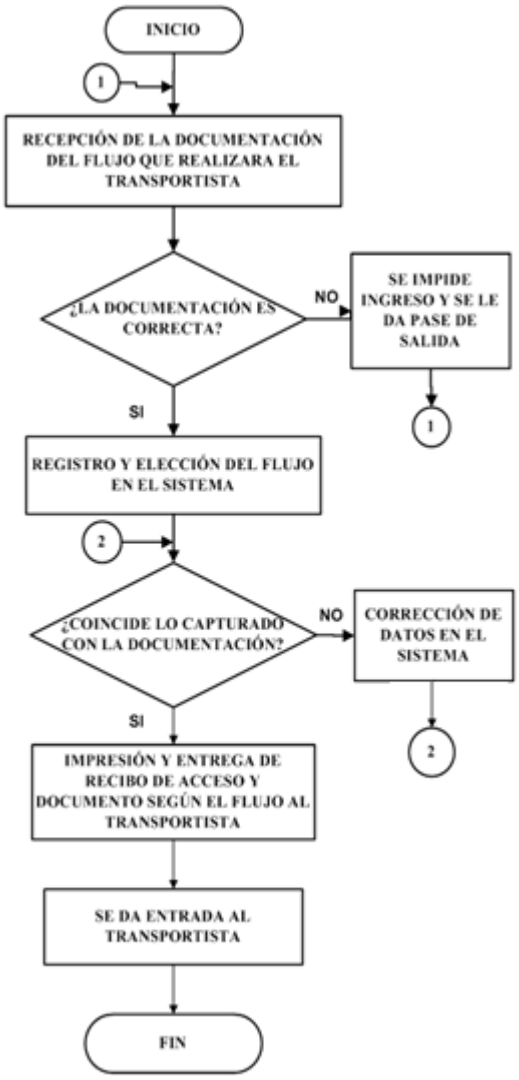
   Si el formato de ingreso de contendores vacíos, NO cumple con los datos requeridos o el contenedor físico no coincide con los datos de los documentos, NO PERMITE el ingreso al transporte y debe explicar al operador la razón de NO aceptar su ingreso.

4. Asignación de Vacíos.

   Solicita al operador la carta de asignación de vacíos y verifica que se encuentre dado de alta en el sistema. Verifica que la carta de asignación contenga los datos requeridos; línea naviera, sello original de la misma, número, cantidad de contenedores, chasis y/o generadores que lo ampara, medida y tipo según sea el caso. Se procede a capturar la información en la pantalla de flujo de carga de vacíos y verifica que coincida con lo capturado. Una vez concluidos estos pasos, el capturista deberá grabar la información en el CTS. Imprime el recibo y espera a que la barrera se levante, entrega el formato de asignación de contenedores vacíos y da ingreso al operador. Si la carta de asignación NO cumple con los datos requeridos y/o NO esté actualizado en el sistema, NO DEBERÁ registrar el movimiento, debe explicar al operador la razón de NO aceptar su ingreso y darle un pase de salida.

En la tabla 3.5 se describe el diagrama de flujo del proceso de puerta de entrada

Tabla 3.5. Diagrama de flujo del proceso puerta de entrada**.**

DIAGRAMA DE FLUJO "PUERTA DE ENTRADA"		
RESPONSABILIDADES	ACTIVIDAD	DOCUMENTO REQUERIDO
Capturista de Puerta		Licencia de chofer, boleta de liberación, carta de asignación, formato único de ingreso, solicitud de servicio, formato del departamento de mercancías, oficio de aduana. CTS Recibo de entrada, licencia de chofer, boleta de liberación, carta de asignación, formato único de ingreso, solicitud de servicio, formato del departamento de mercancías, oficio de aduana.

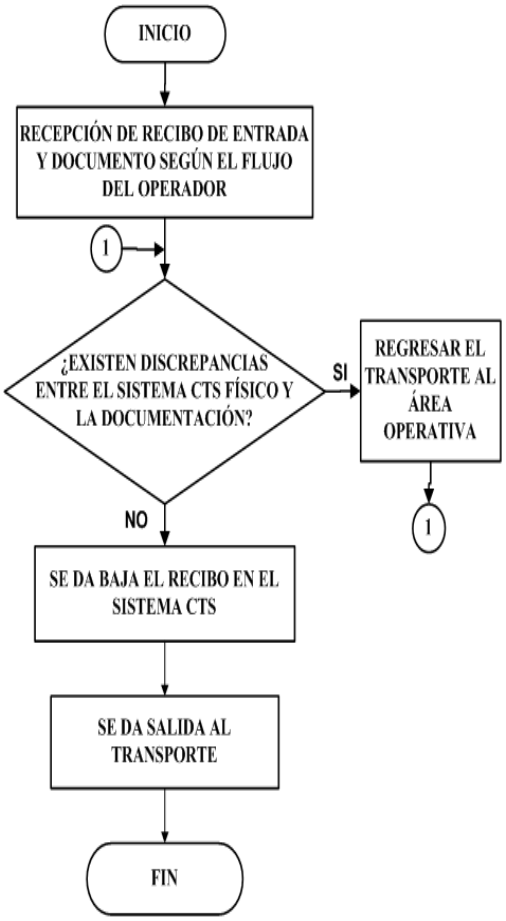
3.4.2. Capturista de puerta (salida)

El capturista solicita al transportista el recibo acceso a la terminal y la documentación del flujo realizado. Pasa por el scanner el código de barras del recibo de acceso, verifica que la información del sistema coincida con la documentación que presenta el contenedor, mercancía, chasis y/o generador físicamente en el transporte, dependiendo el flujo que realizó el transporte, se deben seguir los siguientes pasos en la puerta de Salida:

1. Retiro de Contenedores de Importación. Se solicita recibo y boleta de liberación, se verifica que coincida con lo capturado en el sistema y físicamente con el o los contenedores que se están retirando. El capturista de puerta de salida, deberá confirmar con la hora del sistema, que los transportes no salgan después del horario establecido por la aduana, si se llegara a presentar un transporte después de dicho horario, deberá de regresarlo para que lo descarguen en el patio y/o confirmar con el Jefe de Patio si tiene autorización para salir. En el caso de detectar discrepancias del sistema con los documentos que el transportista presenta deberá notificar al jefe de patio.
2. Ingreso de Contenedores llenos de exportación. Se solicita recibo con el formato único de ingreso de contenedores llenos y/o (pre-altas) se verifica que coincida con lo capturado en el sistema. Se da de baja el recibo en el CTS se levanta la barrera y el transportista puede salir. Una vez concluidos estos pasos se archiva el recibo con el formato único de ingreso.
3. Ingreso de Vacíos. Se solicita recibo con el formato de ingreso de contenedor, chasis y/o generador, o formato electrónico (pre-altas) verificando que coincida con lo capturado en el sistema. Se da de baja el recibo en el CTS se levanta la barrera y el transportista puede salir. Una vez concluidos estos pasos se archiva el recibo con el formato de ingreso y/o pre-alta.
4. Asignación de Vacíos. Se solicita recibo y carta de asignación de vacíos, se verifica que coincida con lo capturado en el sistema y físicamente con el o los contenedores, chasis y/o generador que se están retirando.

En la tabla 3.6 se describe el diagrama de flujo del proceso de puerta de salida.

Tabla 3.6. Diagrama de flujo del proceso puerta de salida**.**

DIAGRAMA DE FLUJO PUERTA DE SALIDA		
RESPONSABILIDADES	ACTIVIDAD	DOCUMENTO REQUERIDO
Capturista de Puerta		Recibo de entrada, boleta de liberación, carta de asignación, formato único de ingreso, solicitud de servicio, formato del departamento de mercancías, oficio de aduana, recibo de conexión/desconexión, recibo de intercambio de equipo.
		Recibo de entrada, boleta de liberación, carta de asignación, formato único de ingreso, solicitud de servicio, formato del departamento de mercancías, oficio de aduana, tarja única, CTS, recibo de conexión/desconexión, recibo de intercambio de equipo.
		Recibo

3.4.3. Notas generales

1. En caso de que algún operador presente alguna discrepancia en su documentación contra lo físico y las puertas de entrada se encuentren con flujos continuos que puedan llegar a generar retrasos y provocar filas de transportes, se deberá dar un recibo de pase de salida anotando en el campo otros la observación por la cual se está regresando el transporte.

2. En caso de que algún operador presente alguna discrepancia en su documentación contra lo físico o por no alcanzar a salir en el horario establecido por la aduana o por cuestiones ajenas a la terminal decida retirarse sin haber realizado su flujo de entrada, se deberá avisar al jefe de patio y/o al subgerente de operaciones para desligar el servicio del flujo registrado.
   - El capturista de puerta de salida deberá pasar el recibo por el scanner y corroborar que el servicio que registro el transporte quedó completamente desligado por el jefe de patio y/o subgerente.
3. En caso de contingencia se suspenderá la entrada y salida de contenedores, mercancías, chasis y/o generadores de la terminal.

Iris F.A. *et al*. (2003) hace una distinción similar de los procesos. La carga y descarga puede ser dividido en subprocesos diferentes, como se describe a continuación. Cuando un barco llega al puerto, los contenedores de importación son descargados de la nave, a continuación, los envases son trasladados desde el buque hasta el área de almacenamiento por los vehículos de transporte. Los patios se componen de un número de carriles, donde los contenedores se pueden almacenar durante un cierto periodo. Los carriles son atendidos por grúas o transportistas. Un vehículo coloca la carga debajo de la grúa, esta toma el contenedor y lo almacena. Después de un cierto período los contenedores almacenados se recuperan por medio de grúas y son transportados por los vehículos a los nodos de transporte como buques de mar, camiones o trenes terrestres. Este proceso también puede ser realizado en orden inverso, para cargar la exportación de contenedores en un barco. En la figura 3.5 se ejemplifican los procesos portuarios descritos por Iris (2003) [45].

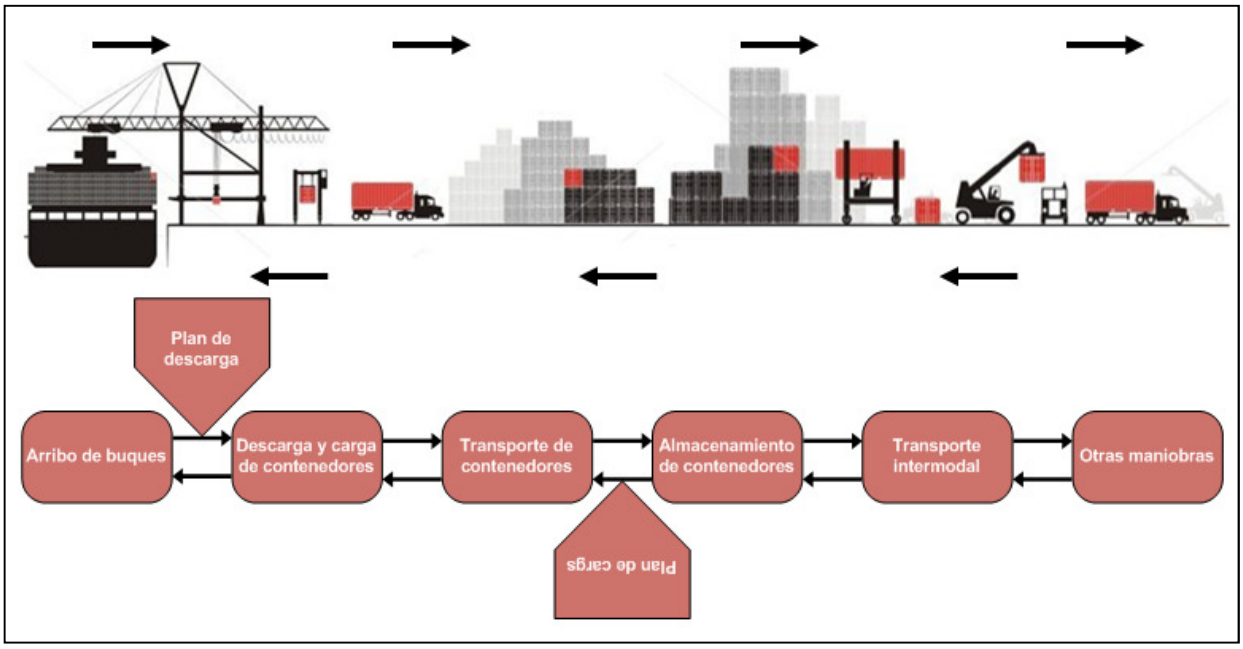


Figura 3.5. Procesos operativos en una terminal marítima de contenedores.

3.4.4. Planteamiento del modelo conceptual

Shannon R. (1975) argumenta que desarrollar un buen modelo conceptual es tan eficaz para un proyecto que puede llevar al investigador a identificar soluciones en el sistema de estudio sin la necesidad de continuar con un trabajo de simulación adicional [46].

Ward (1989) describe al modelado conceptual como una etapa fundamental en un estudio de simulación, un modelo correctamente diseñado respalda las posibilidades de éxito y la eficacia del proyecto, cumpliendo los objetivos establecidos en los tiempos de trabajo [47].

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

- *Objetivos:* propósito del modelo y proyecto de modelado.
- *Entradas:* son los elementos del modelo que pueden ser alterados para conseguir una mejora en, o una mejor comprensión de la realidad.

- *Salidas:* reporte de los resultados de ciclos de simulación.
- *Contenido:* los componentes que se representan en el modelo y sus interconexiones.
- *Supuestos*: los supuestos son formas de incorporación de incertidumbres y creencias sobre el mundo real en el modelo.
- *Las simplificaciones*: las simplificaciones son formas de reducir la complejidad del modelo.

Shannon R. (1998) menciona que existen varios tipos diferentes de metodologías de simulación, él se enfoca en una simulación estocástica, discreta, orientado a los procesos de enfoque. En este enfoque, modela un sistema en particular mediante el estudio del flujo de *entidades* que se mueven a través de dicho sistema. Las entidades pueden ser clientes, órdenes de trabajo, piezas especiales, paquetes de información, etc. Una entidad puede ser cualquier objeto que entra en el sistema, se mueve a través de una serie de procesos y luego sale del sistema. Estas entidades pueden tener características individuales que llamaremos *atributos.* Un atributo está asociado con la entidad específica, individual. Los Atributos son las características que posee una entidad tales como el nombre, prioridad, fecha de vencimiento, enfermedad, número de cuenta, etc. Como la entidad fluye a través del sistema, serán procesados por una serie de *recursos.* Los recursos satisfacen las necesidades que tienen las entidades de ser procesadas. Por ejemplo, recursos pueden ser trabajadores, equipo de manejo de materiales, herramientas especiales, una cama de hospital, el acceso a una computadora, una máquina, espera o espacio de almacenamiento, recursos, etc. Pueden ser fijados en un lugar (por ejemplo, una máquina de pesado, cajero de banco, cama de hospitales) o en movimiento sobre el sistema (por ejemplo, una carretilla elevadora, grúas, reparador, doctor).

Un modelo de simulación es por lo tanto una programación por computadora que representa la lógica del sistema como entidades con atributos de llegada, se unen a las colas de espera para la asignación de recursos requeridos, son procesados por los recursos, salen del sistema y son publicados los resultados. Además de la lógica de cómo una entidad fluye a través del sistema, el programa mantiene un registro de tiempo y avances, así como un seguimiento a la utilización de los recursos, el tiempo transcurrido en las colas, tiempo en el sistema (tiempo de tratamiento) y otras estadísticas deseadas [48].

Los cuatro subsistemas (muelle, patio, transporte y puertas) se encargan de desarrollar las operaciones de importación y exportación de mercancías, cada proceso tiene un comportamiento propio pero todos dan servicio y trabajan como un sistema completo. Es importante entender que las fallas o retrasos en alguno de los subsistemas afecta a todo el sistema.

En la figura 3.6 se muestra un diagrama de flujo global de la terminal marítima de contenedores donde son representados cada uno de los cuatro subsistemas y se hace una distinción de las actividades de importación y exportación de mercancías. Este diagrama servirá como una importante guía conceptual y en la lógica para desarrollar el modelo de simulación en el software Arena Rockwell.

La figura 3.7 muestra un mapa de procesos de la terminal de contenedores en el cual se exhiben de forma general todas las actividades administrativas y operativas desarrolladas en la empresa desde los inicios de sus procesos hasta concluir los servicios prestados a sus clientes. Este mapa de procesos será de utilidad en el desarrollo de la simulación.

3.4.5. Diagrama de flujo global de la terminal marítima de contenedores

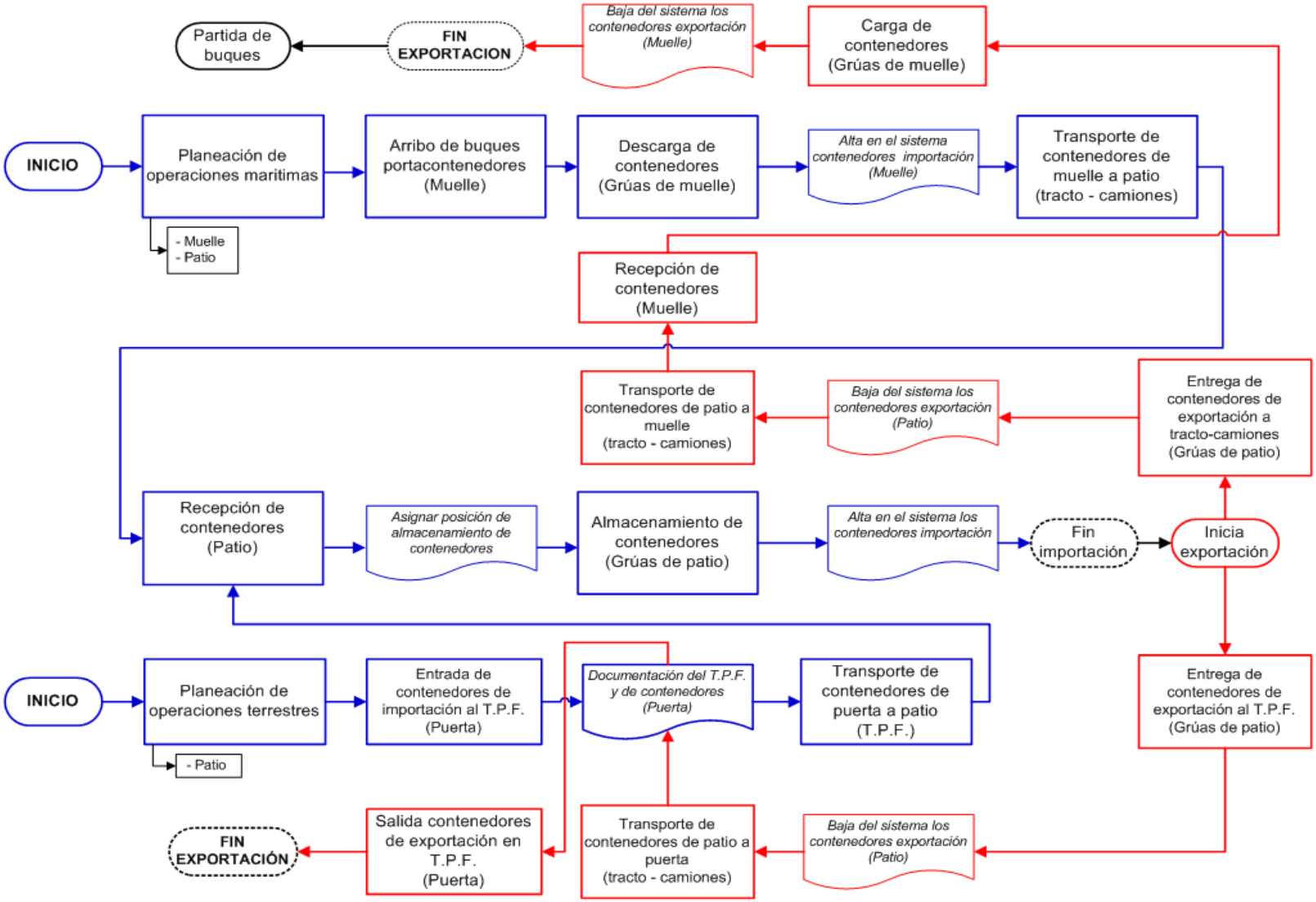


Figura 3.6. Diagrama de flujo global de la terminal marítima de contenedores.

Nota: En color azul se representan las entradas (importación), en rojo las salidas (exportación), el transporte público federal se abrevia T.P.F.

3.5. Elementos del modelo de simulación de la terminal marítima de contenedores

La descripción de los elementos, características, alcances, limitaciones, que se documentaran en el modelo conceptual y serán representados en el modelo de simulación por computadora de la terminal marítima del puerto de Ensenada B.C. se hacen siguiendo la metodología propuesta por el autor David Kelton, estos son:

3.5.1. Entidades

Las *Entidades* en la terminal marítima son los objetos dinámicos que se representarán en la simulación, son creados, se mueven alrededor del sistema, durante un tiempo y después son desechados conforme se retiran. Las entidades son:

1. *Buques portacontenedores*. Arriban a la terminal en busca de servicios de carga/descarga, son atendidos y se retiran del puerto.
2. *Contenedores*. Son mercancías de importación y exportación. Las primeras llegan en buques, se almacenan en la terminal, son manipuladas y salen del puerto. Las segundas arriban al puerto vía terrestre, son almacenadas, manipuladas y se retiran a través del transporte marítimo.

3.5.2. Atributos

Los *Atributos* son las características comunes de todas las entidades, pero con un valor especifico que puede ser distinto entre las entidades.

Para las Entidades Buque Portacontenedores:

1. Buques portacontenedores.
2. Línea naviera a la que pertenece cada embarcación (clientes).
3. Dimensiones de las embarcaciones necesarias para el atraque.

Para las Entidades "Contenedores":

Si, el tipo de contenedor es *vacío,* se consideran:

4. Seco.
5. Refrigerados.
6. Medidas de contenedores 20, 40 o 45 pies.
7. Líneas navieras (Hapag Lloyd, Hanjin Shipping, Maersk Sealand, APL logistics, CSAV, CMA CGM, CSCL).

Si, el contenedor es de *exportación,* se consideran:

8. El buque donde se cargará el contenedor.
9. Puerto de descarga (destino).
10. Tipo de contenedor (seco, refrigerado, open top, peligroso, sobre dimensionado, especial, high cube).
11. Medidas de contenedores 20, 40 o 45 pies.
12. Peso total del contenedor.

Si, el contenedor es de im*portación,* se consideran:

13. Tipo de contenedor (seco, refrigerado, open top, peligroso, especial, etc.).
14. Medidas 20, 40 o 45 pies.

3.5.3. Entradas en el modelo

1. Distribución de probabilidad para los arribos.
2. Tiempo entre arribos.
3. Tiempo promedio de colas de espera.
4. Movimientos aproximados.
5. Tiempo promedio de operación.
6. Tiempo de partida posterior a las operaciones.

3.5.4. Para el subsistema de transporte interno

Se consideran:

1. Tiempo promedio esperado para el transporte de carga de importación.
2. Tiempo promedio esperado para el transporte de carga de exportación.
3. Productividad esperada en operación de buque.
4. Velocidad de transporte sin carga.
5. Velocidad de transporte con carga.

3.5.5. Variables globales

Las *Variables Globales* se refieren a la información que refleja alguna característica del sistema en conjunto.

Para los arribos de buques portacontenedores, se consideran:

1. Disponibilidad de la maquinaria de muelle.
2. Productividad esperada

Para el subsistema de carga/descarga, se consideran:

3. Movimiento de contenedores de carga y descarga.
4. Buques operados en un mes.
5. Producción bruta por grúa (movimientos por hora = mph).
6. Producción bruta por buque (mph).
7. Producción bruta de muelle (mph).
8. Porcentaje de ocupación de muelle.
9. Productividad esperada en un mes.

Para el subsistema de almacenamiento de contenedores (patio):

10. Porcentaje disponible de almacenamiento de contenedores en el primer segundo, tercero, cuarto y quinto nivel.
11. Tiempo de operación de los equipos disponible en un mes (en horas).
12. Productividad de patio esperada en un mes.
13. Estadía promedio del transporte público federal para importación y exportación.
14. Ingreso promedio de camiones de transporte público esperados por días en un mes.
15. Ingreso promedio de contenedores en transporte público esperados por día en un mes.
16. Tiempo promedio esperado para entregar contenedores vacíos a transporte público.
17. Tiempo promedio esperado para la entrega de contenedores de importación/exportación a transporte público.

3.5.6. Recursos

Los *Recursos*, se refiere a personas, maquinas, área de almacenaje o todo aquello necesario para llevar a cabo una actividad necesaria. En la simulación se consideran:

Maquinaria.

1. 3 Grúas de pórtico, brindan atención de carga/descarga directamente a buques.
2. 3 Grúas RTG (Rubber Tyred Gantry), utilizadas para el almacenamiento de contenedores en patios.

3. 4 Grúas frontales, utilizadas en el almacenamiento de contenedores en patios.
4. 14 tracto camiones, son utilizaos en el transporte de contenedores.
5. 10 Montacargas, en operaciones de buque se utilizan para mover herramientas necesarias para los subsistemas de muelle y patios, entre otras actividades.
6. 288 conexiones eléctricas utilizadas para energizar contenedores refrigerados.

Servicios brindados en la terminal.

7. Carga y descarga de mercancía contenerizada.
8. Recepción y entrega de mercancía contenerizada.
9. Almacenamiento de contenedores.

Superficie operativa de la terminal:

10. Actual, área de 14.3 hectáreas.

Capacidad de almacenamiento:

11. Actual 7,500 TEUS.
12. Proyectada 8,500 TEUS

Capacidad de recepción de buques:

13. Actual, de 305 metros de eslora.

Capacidad de atraque:

14. Actual, un muelle de 300 metros con profundidad de 15.5 metros.
15. Proyectada, un muelle de 600 metros con profundidad de 15.5. metros.

Calado marino:

16. Profundidad de 14.5 metros.

Capacidad operativa:

17. Productividad de 24 Teu/hora en cada una de las diferentes grúas.
18. Actual, capacidad anual de manejo y almacenamiento 300,000 Teu.
19. Proyectada (sin fecha específica), capacidad anual de manejo y almacenamiento 400,000 Teu.

3.5.7. Colas

Las *Filas* o *Colas*, se refiere a que una entidad se detiene, las posibles causas son la necesidad de recursos, los recursos no están disponibles por fallas, recursos ocupados, en estos casos se

generan colas, son lugares de espera para las entidades. Las colas formadas en la terminal y consideradas en la simulación son:

1. Colas de espera de buques portacontenedores, causada por la falta de capacidad del puerto.
2. Colas de tracto camiones en muelle esperando servicio, las posibles cusas son traslados de grúas, fallas de grúa, reacomodo de contenedores sobre buque o muelle, retiro de tapas metálicas de buque realizado por grúas, filas de espera de tracto camiones en espera de atención de las grúas.
3. Colas de tracto camiones en patio, las posibles cusas son traslado de grúas, fallas de grúa, reacomodo de contenedores en patio, atención al transporte público federal, filas de espera de tracto camiones para recibir atención por las grúas, fila de espera ocasionado por que una grúa de patio estorba el traslado o movimiento de otra grúa.
4. Colas de camiones del transporte público en puerta de entrada y salida, ocasionadas la saturación de servicio en puertas.

3.5.8. Eventos

Los *Eventos*, son situaciones que suceden en un instante de tiempo (simulado) que puede cambiar atributos, variables o acumuladores estadísticos. Los eventos que suceden durante las operativas de buque y se consideran en la simulación son:

1. Inicio de las operaciones de buques.
2. Inicio y fin de las operaciones de importación (descarga).
3. Inicio y fin de las operaciones de exportación (carga).
4. Fallas de maquinaria en muelle y patios.
5. Carga de contenedores especiales, sobre dimensionados o especiales. Estos eventos retrasan las operaciones.
6. Traslado de maquinaria, ocasionan retrasos en las operaciones.
7. Apertura de puertas de acceso y salida, ocasiona retrasos en las operaciones de buque.
8. Cierre de puertas de acceso y salida, mejora el flujo y velocidad de las operaciones de buque.
9. Termino de las operaciones de buques.

3.5.9. Entradas y salidas de simulación

Pidd (1999) presenta un enfoque eficaz para diseñar la simulación, se refiere a comenzar con un modelo lo más sencillo posible y poco a poco añadir todos sus alcances y nivel de detalle. Es recomendable construir tablas de los datos (entradas) e indicadores que serán analizados y utilizados en el estudio de simulación para definir comportamientos de las *entidades*, *atributos*, *recursos*, *variables globales* y demás componentes de simulación que faciliten tomar decisiones sobre el alcance del modelo. Estas ayudas deben mostrar en una forma de cómo el modelo base (la lista completa de los detalles) se convierte en un modelo globalizado, resumiendo lo que se va a incluir en el modelo y cómo se va a representar [49].

Se procederá a realizar listas de datos de entrada necesarios para tomar muestras de los diferentes procesos de la terminal marítima que serán examinados, estos son: proceso de llegadas de buque portacontenedores, subsistema de carga/descarga, subsistema de almacenamiento, transporte interno y puertas de entrada/salida.

La importancia de recolectar datos radica en que a través de tales elementos se podrán analizar problemas en la empresa, apoyando a su interpretación y posteriormente a la toma decisiones basados en los criterios estudiados. Los datos a investigar se basan en la identificación de información en registros históricos, en la toma de tiempos de procesos, en la disponibilidad de maquinaria, capacidad de grúas e instalaciones, fallas de equipos, arribo de embarcaciones, capacidad de personal, alcances del puerto, entre otros.

En las tablas 1.1 a la 1.4 del anexo 1 se muestran los datos de entrada que serán coleccionados en el estudio. En la segunda y tercera columna se indica el elemento que se analiza y se explica su importancia. La cuarta columna menciona las unidades con que será medido el correspondiente elemento. Las tablas de anexos 1.5 a 1.8 se refieren a los métricos del sistema.

Los métricos o indicadores son los parámetros utilizados para realizar la validación del estudio. Se utilizarán los siguientes métricos o indicadores con los que se medirán los resultados del proyecto, posterior a ello es necesario compararlos con datos históricos y analizarlos contra el modelo de simulación. Las definiciones adoptadas en la terminal de

contenedores junto con los comentarios sobre su uso e interpretación se describen a continuación [50].

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

En la figura 3.7 se presenta el mapa de procesos de la terminal marítima de contenedores, son descritos los procesos tanto operativos como administrativos.

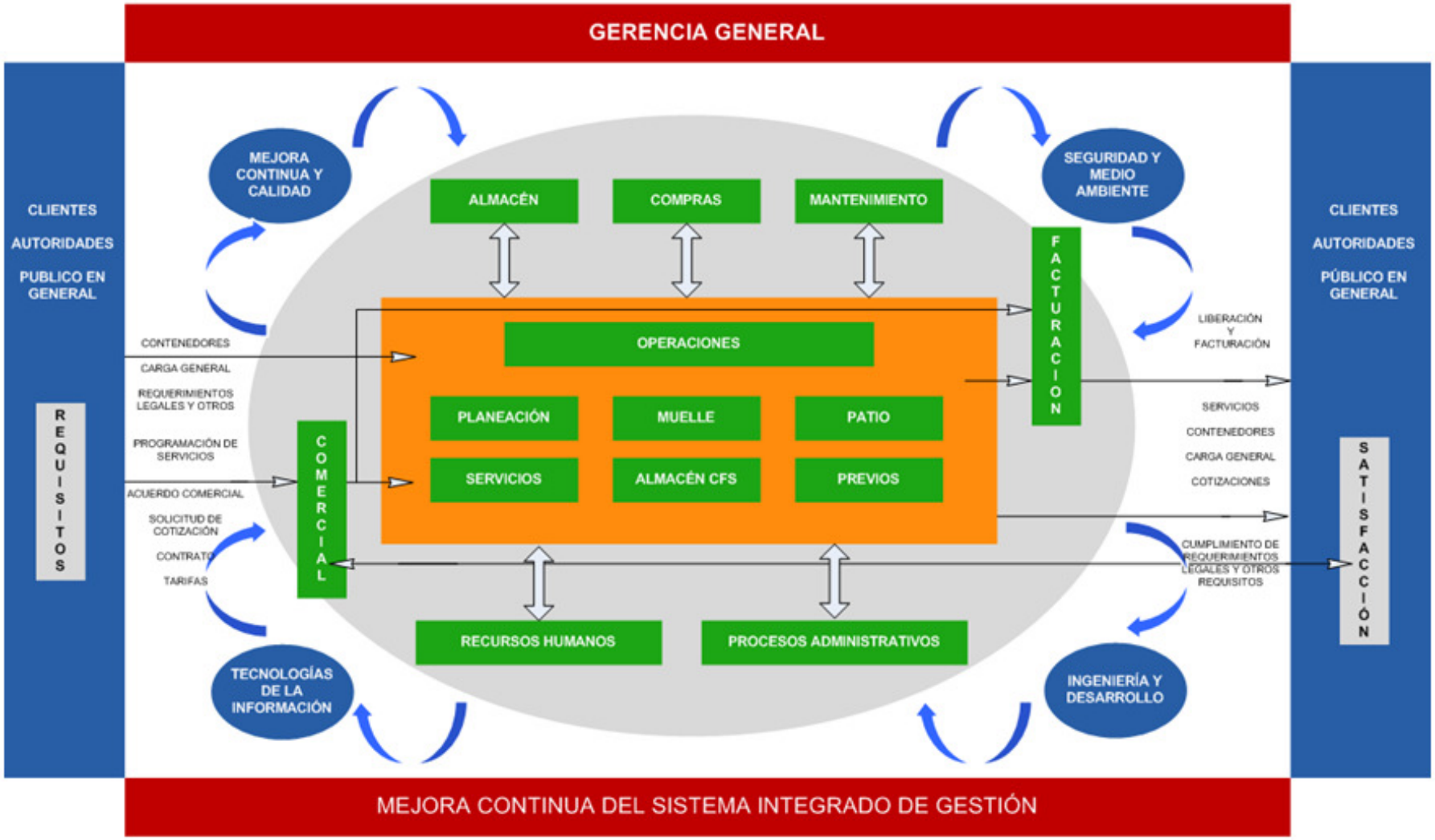


Figura 3.7: Mapa de procesos de la empresa.

3.6. Colección y tratamiento de los datos

Los datos son, por supuesto, fundamentales para el desarrollo y el uso de modelos de simulación. Mucho esfuerzo puede tomar la etapa de diseño del modelo conceptual y la codificación del modelo de computadora. Sin embargo, si los datos que se utilizan para diseñar y rellenar el modelo son inexactos entonces los resultados del modelo también serán inexactos. Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información. Algunos ejemplos de técnicas son; la observación directa, el análisis documental, análisis de contenido, entre otras.

Los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información. Ejemplo: fichas, formatos, cuestionarios, guías, listas de cotejo, grabadores, etc. Las técnicas de procesamiento y análisis de datos se refiere a las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso, entre otras.

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

Pidd (2003) menciona que por lo general en simulación, la frase información cuantitativa se entiende como los datos de entrada o información numérica. Ciertamente los datos numéricos son muy importantes en el modelo de simulación y en algunos casos grandes cantidades de datos son requeridos. Se necesitan datos sobre los ciclos y procesos (de servicio), las frecuencias de los tiempos de descomposturas, patrones de llegadas y así sucesivamente. La concentración en los datos cuantitativos, sin embargo, ignora la importancia de los datos cualitativos. En términos generales, estos no son hechos numéricos, podrían considerarse como los hechos de un sistema que se expresan en imágenes o palabras. Un modelista a menudo tiene que analizar datos para proporcionar información útil para la simulación [51].

En simulación, como en cualquier ejercicio de modelado, los requisitos de datos se pueden dividir en tres tipos (Pidd 2003). La primera es la información preliminar o contextual. Para

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

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

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

En este punto de la investigación en la terminal marítima de contenedores se han establecido listados de datos de entrada y de métricos, información correspondiente a la estructura de diseño del modelo conceptual, que podrá ser utilizada en la etapa de validación una de las siguientes fases del proceso de simulación, entre otras. (Pidd M. 2003), menciona que todos los modelos de simulación son simplificaciones de la realidad de un sistema y la cuestión conceptual de modelado es un resumen apropiado de la simplificación de la realidad.

La siguiente etapa del estudio se refiere a la colección y tratamiento de los datos. Se procederá a revisar los datos históricos de la empresa para conocer la información disponible en registros portuarios y determinar los datos que se obtendrán muestreando directamente en el sistema, ver anexo 1.

3.6.1. Investigación de campo y muestreo del trabajo

La colección es importante para asegurar que los datos son tan exactos como sea posible. Una vez establecidos cuales datos se obtendrán directamente del sistema, se realizó una investigación de campo la cual consiste en muestrear directamente los procesos portuarios, ver anexo 2 y 3.

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

Niebel W. *et al*. (2009) menciona, los planes inician con una estimación preliminar de las actividades para las que se busca información. Esta estimación puede incluir una o más actividades y a menudo se hace a partir de datos históricos. La información que no se encuentre en datos históricos se deberá muestrear de las áreas de trabajo, el muestreo puede tomar mucho tiempo dependiendo de las dimensiones del proceso(s). El analista debe diseñar una forma de observación para registrar los datos recolectados durante el estudio. La mejor forma se hace a la medida de los objetivos del estudio [52].

Se presentan las formas que se utilizaron para realizar el muestreo del trabajo en los subsistemas de muelle, patio, transporte interno y puertas en la terminal marítima de contenedores. Banks J. (1998) menciona que la recogida de datos es una de las etapas más laboriosas en la construcción de un modelo de simulación estocástico, ver anexo 2 y 3 [53].

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

- Determinar el tamaño de muestra de los datos a colectar.
- Realizar las pruebas de independencia y estabilidad (solo para llegadas).
- Ajustar los datos a distribuciones de probabilidad.
- Validar los ajustes de los datos a las distribuciones de probabilidad.

3.6.2. Cálculo del tamaño de muestra y error

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

1. Definir el % de error permitido (%EP) o margen de error con el que se trabajara en el estudio. Un valor entre 2 y 10 % son usualmente utilizados.
2. Obtener una muestra inicial de 30 observaciones, $n = 30$ para todos los procesos que serán analizados. El grueso de n depende de la variación presente en los procesos.
3. Calcular el error de la muestra (también llamado intervalo de confianza). Los valores del grado de confianza que suelen usarse son el 90% (con $\alpha = 0.10$), el 95% (con $\alpha = 0.05$) y 99% ($\alpha = 0.01$). Utilizando la siguiente ecuación se realiza el cálculo:

$$E = t_{n-1}\frac{\alpha}{2} \bullet \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad 3.1$$

Dónde:

E: es el error de la muestra.

S: es la desviación estándar de la muestra.

t: es el valor de tablas t-student.

n: es el tamaño de la muestra.

α: es el nivel de significancia entre 5%.

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

$$\%E = \frac{E}{\overline{X}} \bullet 100$$

3.2

Dónde:

$\overline{X}$: Media de la muestra

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

$$EP = \frac{\%EP \bullet \dot{X}}{100}$$

3.3

6. Se utiliza la siguiente ecuación para calcular el tamaño de muestra requerido.

$$n \cong \left(Z_1 - \frac{\alpha}{2} \bullet \frac{S}{EP}\right)^2$$

3.4

Esta ecuación es igual a la 3.1 sólo que se sustituye el valor de la distribución t student por el valor Z de la distribución normal debido a que el tamaño de la muestra será de más de 30 datos. Otra observación en la ecuación es que se utiliza a *S (desviación estándar)* obtenida de la muestra inicial considerando que es la misma que el de una muestra más grande (Kelton, 2008). Obtenido el tamaño de muestra requerido se concluye con la colección de datos [54].

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

$$IC = \overline{X} \pm E$$

3.5

Dónde:

IC = Intervalo de confianza.

Los datos colectados se introdujeron en hojas en Excel, se obtuvieron sus datos como media, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar y error para su posterior utilización en la etapa de validación.

3.7. Análisis de datos de entrada

Una vez concluida la fase de recolección de datos para los diferentes procesos y subsistemas en la terminal de contenedores, se continúa con la etapa de análisis o tratamiento de los datos de entrada. Se inicia comprobando que los datos son independientes e idénticamente distribuidos (IID), por medio de diagramas de dispersión, auto correlación y en los casos donde se presenten llegadas (ej. proceso de llegadas de buques al puerto) se procede con la construcción de gráficos de proporción de llegadas, enseguida se describen dichas técnicas. Autores como Guash *et al*. (2005) y Banks J. (1998) describen la aplicación de estas técnicas en simulación y su utilidad para demostrar que los datos son independientes e idénticamente distribuidos (IID).

3.7.1. Técnicas para evaluar la independencia de los valores de una muestra

Las técnicas para validación de ajustes que se presentan más adelante presuponen que las variables aleatorias son IID (datos independientes e idénticamente distribuidos). La hipótesis que una muestra de datos es IID implica:

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

3.7.2. Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión de las observaciones $X_1, X_2,\ldots, X_n$ es una gráfica de los pares (X_i, X_{i+1}) para i=1,2,…n-1. Si los valores Xi son independientes, los puntos (X_i, X_{i+1}) estarán distribuidos aleatoriamente en el plano. No obstante, la naturaleza de la distribución en el plano depende fundamentalmente de la distribución de probabilidad de los valores X_i. Si los valores X_i están correlacionados positivamente, los puntos de la gráfica tenderán a formar una

línea de pendiente positiva en el primer cuadrante si los valores Xi son positivos. Si los valores X_i están correlacionados negativamente, los puntos tenderán a formar una línea con pendiente negativa en el segundo cuadrante si los valores de Xi son positivos. Se recomienda un mínimo de 50 pares para sacar conclusiones.

3.7.3. Gráfica de auto correlación

La independencia se determina calculando los valores de auto correlación para diferentes valores de retardo. La auto correlación de retardo k es la correlación entre muestras separadas por k valores. Por ejemplo la auto correlación de retardo 1 se aplica a todos los pares de valores x_i consecutivos (x_1, x_2), (x_2, x_3), (x_3, x_4),…, sucesivamente. Para una muestra de tamaño n, la auto correlación de retardo k se calcula empleando n-k pares de muestras. Por tanto es necesario que n sea mayor que k.

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

La grafica de auto correlación está formada por:

Un eje vertical: el coeficiente de auto correlación

$$R_k = \frac{C_k}{S^2_{(n)}} \tag{3.6}$$

Donde C_k es la función de auto covariancia

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k}(X_i - \dot{X}_{(n)})(X_{i+k} - \dot{X}_{(n)})}{n-k} \tag{3.7}$$

Donde $S^2(n)$ es la variancia de la muestra.

Eje horizontal: retardo temporal k (k = 1, 2, 3,..., n)

3.7.4. Técnicas para evaluar la estabilidad de la distribución

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

Detectar inestabilidades en las distribuciones probabilísticas puede ser complicado. Para procesos de llegada, una opción recomendada es representar en una gráfica la proporción de llegadas hasta el tiempo T en función del tiempo T. Si la frecuencia de llegada es relativamente constante a lo largo del tiempo considerado, la gráfica será aproximadamente lineal Guasch. (2005).

3.7.5. Ajuste de datos a distribuciones de probabilidad

Una vez concluida las fases de análisis de datos y evaluada la independencia de los mismos se prosigue con la etapa de ajuste de los datos a distribuciones de probabilidad. El ajuste de datos se realiza por medio del *Analizador de datos de entrada (Input Analyzer)* una de las múltiples herramientas que acompañan al software ARENA. El Analizador de datos de entrada está diseñado específicamente para ajustar muestras a distribuciones de probabilidad para los datos observados, proporcionar estimados de sus parámetros y medir que tan bien se ajustan a los datos.

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

Cada tipo de distribución se subdivide en *continua* y *discreta*. Las distribuciones teóricas continuas que Arena usa en su modelo son la exponencial, triangular, weibull, gamma, erlang, lognormal, uniforme y normal. Se les llaman distribuciones continuas porque pueden regresar

cualquier cantidad de valor real. Por lo general se usan para representar duraciones de tiempo en un modelo de simulación.

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

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

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

- *Error cuadrático medio*. Es el promedio de los términos de error cuadrático para cada clase del histograma, que son los cuadrados de las diferencias entre las frecuencias observadas y las frecuencias de la función de la distribución de probabilidad ajustada. A mayor valor de error cuadrático más lejana esta la distribución ajustada de los datos verdaderos (y por lo tanto se tiene un peor ajuste).
- Prueba de hipótesis de bondad de ajuste *Chi cuadrada*.
- Prueba de hipótesis de bondad de ajuste *Kolmogorov-Smirnov (K-S)*.

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

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

Banks J. (2001) menciona que para aplicar un nivel de bondad de ajuste importante es necesario elegir una prueba de ajuste. Recordemos que el nivel de significación es la probabilidad falsa de rechazar a H_o (hipótesis nula): la variable aleatoria se ajusta a la hipótesis de distribución. Los niveles del valor p (p-value) importantes tradicionalmente usados en simulación son de 0.1, 0.05 y 0.01 [55].

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

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

En el anexo 4 se muestra el análisis y tratamiento de los datos para los diferentes procesos que fueron estudiados en la investigación de campo.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

4. Desarrollo del modelo de simulación

Esta etapa inicia con la descripción del modelo construido en el software de simulación, se identifican los subsistemas principales con los que se desarrollan las operaciones marítimas y terrestres portuarias. Es importante mencionar que una terminal marítima es un sistema de organización complejo, debido a la gran cantidad de elementos que intervienen en el desarrollo de sus actividades, todos ellos importantes para su correcto funcionamiento, una mala organización o errores un alguno de los subsistemas tiene repercusiones en el sistema completo, provocando penalizaciones importantes. En la tabla 4.1 se describen los subsistemas de la TM, en cada uno se mencionan los principales recursos para realizar las operaciones, estos son:

Tabla 4.1. **Descripción de subsistemas de la terminal de contenedores.**

SUBSISTEMA	RECURSOS	PROCESOS RELACIONADOS
Carga/descarga de contenedores	• Grúas de pórtico (de muelle). • Controladores marítimos y terrestres. • Personal de apoyo.	• Atraque de buque. • Autorización de operaciones. • Revisión de contenedores. • Elaboración de EIR. • Desatraque de buque.
Almacenamiento de contenedores.	• Grúas de RTG (de marco). • Grúas frontales. • Estaciones de almacenamiento. • Controladores terrestres.	• Recepción de contenedores. • Revisión de contenedores. • Almacenamiento. • Segregación de Importación, exportación y vacíos. • Atención a transporte federal.
Transporte interno	• Tracto camiones.	• Transporte de contenedores de importación (descarga, muelle – patio). • Transporte de contenedores de exportación (carga, patio – muelle).
Puertas terrestres de acceso y salida de contenedores.	• Estaciones de entrada y salida. • Capturistas de entrada y salida.	• Revisión de documentación de mercancías de exportación. • Revisión de documentación de mercancías de importación.

El modelo de simulación se construye en el software Arena Rockwell versión 12.0, su descripción se basa en la secuencia seguida en la construcción real, referente a los cuatro procesos anteriormente identificados, la construcción del modelo se define en ocho secciones, las cuales se presentan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. **Secciones del modelo de simulación de la terminal marítima.**

No.	SECCIÓN
4.1.	Recepción de buques, atraque, autorización de operaciones y partida.
4.1.2.	Descarga de contenedores desde buque.
4.1.3.	Transporte y almacenamiento de contenedores en patio.
4.1.4.	Puertas de acceso y recepción de contenedores de exportación.
4.1.5.	Almacenamiento de exportación en patio.
4.1.6.	Puerta de salida para contenedores de exportación
4.1.7.	Localización en patio de contenedores de exportación
4.1.8.	Carga de contenedores de exportación sobre buque.

Para la construcción de cada uno de los procesos y el desarrollo de la simulación fue necesario la obtención del modelo conceptual y del tratamiento de los datos de entrada vistos en el capítulo tres y cuatro respectivamente, dicha información se utiliza para alimentar el modelo de simulación. Enseguida se presenta en tablas una descripción detallada de las secciones que integran al modelo, se mencionan los comandos del software Arena Rockwell utilizados en su desarrollo y por último se describe la animación del modelo de la terminal marítima de contenedores.

4.1. Recepción de buques, atraque, autorización de operaciones y partida.

En la figura 4.1 se muestra una vista de la programación del modelo lógico, esta inicia con la llegada de buques portacontenedores al puerto, son asignadas variables para registrar las horas de llegada y la cantidad de contenedores que serán descargados. Continúa con el arribo de la embarcación a la estación de espera y estación operativa. Fueron asignados los recursos necesarios para realizar el proceso de atraque y para autorizar el inicio de las operaciones de carga/descarga, además se asignaron las variables para realizar la descarga de contenedores. En esta sección el modelo es separado en dos direcciones, en primera se continúa con la programación para el buque portacontenedores, manteniéndolo durante el tiempo necesario para realizar las operaciones, una vez que estas concluyen, prosigue con un proceso de

desatraque y partida de la embarcación. Como segunda parte el modelo continúa con las operaciones de carga y descarga de buque, para lograrlo es necesaria la programación de la primera parte. En la tabla 4.3 se presenta una descripción de los comandos que fueron utilizados.

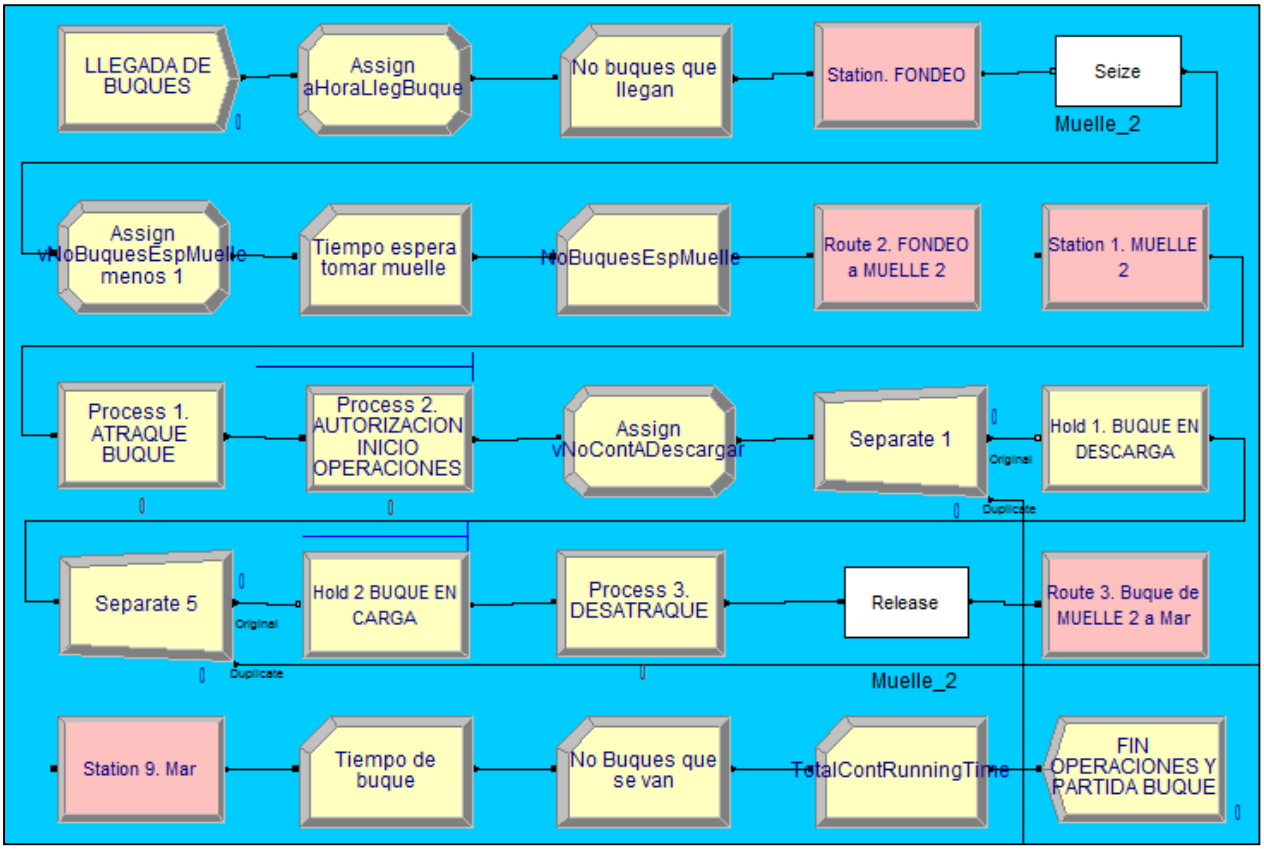
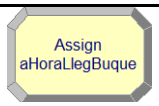
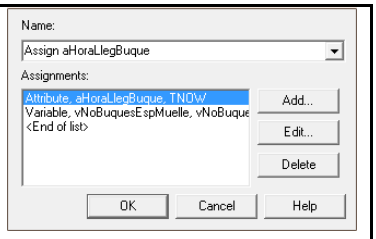
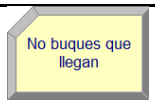
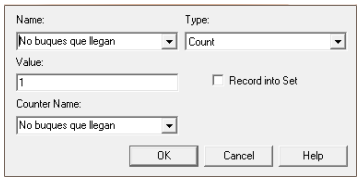
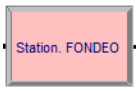
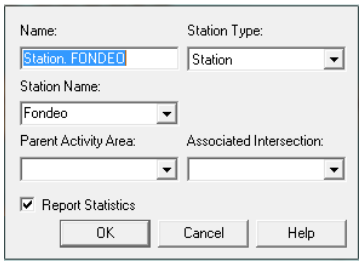
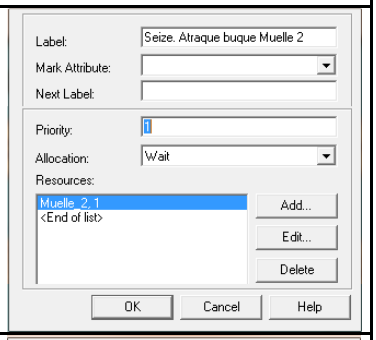
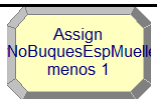
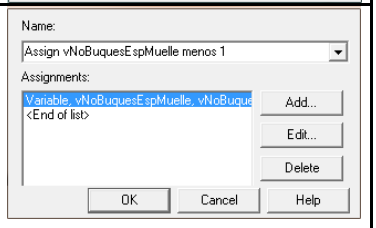
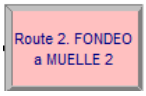
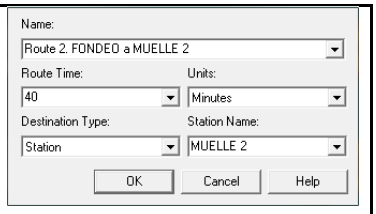
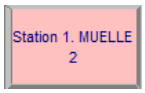
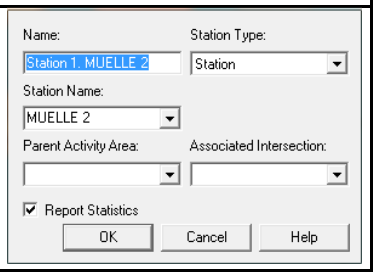
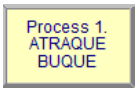
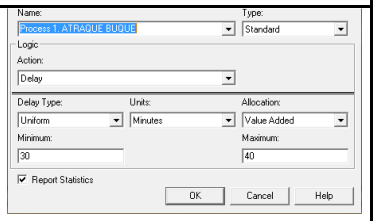
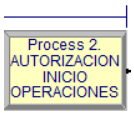
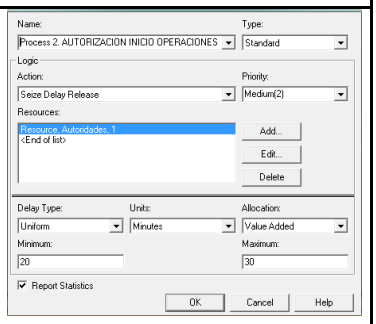
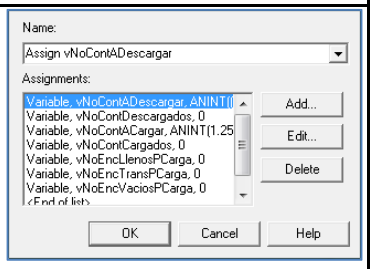


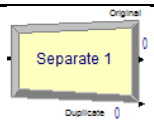
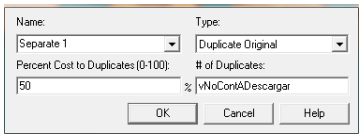
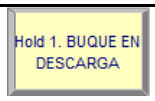
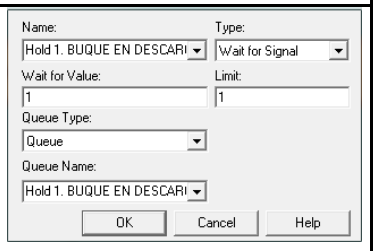
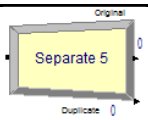
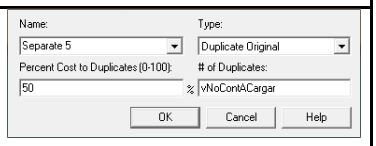
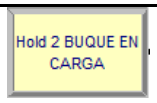
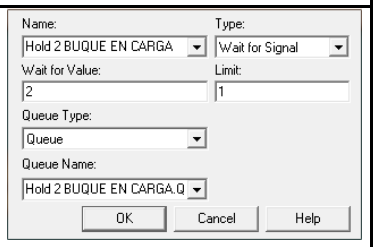
Figura 4.1. Modelo lógico, recepción de buques, atraque, autorización de operaciones y partida.

Tabla 4.3. Descripción de la sección, recepción de buques, atraque, autorización de operaciones y partida.

No	Módulo	Descripción	Datos
1	LLEGADA DE BUQUES	El modelo de simulación de la terminal marítima de contenedores inicia con el modulo *Create*; se utiliza para crear y representar las llegadas de la entidad *Buque* al puerto. Los arribos de la entidad son determinados por la distribución de probabilidad *-0.001 + WEIB (33.1, 1.04)* definida en *horas* como unidad de tiempo.	Name: LLEGADA DE BUQUES; Entity Type: BUQUE; Time Between Arrivals; Type: Expression; Expression: -0.001 + WEIB(3; Units: Hours; Entities per Arrival: 1; Max Arrivals: Infinite; First Creation: 0.0; OK; Cancel; Help

2		El módulo *Assign* se utiliza para asignar el atributo *aHoraLlegBuque* y la variable *vNoBuquesEspMuelle*. El atributo por medio del valor de tiempo *TNOW* registra los arribos de la entidad *Buque*. La variable por medio del valor *vNoBuquesEspMuelle + 1* registra las entidades *Buque* que esperan antes de arribar al puerto.	
3		El modulo *Record* se utiliza para obtener diferentes datos estadísticos de simulación. En este caso se utilizó para contabilizar las entidades *Buque* que arriban al puerto, para ello se creó el contador *No buques que llegan*. **Nota**. En la simulación se utilizaron diferentes módulos *Record* para registrar datos como contadores, tiempo entre arribos, expresiones, etc. Estos módulos no serán mencionados en las tablas de descripción, en la etapa de validación se mencionarán los resultados estadísticos obtenidos.	
4		La entidad *Buque* antes de arribar a la terminal marítima llega a una estación en mar llamada *Fondeo* ubicada a las afueras del puerto, creada a través del módulo *Station*.	
5		Antes que la entidad *Buque* arribe a la terminal para su atraque es creado el recurso *Muelle_2* por medio del módulo *Seize*. El comando *Seize* selecciona al recurso *Muelle_2* para que la entidad *Buque* lo utilice durante el tiempo que permanezca atracada en *Muelle_2*.	
6		Para llevar un control de las entidades *Buque* que son atendidas se utiliza un módulo *Assign*, se asigna la variable *vNoBuquesEspMuelle* que mediante el valor *vNoBuquesEspMuelle - 1,* actualiza el registro de las entidades que esperan ser atendidas.	

7		Con el módulo *Route* es dirigida la entidad *Buque* desde la estación *Fondeo* hasta la estación M*uelle 2*. Se define un tiempo de traslado entre estaciones de 40 minutos. **Nota.** El tiempo de traslado de la entidad *Buque* desde la estación *Fondeo* hasta la estación *Muelle 2* no se obtuvo de registros históricos, este tiempo se asignó basado en la experiencia de las autoridades portuarias y capitanes de puerto.	
8		El módulo *Station* se utilizó para dar de alta la estación *Muelle 2*, esta es el sitio de la terminal marítima donde arriba y atraca la entidad *Buque*.	
9		Con el módulo *Process* se representa el proceso de atraque de la entidad *Buque* en el recurso *Muelle_2*, mediante la acción *Delay* (con el módulo *Seize* en el punto cuatro fue tomado el recurso) se reproduce el tiempo de atraque de la entidad *Buque*, determinado por una distribución de probabilidad uniforme con un rango entre *30 y 40* minutos. **Nota.** El tiempo de atraque de la entidad *Buque* no se obtuvo de registros históricos, este tiempo se asignó basado en conclusiones de autoridades portuarias y capitanes de puerto.	
10		Una vez que la entidad *Buque* se encuentra atracada en el recurso *Muelle_2* un nuevo módulo *Process* se utiliza para representar el tiempo de espera antes de la autorización del inicio de operaciones, determinado por la acción *Seize, Delay, Release*. Para desarrollar esta actividad se da de alta un nuevo recurso llamado *Autoridades,* la acción de autorización de operaciones fue determinada por una distribución de probabilidad uniforme con un rango entre *20 - 30 minutos*. Dato obtenido basado en la conclusión de las autoridades portuarias.	
11		Con el módulo *Assign* fueron asignados valores a las variables: *vNoContADescargar* y *vNoContACargar*, la primera variable determinada por las distribuciones de probabilidad *(0.999+147*BETA(0.612,1.65))+(3+997*BETA(0.605,5.72))+(0.999+149*BETA(0.435,2.07))* define la cantidad total de contenedores a descargar para un buque dado. La segunda variable determinada por medio de las distribuciones de probabilidad *(1.25*(0.999+WEIB(45.5,0.648))+(0.999+149*BETA(0.45,1.58))+(0.999+GAMM(94.2,0.331)))* define	

		la cantidad total de contenedores a cargar para un buque dado. Además se asignaron las variables *vNoContDescargados*, *vNoContCargados*, *vNoEncLlenosPCarga*, *vNoEncTransPCarga*, *vNoEncVaciosPCarga*, estas se inicializan en el valor *0*, el cual se incrementará conforme sean detectadas las entidades *Contenedor* que son manipuladas.	
12		El modulo *Separate* se utiliza para dividir el proceso en dos direcciones, parte *Original* y *Duplicate*. La parte *Original* se refiere a continuar el trabajo de la entidad *Buque,* se hace referencia de esta actividad en el punto 13. En el recuadro *# of Duplicates* se guarda la variable *vNoContADescargar*, se refiere a la continuación del proceso de descarga de las entidades *Contenedor*, se hace referencia de esta actividad en el punto 21 de la tabla 4.4.	
13		El módulo *Hold* se utiliza para mantener a la entidad *Buque* atracada en la estación *Muelle 2*, durante el tiempo que sea requerido hasta que las operaciones de descarga de contenedores finalicen. El módulo *Signal* descrito en el punto *41* de la tabla 4.*5* envía una señal al módulo *Hold* al detectar que las operaciones de descarga fueron concluidas, recibida la señal se podrán iniciar las actividades de carga sobre buque.	
14		Se conoce que el modulo *Separate* divide el proceso en dos direcciones, parte *Original* y *Duplicate*. La parte *Original* se analiza en el siguiente módulo *Hold*. En la sección *Duplicate* se conectara a un nuevo módulo *Assign*, se refiere a continuar las operaciones iniciando con la carga de contenedores, se hace referencia de estas actividades en el punto 98 de la tabla 4.9. En el módulo *Separate* en el recuadro *# of Duplicates* se guarda la variable *vNoContACargar*, de esta forma se conoce cuantos contenedores de exportación serán cargados sobre buque.	
15		Se utiliza el módulo *Hold* para continuar manteniendo la entidad *Buque* atracado en muelle durante y hasta el término de las actividades de carga. Cuando las operaciones concluyen el módulo *Signal* en el punto *131* de la tabla 4.*10* detecta la finalización de las actividades de carga y envía una señal al módulo *Hold* para que este libere la entidad *Buque* e inicie el proceso de desatraque. **Nota.** Liberada la entidad *Buque* y posteriormente de su partida, *s*imultáneamente se libera el recurso *Muelle_2*, para que este pueda ser ocupado por el siguiente buque y así continuar las operaciones.	

16	Process 3. DESATRAQUE	Una vez que las operaciones de carga y descarga concluyen se utiliza el módulo *Process* para desatracar la entidad *Buque* que aún se encuentra en la estación *Muelle 2*, se usó una acción *Delay* de distribución *uniforme (10, 20) minutos*, que representa el tiempo del proceso. **Nota.** El tiempo de desatraque de la entidad *Buque* no se obtuvo de registros históricos, este tiempo se asignó basados en conclusiones de autoridades portuarias y capitanes de puerto.	Name: Process 3. DESATRAQUE; Type: Standard; Logic; Action: Delay; Delay Type: Uniform; Units: Minutes; Allocation: Value Added; Minimum: 10; Maximum: 20; Report Statistics; OK; Cancel; Help
17	Release	Hasta este punto la entidad *Buque* se encuentra desatracada pero aun ocupa el recurso *Muelle_2*, se utiliza el módulo *Release* para liberar este recurso. Anteriormente el recurso *Muelle_2* fue tomado por el módulo *Seize* en el punto *5*, ahora la entidad *Buque* podrá retirarse.	Label: Release. Soltar buque; Mark Attribute: ; Next Label: ; Resources: Muelle_2_1; <End of list>; Add...; Edit...; Delete; OK; Cancel; Help
18	Route 3. Buque de MUELLE 2 a Mar	Para lograr que la entidad *Buque* se retire se utiliza un módulo *Route* con el que se asigna la ruta hacia la estación *Mar* que guía a la entidad. El tiempo de traslado de la estación *Muelle 2* hasta la estación *Mar* lleva un promedio de 25 minutos.	Name: Route 3. Buque de MUELLE 2 a Mar; Route Time: 25; Units: Minutes; Destination Type: Station; Station Name: Mar; OK; Cancel; Help
19	Station 9. Mar	Se utiliza el módulo *Station* para crear la estación *Mar* este es el punto final de la entidad *Buque* en el sistema antes de que esta desaparezca y se complete el proceso.	Name: Station 9. Mar; Station Type: Station; Station Name: Mar; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; Report Statistics; OK; Cancel; Help
20	FIN OPERACIONES Y PARTIDA BUQUE	Se utiliza el módulo *Dispose* para representar el fin de las operaciones y la partida de la entidad *Buque*. **Nota:** La simulación del modelo concluye con el módulo *Dispose* en el punto *132,* tabla *4.10*.	Name: FIN OPERACIONES Y PARTIDA BUQUE; Record Entity Statistics; OK; Cancel; Help

4.1.2. Descarga de contenedores desde buque

La segunda sección inicia con la previa separación de la entidad contenedor de la entidad buque en diferentes actividades, en las secciones 4.1.2. y 4.1.3. se analiza el proceso de descarga y el almacenamiento de la entidad contenedor en los patios de importación.

Al inicio de la sección dos son asignados atributos para caracterizar las tres clases de contendores manejados en el modelo de simulación *llenos*, *transbordos* y *vacíos*, además para cada clase se define una cantidad específica de contenedores manipulados en términos de

porcentaje, dichos datos fueron obtenidos de registros históricos de la terminal marítima; se encontró que para la empresa en el proceso de descarga de contenedores desde buque el 53% corresponde a los contenedores vacíos, el 39% al tipo llenos y el 8% a la clase de transbordos, esto para los datos recolectados en el año analizado. El modelo continua asignando los recursos de equipamiento y de personal para realizar el procesos de descarga, después de ello los contenedores son enviados hacia los patios de almacenamiento por medio de transportes, una vez que los contenedores arriban a patio, se asignan distribuciones de probabilidad para definir la capacidad de almacenamiento de cada una de las estaciones por tipo de contenedor. En la figura 4.2 se presenta una vista del modelo lógico 4.1.2. En la tabla 4.4 se describe a detalle los comandos que fueron utilizados para desarrollar dicha sección del modelo.

Figura 4.2. Modelo lógico, descarga de contenedores desde buque.

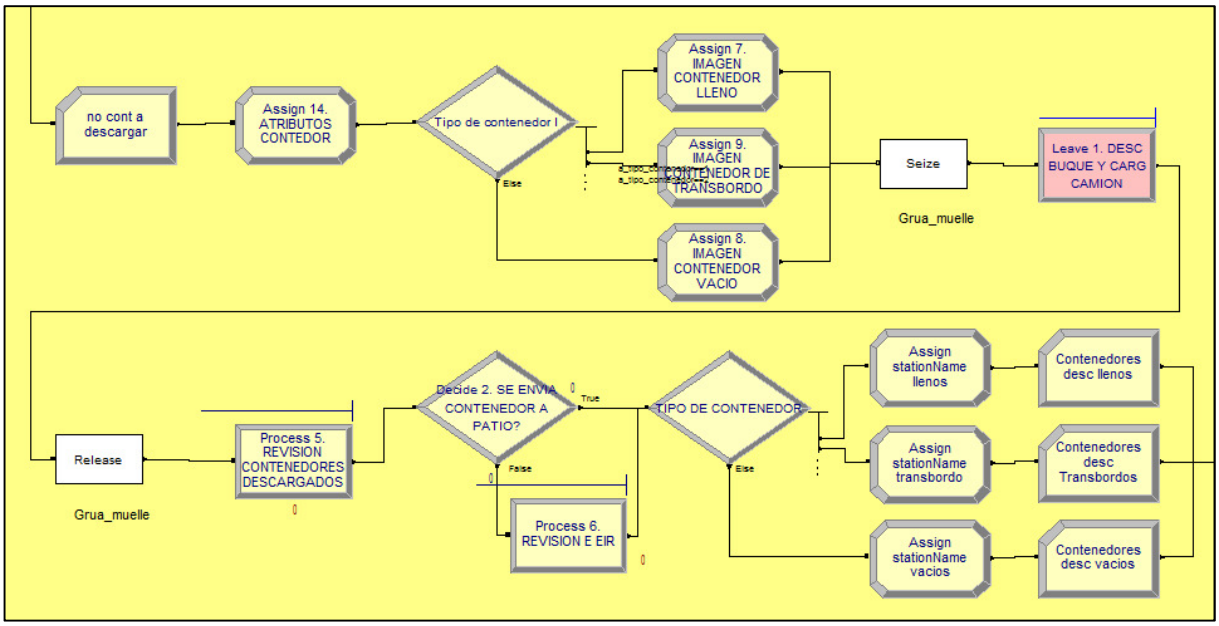
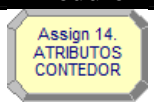
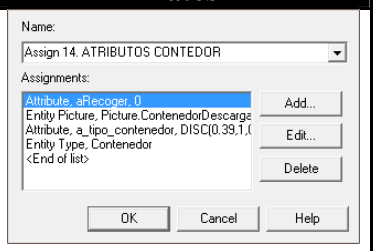
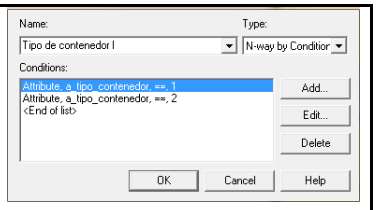
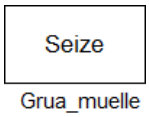
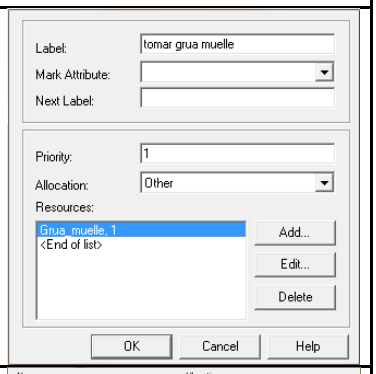
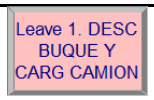
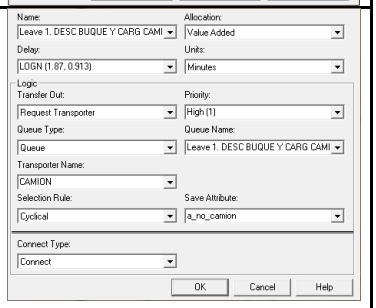
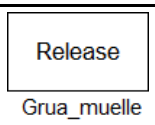
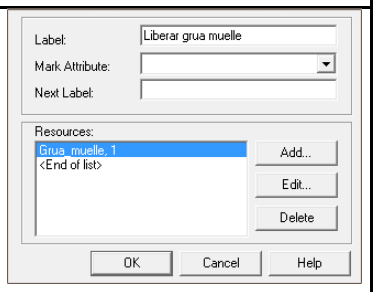
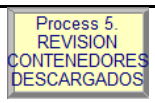
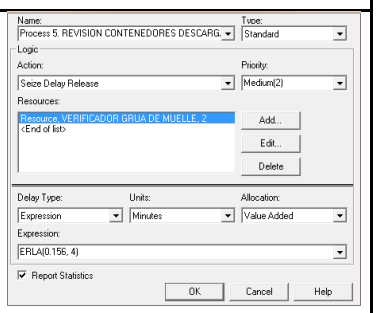
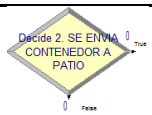
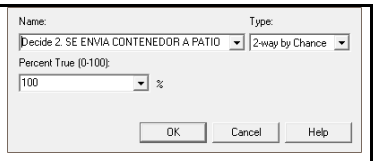
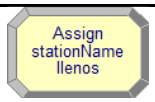
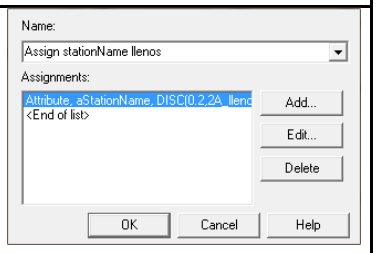
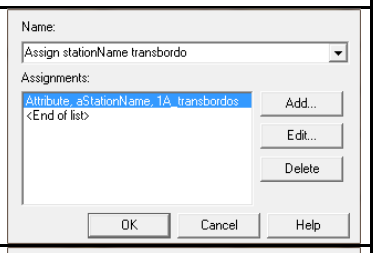
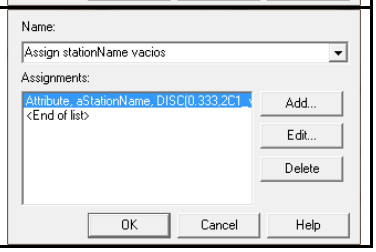


Tabla 4.4. **Descarga de contenedores desde buque.**

No	Módulo	Descripción	Datos
21		Siguiendo la sección *Duplicate* del módulo *Separate* en el punto 12 de la tabla 4.3 se continúa utilizando un módulo *Assign* para asignar la entidad Contenedor. Se definió el atributo *a_tipo_contenedor* el cual determina la cantidad de contenedores del tipo llenos, *transbordos* y *vacíos* que serán descargados desde buque en función de la distribución de probabilidad *DISC(0.39,1,0.47,2,1,3)*.	

22		Con el modulo *Decide* se clasifican los tres diferentes tipos de contenedores, si el atributo *a_tipo_contenedor* es igual a *1*, el contenedor es del tipo *lleno*, si *a_tipo_contenedor* es igual a *2* el contenedor es de *transbordo* y si *a_tipo_contenedor* no es ninguno de los valores anteriores, entonces el contenedor es *vacío.*	
23		Hasta este momento de la simulación la descarga no ha iniciado, antes de ello es necesario utilizar un nuevo módulo *Seize* con el cual se toma el recurso *Grua_muelle*, una vez asignado, esté modulo mantendrá el recurso en estado ocupado durante el tiempo que lleve el desarrollo de las operaciones de importación y exportación.	
24		Una vez que el módulo *Seize* en el punto *23* toma al recurso *Grua_muelle*, la descarga de contenedores inicia. Se utiliza un módulo *Leave* para representar el proceso de descarga, para ello el recurso *Grúa_muelle* toma un contenedor que se encuentra sobre *Buque*, lo levanta y traslada a muelle para depositarlo en la plataforma de un nuevo recurso llamado *Camion* (este último es un recurso tipo transporte, el cual se encuentra en muelle a la espera de tomar un contenedor, trasladarlo a patio y regresar sin contenedor a muelle). El proceso de descarga de contenedores es determinado por la distribución de probabilidad *LOGNORMAL (1.87, 0.913).*	
25		Al término de las operaciones de descarga de contenedores es necesario liberar al recurso *Grua_muelle* que aún se encuentra en estado ocupado, para realizarlo se utiliza el módulo *Release,* solo con seleccionar dicho recurso éste es liberado.	
26		En este punto la entidad *Contenedor* se encuentra sobre el transporte *Camion* aún en muelle, en el mismo lugar se realiza un proceso de revisión para identificar cualquier tipo de anomalía como daños, golpes o abolladuras exteriores en cada uno de los contenedores, para ello se utiliza el módulo *Process* con una acción del tipo *Seize*, *Delay*, *Release*, se crea un nuevo recurso llamado *Verificador Grúa de Muelle* quien se encarga de realizar la revisión, este proceso se determina por la distribución de probabilidad *ERLANG (0.156, 4).*	

27		Se utiliza un módulo *Decide* para preguntar si el contenedor debe ser enviado al siguiente proceso en *patio* (los contenedores que, en el proceso de revisión del punto *26* fueron identificados con algún tipo de daño, pasarán a una segunda revisión para registrar el desperfecto), el tipo de acción seleccionada en el módulo *Decide* es *2-way by Chance*, por lo tanto en su mayoría los contenedores pasan al siguiente proceso y un pequeño porcentaje pasarán a una segunda revisión.	
28		En este momento la entidad contenedor podrá ser enviada al área de almacenamiento, pero antes con el módulo *Assign* se define el atributo *aStationName* que se utiliza para determinar la posición especifica de almacenamiento para cada tipo de contenedor en los patios. Para las entidades *Contenedor* del tipo *llenos* se define la distribución de probabilidad *DISC (0.2,2A_llenos,0.4,3A_llenos,0.6,1B_llenos,0.8,2B_llenos,1,3B1_llenos)* con ella se indican las estaciones de almacenamiento correspondientes.	
29		Para los contenedores del tipo *transbordo* se define la estación *1A_transbordo* en ella dichos contenedores serán almacenados.	
30		Para los contenedores del tipo *vacíos* se define la distribución de probabilidad *DISC (0.333,2C1_vacios,0.666,2C2_vacios,1,3C_vacios)* con ella se indican las estaciones de almacenamiento correspondientes.	

4.1.3. Transporte y almacenamiento de contenedores en patio

En la sección 4.1.2 o proceso de importación los contenedores que fueron descargados es necesario sean transportados hacia las distintas estaciones de almacenamiento creadas para cada tipo de contenedor, para ello se utilizan recursos de tipo transporte denominados *Camion*, una vez que los contenedores arriban a su respectivo almacén, son asignados los recursos *Grúa de Patio* y recursos de personal, estos se encargan de realizar el proceso de segregación y control de los contenedores almacenados. Fueron definidos atributos y variables para registrar la hora de llegada de los contendores a la terminal y para contabilizar la cantidad total de contenedores que han sido segregados. Una vez que el almacenaje se llevó a cabo el

transporte regresa al área de muelle para continuar movilizando contenedores. En la figura 4.3 y en la tabla 4.5, se presenta una imagen del modelo lógico y se describen los módulos utilizados en la sección 4.1.3.

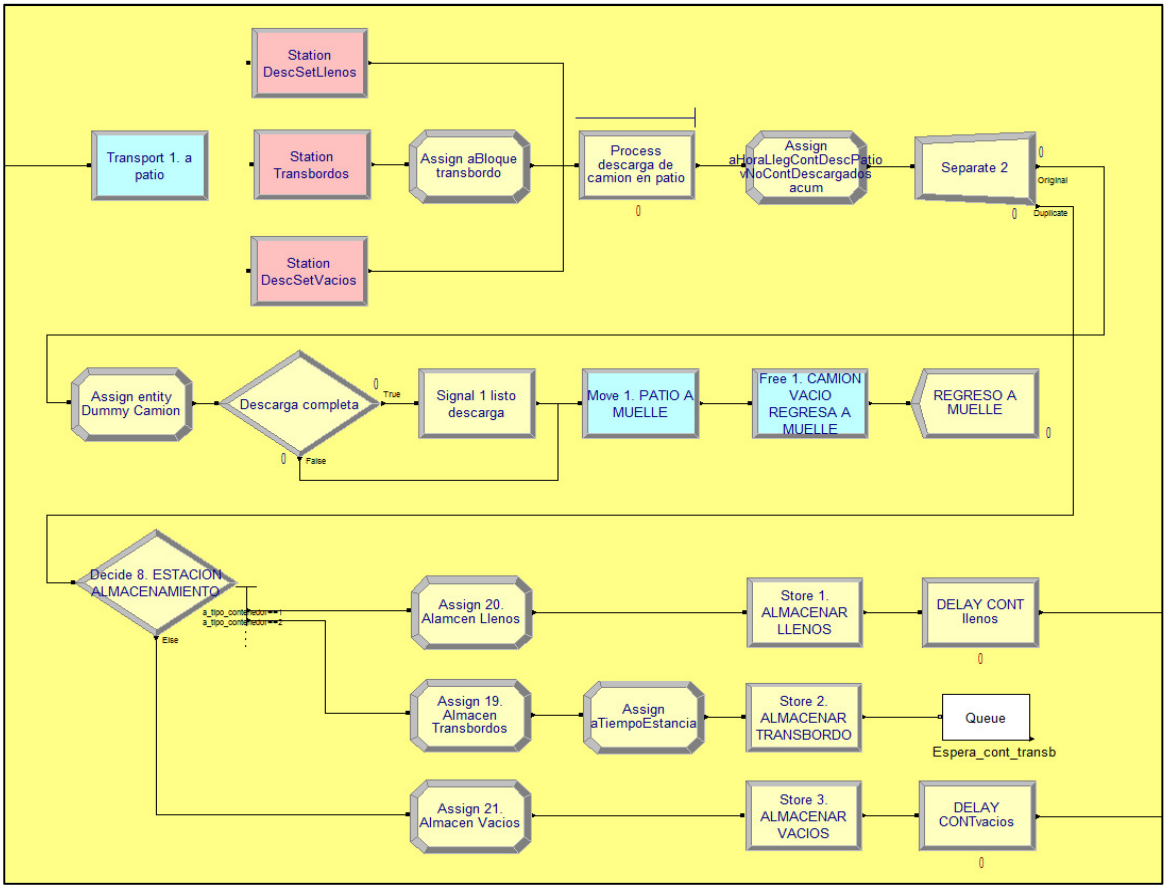
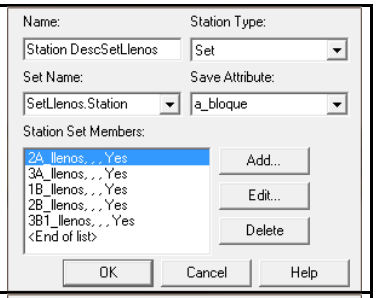
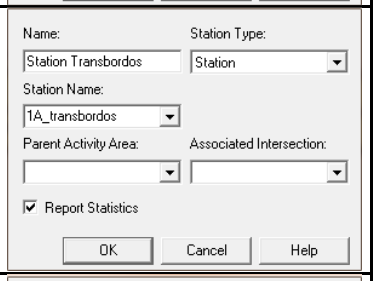
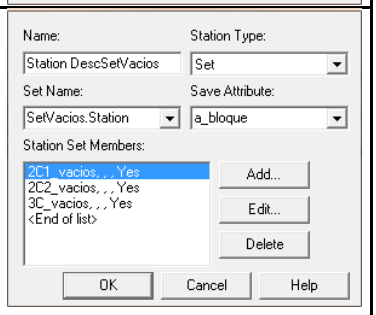
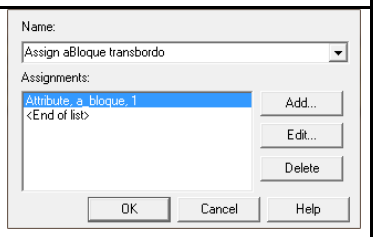
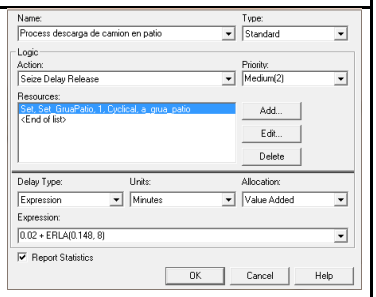


Figura 4.3. Transporte y almacenamiento de contenedores en patio.

Tabla 4.5. Transporte y almacenamiento de contenedores en patio.

No	Módulo	Descripción	Datos
31	Transport 1. a patio	Se utiliza el módulo *Transport* para mover hacia el patio de almacenamiento las entidades *Contenedor* que han sido descargadas, en este módulo se define el transporte *Camion* y se asigna una velocidad de *10.9 mts/seg* para transporte con carga. El transporte se dirige a cada una de las estaciones de almacenamiento para cada tipo de contenedor.	Name: Transport 1. a patio; Transporter Name: CAMION; Unit Number: ; Entity Destination Type: Attribute; Attribute Name: aStationName; Velocity: 10.9; Units: Per Second; Guided Tran Destination Type: Entity Destination; OK; Cancel; Help

32	Station DescSetLlenos	Una vez que el transporte para contenedores del tipo *llenos* realiza su recorrido desde muelle hacia patio llega a un set de estaciones llamado *SetLlenos.Station* donde es dirigida a una de las estaciones de almacenamiento, estas son: *2A_llenos*, *3A_llenos*, *1B_llenos*, *2B_llenos*, *3B1_llenos*, simultáneamente el subíndice de la estación en el set de estaciones se graba en el atributo *a_bloque*.	
33	Station Transbordos	Una vez que el transporte realiza su recorrido desde muelle hacia patio llega a la estación de almacenamiento de tipo transbordo *1A_transbordos*, definida con el módulo *Station.* Ahora las entidades *Contenedor* se encuentran a la espera de ser almacenadas.	
34	Station DescSetVacios	Una vez que el transporte para contenedores del tipo vacíos realiza su recorrido desde muelle hacia patio llega a un set de estaciones llamado *SetVacios.Station* donde es dirigido a una de las estaciones de almacenamiento, estas son: *2C1_vacios*, *2C2_vacios*, *3C_vacios*, simultáneamente el subíndice de la estación en el set de estaciones se graba en el atributo *a_bloque*.	
35	Assign aBloque transbordo	Se asigna el valor 1 al atributo a_bloque con un módulo Assign debido a que sólo hay una estación para contenedores del tipo transbordo.	
36	Process descarga de camion en patio	En este momento las entidades *Contenedor* se localizan en patio, en cada uno de las diferentes estaciones de almacenamiento, sin haber sido segregadas. Para lograrlo se utiliza un módulo *Process* con una acción del tipo *Seize*, *Delay*, *Release* y definiendo un *Set* del recursos *Grua_patio*. El proceso de almacenaje se refiere a que la grúa de patio tome un contenedor de la plataforma de un camión, lo cargue y lo deposite en una estación de almacenamiento, este proceso se desarrolla en base a la distribución de probabilidad *0.02+ERLANG (0.148, 8)*.	

37	Assign aHoraLlegContDescPatio vNoContDescargados acum	Con el módulo *Assing* se asigna el atributo *aHoraLlegContDescPatio* en el cual mediante el valor *TNOW* se registra el tiempo actual en que la entidad *Contenedor* arriba a patio. La variable *vNoContDescargados* es actualizada y se le asigna el valor *vNoContDescargados + 1*.	Name: Assign aHoraLlegContDescPatio vNoContDescargados ac Assignments: Attribute, aHoraLlegContDescPatio, TNOW Variable, vNoContDescargados, vNoContD <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
38	Separate 2	Se utiliza el modulo *Separate* para dividir el proceso en dos nuevas direcciones. En la primera parte *Original* continúan las actividades de la entidad *buque* vistas en la tabla 4.3, las cuales se explican a partir del punto *39*. En la segunda parte *Duplicate* se refiere a las actividades de segregación de la entidad *Contenedor*, las cuales serán analizadas a partir del punto *45*.	Name: Separate 2 Type: Duplicate Original Percent Cost to Duplicates (0-100): 50 % # of Duplicates: 1 OK Cancel Help
39	Assign entity Dummy Camion	Continuando con la parte *Original* del módulo *Separate* del punto 38. Con el comando *Assign* se asigna un nuevo tipo de entidad llamada *DummyCamion*, la cual solo se utilizará para trasladar al transporte *Camion* sin carga de regreso a muelle.	Name: Assign entity Dummy Camion Assignments: Entity Type, DummyCamion <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
40	Descarga completa	Se utiliza un nuevo módulo *Decide* del tipo *2-way by Condition* para determinar si la descarga de contenedores ha concluido, para comprobarlo se comparan las variables *vNoContDescargados* y *vNoContADescargar*, la condición es: **IF. *vNoContDescargados = vNoContADescargar*** Si, son iguales la descarga de c*ontenedores* concluyó **IF. *vNoContDescargados ≠ vNoContADescargar*** Si, son diferentes la descarga continua	Name: Descarga completa Type: 2-way by Condition If: Variable Named: vNoContDescargado Is: == Value: vNoContADescargar OK Cancel Help
41	Signal 1 listo descarga	Si la condición del módulo Decide en el punto 40 es verdadera, el módulo *Signal* envía la señal *1* al módulo *Hold* en el punto *13* de la tabla *4.3*.	Name: Signal 1 listo descarga Signal Value: 1 Limit: OK Cancel Help
42	Move 1. PATIO A MUELLE	En este momento de la simulación el transporte *Camion* se encuentra sin carga en las diferentes estaciones de almacenamiento en patio, por lo tanto es necesario moverlo de regreso a muelle. El módulo *Move* le ordena al transporte *Camion* regresar a la estación *Muelle 2* para continuar con sus operaciones de transporte de la entidad *Contenedor*. En el módulo *Move* se asigna la estación destino y la velocidad de traslado sin carga, siendo de *14.7 Mts/seg*.	Name: Move 1. PATIO A MUELLE Transporter Name: CAMION Unit Number: a_no_camion Destination Type: Station Station Name: MUELLE 2 Velocity: 14.7 Units: Per Second OK Cancel Help

43	Free 1. CAMION VACIO REGRESA A MUELLE	Después que el transporte *Camion* regresa a muelle, éste es liberado para poder ser usado por otra entidad solicitante.	Name: Free 1. CAMION VACIO REGRESA A MUELLE Transporter Name: CAMION Unit Number: a_no_camion OK Cancel Help
44	REGRESO A MUELLE	Mientras la condición del punto *40* no se ha cumplido, el proceso de descarga, transporte y almacenamiento de contenedores continuará repitiéndose. A su término se utiliza un módulo *Dispose* para concluir esta parte de la simulación lógica.	Name: REGRESO A MUELLE Record Entity Statistics OK Cancel Help
45	Decide 8. ESTACION ALMACENAMIENTO	En seguimiento a las actividades de segregación de contenedores *Duplicate* descritas en el módulo *Separate* del punto *38*. Se utiliza un módulo *Decide* del tipo *N-way by Condition* para clasificar en base al atributo *a_tipo_contenedor* el tipo de contenedor que será segregado. Contenedores tipo *llenos* = *1*. Contenedores tipo *transbordos* = *2*. Contenedores tipo *vacíos* = *3*. **Nota.** Este módulo *Decide* cuenta con tres salidas, la primera para el tipo *1*, segunda tipo *2* y la tercera vista en la parte inferior para el tipo *3*.	Name: Decide 8. ESTACION ALMACENAMIENTO Type: N-way by Conditior Conditions: Attribute, a_tipo_contenedor, ==, 1 Attribute, a_tipo_contenedor, ==, 2 <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
46	Assign 20. Alamcen Llenos	Para los contenedores *llenos* o del tipo *1* la primera salida del módulo *Decide* en el punto *45*, se conecta a un módulo *Assign*, en esté se actualiza la variable del tipo Array *vNoLlenos* definida por *vNoLlenos(a_bloque)* + *1*. La variable asignada mantiene un control del inventario de los contenedores por bloque.	Name: Assign 20. Alamcen Llenos Assignments: Variable Array (1D), vNoLlenos, a_bloque, <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
47	Assign 19. Almacen Transbordos	Para los contenedores de *transbordos* o del tipo *2* la segunda salida del módulo *Decide* en el punto *45*, se conecta a un módulo *Assign*, en esté se actualiza la variable del tipo Array *vNoTrasbordo* definida por *vNoTrasbordo(a_bloque)* + *1*. La variable asignada mantiene un control del inventario de los contenedores por bloque.	Name: Assign 19. Almacen Transbordos Assignments: Variable Array (1D), vNoTrasbordo, a_bloqu <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
48	Assign 21. Almacen Vacios	Para los contenedores *vacíos* o del tipo *3* la tercera salida del módulo *Decide* en el punto *45*, se conecta a un módulo *Assign*, en esté se actualiza la variable del tipo Array *vNoVacios* definida por *vNoVacios(a_bloque)* + *1*. La variable asignada mantiene un control del inventario de los contenedores por bloque.	Name: Assign 21. Almacen Vacios Assignments: Variable Array (1D), vNoVacios, a_bloque, <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help

49	Assign aTiempoEstancia	Este módulo *Assign* es la continuación del punto *47*, se utiliza para asignar el atributo *aTiempoEstanciaTransb* el cual define el tiempo que permanecerán los contenedores del tipo *transbordos* en los patios de la terminal, definido mediante la distribución de probabilidad *152 + WEIBULL (103, 1.93)* hasta que un buque los solicite para ser cargados. Además se define el atributo *aTiempoSalida* que en base al valor *aHoraLlegContDescPatio + aTiempoEstanciaTransb* específica la hora aproximada en qué los contenedores tendrán que ser recogidos.	Name: Assign aTiempoEstancia Assignments: Attribute, aTiempoEstanciaTransb, 152 + W Attribute, aTiempoSalida, aHoraLlegContDe <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
50	Store 1. ALMACENAR LLENOS	El módulo *Assign* en el punto *46* se conecta a un comando *Store,* el cual es responsable de realizar la acción específica de almacenar la entidad *Contenedor* del tipo *Llenos,* específicamente en el almacén definido por *a_bloque* en el grupo de estaciones llamado *Set_Llenos*.	Name: Store 1. ALMACENAR LLENC Type: Set Set Name: Set_Llenos Set Index: a_bloque OK Cancel Help
51	Store 2. ALMACENAR TRANSBORDO	El módulo *Assign* en el punto *49* se conecta a un módulo *Store*, el cual es responsable de realizar la acción específica de almacenar la entidad *Contenedor* del tipo *Transbordos* en la estación *1A_Transbordos*.	Name: Store 2. ALMACENAR TRANS Type: Set Set Name: Set_Transbordos Set Index: a_bloque OK Cancel Help
52	Store 3. ALMACENAR VACIOS	El módulo *Assign* en el punto *48* se conecta a un comando *Store,* el cual es responsable de realizar la acción específica de almacenar la entidad *Contenedor* del tipo *Vacíos* en el grupo de estaciones llamado *Set_Vacios*, la información sobre el almacén específico está definida en el atributo *a_bloque*.	Name: Store 3. ALMACENAR VACIO Type: Set Set Name: Set_Vacios Set Index: a_bloque OK Cancel Help
53	DELAY CONT llenos	El modulo *Store* del punto *50* se conecta a un módulo *Process* definido por una acción de tipo *Delay* para determinar la permanencia de la entidad *contenedor* del tipo *Llenos* en la terminal en base a la distribución de probabilidad *152 + WEIB (103, 1.93)*.	Name: DELAY CONT llenos Type: Standard Logic Action: Delay Delay Type: Expression Units: Hours Allocation: Value Added Expression: 152 + WEIB(103, 1.93) Report Statistics OK Cancel Help
54	Queue	El modulo *Store* del punto *51* se conecta a un módulo *Queue*, el cual se utiliza para indicarle a la entidad *Contenedor* del tipo *Transbordos* que debe esperar en su estación de almacenamiento hasta que se sea requerida por algún nuevo comando. Para definir esta acción se específica la cola o fila llamada *Espera_cont_transb* en donde la entidad debe esperar hasta el momento en que sea requerida.	Label: Espera cont transb Mark Attribute: Queue ID: Espera_cont_transb Capacity: Balk Label: Blockages... Detach Comments OK Cancel Help

55	DELAY CONTvacios	El modulo *Store* del punto *52* se conecta a un módulo *Process* definido por una acción de tipo *Delay* para determinar la permanencia de la entidad *contenedor* del tipo *Vacíos* en la terminal en base a la distribución de probabilidad *152 + WEIB (103, 1.93)*.	Name: DELAY CONTvacios; Type: Standard; Logic; Action: Delay; Delay Type: Expression; Units: Hours; Allocation: Value Added; Expression: 152 + WEIB(103, 1.93); OK; Cancel; Help

En la seccion 4.1. *Recepción de buques, atraque, autorización de operaciones y partida*, en la sección 4.1.2. *Descarga de contenedores desde buque* y en la sección 4.1.3. *Transporte y almacenamiento de contenedores en patio* se describe la lógica del modelo, está se resume a identificar cuáles fueron los recursos que intervienen en los diferentes procesos, entender su comportamiento para cada punto modelado, mostrar los comandos de construcción y analizar su lógica.

La sección 4.1. comienza con el arribo de buques *(entidad)* al puerto siendo definido un patrón de llegadas, dicha entidad se recibe en una estación marítima a las afueras de la terminal llamada *Fondeo*, continua con la asignación de una ruta de traslado desde la estación fondeo a la estación *Muelle 2*, antes de que la entidad *Buque* arribe a la terminal se asigna el recurso denominado *Muelle_2*, éste recurso será ocupado por la entidad durante el tiempo necesario desde el inicio y hasta el término de las operaciones y hasta la partida de buque.

Una vez que las operaciones son autorizadas continúa la sección 4.1.2. *Descarga de contenedores desde buque* y la sección 4.1.3. *Transporte y almacenamiento de contenedores en patio*. En su inicio se definen atributos para la nueva entidad *Contenedor* que será descargada, también son definidos los recursos *Grúa_muelle* y *Verificador grúa de muelle;* el primero es un grupo de grúas que realizan la actividad de descarga, es decir, la grúa de muelle se traslada a buque, captura un contenedor ahí localizado, lo mueve hacia muelle depositándolo sobre un camión, el segundo recurso es la persona responsable de controlar y registrar el flujo de operaciones. Enseguida se da el alta del transporte *Camión*, éste se encargará de transportar la entidad *Contenedor* a patio y viceversa, el transporte inicia su recorrido desde la estación *Muelle 2* hasta alguna de las diferentes estaciones en patio donde la entidad será almacenada, para ello se especifican dos velocidades de traslado con y sin carga. Antes de que la entidad *Contenedor* llegue a patio son definidas las ubicaciones de almacenamiento por tipo de contenedor y por grupo de estaciones de segregación. También se

definen nuevos recursos *Grúa_patio* y *Verificador de patio*, cuando la entidad arriba a una estación en el almacén, la grúa de patio toma el contenedor que se encuentra aún sobre el trasporte y lo deposita en un lugar específico de la estación, el verificador de patio controla el flujo de las operaciones terrestres, una vez liberado el transporte *Camión*, éste regresa sin carga *(vacío)* a la estación *Muelle 2* para ser cargado nuevamente por la grúa de muelle e iniciar un nuevo transporte, este proceso se repite hasta el fin de las operaciones de descarga e inicie la carga a buque o también llamada exportación.

4.1.4. Puertas de acceso y recepción de contenedores de exportación

En el modelo de simulación como en el mundo real la terminal marítima de contenedores no solo recibe embarcaciones para cargar o descargar su mercancía contenerizada. Si bien, el proceso de importación se refiere a descargar contenedores desde buque, almacenarlos un determinado periodo de tiempo en patios y entregarlos al transporte federal para que finalmente sean entregados a sus dueños. Un proceso que se desarrolla simultáneamente es la exportación o carga, este se refiere a que la terminal recibe en el subsistema de puertas de entrada y salida las mercancías de sus clientes a través del transporte federal (transporte dedicado a movilizar mercancía en el interior de un país, es externo a la terminal) está es almacenada en patios hasta el momento que la embarcación que los transportará a su destino final arriba al puerto, por último es enviada a buque para ser cargada y exportada a cualquier país.

La sección *puertas de acceso y recepción de contenedores de exportación* es resumida a continuación. Inicia con el arribo de los contenedores de exportación a través del transporte público federal, son recibidos en las puertas de acceso terrestre, una vez que su acceso es autorizado son creadas estaciones de almacenamiento para contenedores de exportación y se definen atributos para conocer la cantidad de contenedores por tipo que son recibidos; siendo para los del tipo llenos el 83.3% y para los del tipo vacíos el 16.7%, dichos datos fueron obtenidos en los registros históricos de la propia terminal marítima. El proceso de recepción de exportación inicia con el transporte de los contendores hacia las estaciones de almacenamiento, en la sección 4.1.5. los recursos grúas de patio realizan los procesos de segregación de contenedores. En la figura 4.4 y 4.5 se muestra el modelo lógico de las

secciones 4.1.4. y 4.1.5. En las tablas 4.6 y 4.7 se presentan el análisis de los módulos utilizados.

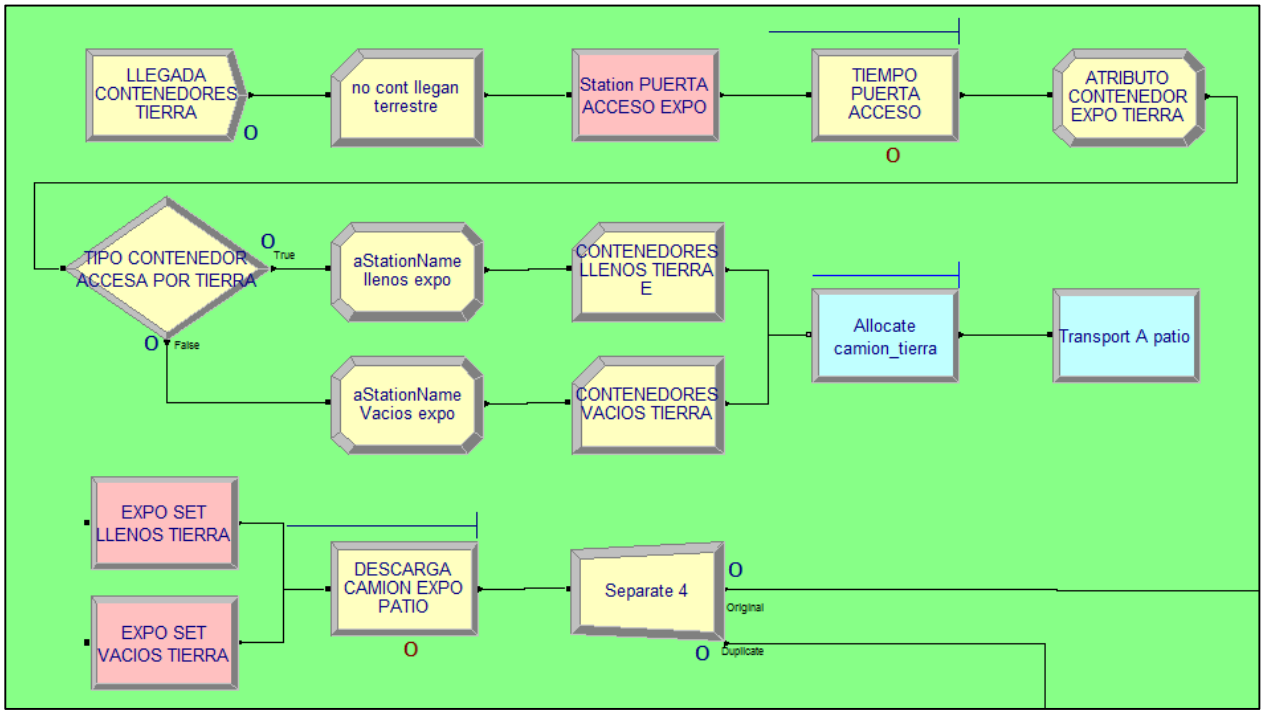
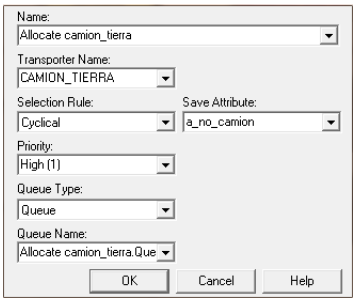
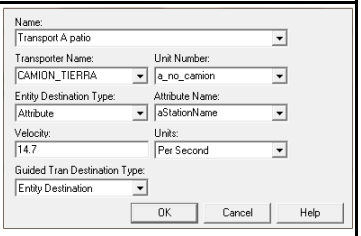
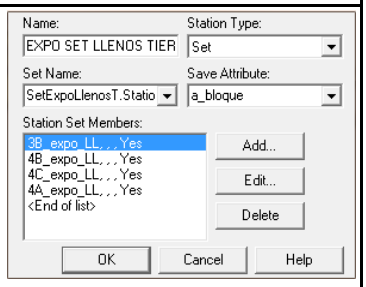
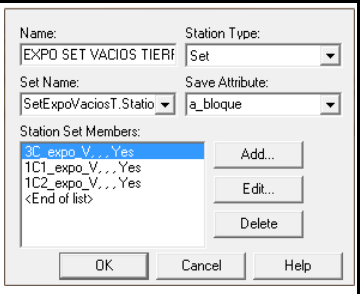
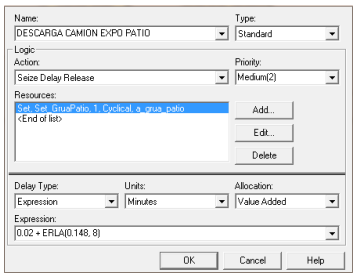


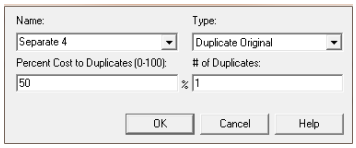
Figura 4.4. Puertas de acceso y recepción de contenedores de exportación.

Tabla 4.6. **Puertas de acceso y recepción de contenedores de exportación.**

No	Módulo	Descripción	Datos
56	LLEGADA CONTENEDORES TIERRA	Con el modulo *Create* se crea la entidad *entCamion_Expo*, está representa las llegadas del transporte federal con mercancía de exportación a la terminal marítima. Vía terrestre solo se reciben contenedores de los tipos llenos y vacíos que después de ser almacenados en patios serán cargados sobre buque. Las llegadas se basan en un *Schedule* denominado *Llegadas camiones*, este calendario reproduce todas las llegadas reales de los contenedores de exportación a la terminal durante un año, se predeterminó un horario y se consideraron además condiciones especiales. En la figura 4.13 se presenta el *Schedule* utilizado para el comando *Create*.	Name: LLEGADA CONTENEDORES TIERRA; Entity Type: entCamion_Expo; Time Between Arrivals; Type: Schedule; Schedule Name: Llegada camiones; Entities per Arrival: 1; Max Arrivals: Infinite; OK; Cancel; Help

57	Station PUERTA ACCESO EXPO	Antes de que la entidad *entCamion_Expo* ingrese a los patios de la terminal marítima arriba a una estación denominada *puerta_acceso_expo* representado por el módulo *Station.*	Name: Station PUERTA ACCESO; Station Type: Station; Station Name: puerta_acceso_expo; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help
58	TIEMPO PUERTA ACCESO	Con el módulo *Process* y con el anterior módulo *Station* se representa el *Subsistema de Puertas Terrestres* para el proceso de a*cceso de mercancía contenerizada*. Con el comando *Process* se asigna el recurso *Capturista_Entrada* el cual realiza el proceso de revisión y permite el acceso a la terminal de los contenedores *llenos/vacíos* o de la entidad *entCamion_Expo*, este proceso se realiza en base a la distribución de probabilidad *LOGNORMAL (0.955, 0.491)*.	Name: TIEMPO PUERTA ACCESO; Type: Standard; Logic; Action: Seize Delay Release; Priority: Medium(2); Resources: Resource, Capturista_Entrada, 1; <End of list>; Add... Edit... Delete; Delay Type: Expression; Units: Minutes; Allocation: Value Added; Expression: LOGN(0.955, 0.491); OK Cancel Help
59	ATRIBUTO CONTENEDOR EXPO TIERRA	En el módulo *Decide* del punto *22* de la tabla *4.4*, se asignaron valores a la entidad *Contenedor*. Para las llegadas terrestres se utiliza el mismo valor *1* y *3* para los contenedores llenos y vacíos respectivamente. Con el módulo *Assign* se asigna el atributo *a_tipo_contenedor* para cuantificar el porcentaje de contenedores llenos y vacíos que arriban por puerta terrestres, el valor que lo representa es la distribución discreta *DISC (0.833,1,1,3).*	Name: ATRIBUTO CONTENEDOR EXPO TIERRA; Assignments: Attribute, a_tipo_contenedor, DISC(0.833,1; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
60	TIPO CONTENEDOR ACCESA POR TIERRA	Los dos diferentes tipos de contenedores que entran por puerta fueron asignados en el módulo *Assign* del punto 59. Con el actual modulo *Decide* la entidad *Contenedor* es separada por su tipo, *1* para *llenos* y *3* para *vacíos*, se utiliza una condición de tipo *2-way by Condition.* por lo anterior, el comando crea dos salidas *True* y *False,* la primera para la entidad *Contenedor* tipo *llenos* y la segunda para los *vacíos*.	Name: TIPO CONTENEDOR ACCESA POR TIERRA; Type: 2-way by Condition; If: Attribute; Named: a_tipo_contenedor; Is: ==; Value: 1; OK Cancel Help
61	aStationName llenos expo	La salida *True* del módulo *Decide* en el punto 60 se conecta a un módulo *Assign* y se llama al atributo *aStationName* que mediante la distribución de probabilidad de tipo discreta *DISC (0.09,3B_expo_LL,0.36,4B_expo_LL,0.73,4C_expo_LL, 1,4A_expo_LL)* determina la estación de almacenamiento de exportación para contendores tipo *llenos.*	Name: aStationName llenos expo; Assignments: Entity.Picture, Picture.ContenedorLlenoExp; Attribute, aStationName, DISC(0.09,3B_exp; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
62	aStationName Vacios expo	La salida *False* del módulo *Decide* en el punto *60* se conecta a un módulo *Assign* y se llama al atributo *aStationName* que mediante la distribución de probabilidad de tipo discreta *DISC (0.4,3C_expo_V,0.72,1C1_expo_V,1,1C2_expo_V)* determina las estaciones de almacenamiento de exportación para contendores tipo *vacíos.*	Name: aStationName Vacios expo; Assignments: Entity.Picture, Picture.ContenedorVacioExp; Attribute, aStationName, DISC(0.4,3C_expo; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help

63	Allocate camion_tierra	El módulo *Allocate* se utiliza para asignar un nuevo transporte *Camion_Tierra* a la entidad *entCamion_Expo*; es decir, en el módulo *Create* del punto *56* y para fines prácticos se dijo que la entidad representaba un transporte pero siendo una entidad. Ahora la entidad puede ingresar a la terminal, por ello se asigna el transporte *Camion_Tierra* de esta forma se realiza el traslado hacia los patios. La entidad *entCamion_Expo* tiene el control sobre el transporte y este se moverá hacia donde la entidad indique.	
64	Transport A patio	Con el módulo *Transport* se asigna la actividad específica de movilizar al transporte *Camion_Tierra* hacia una de las múltiples estaciones de exportación guardadas en el atributo *aStationName*, la velocidad del transporte es *14.7 Mts/seg*.	
65	EXPO SET LLENOS TIERRA	Con el módulo *Station* de tipo *Set* se forma un grupo de estaciones *(3B_expo_LL, 4B_expo,LL, 4C_expo_LL, 4A_expo_LL)* para los contenedores del tipo *llenos* de exportación. El nombre del *Set* es *SetExpoLlenosT.Station*, la estación utilizada se guarda en el atributo *a_bloque de la entidad*.	
66	EXPO SET VACIOS TIERRA	Con el módulo *Station* de tipo *Set* se forma un grupo de estaciones *(3C_expo_V, 1C1_expo_V, 1C2_expo_V)* para los contenedores del tipo *vacíos* de exportación. El nombre del *Set* es *SetExpoVacíosT.Station*, la estación utilizada se guarda en el atributo *a_bloque de la entidad*.	
67	DESCARGA CAMION EXPO PATIO	La entidad *entCamion_Expo* que fue movilizada a patio por el transporte *Camion_Tierra* se encuentra en una de las múltiples estaciones de exportación en patio. Con el comando *Process* se realiza el proceso de almacenaje, para ello se asigna un grupo de recursos *Grúa_patio*, estas grúas se encargan de tomar el contenedor, elevarlo, moverlo y depositarlo en el almacén, este proceso se desarrolla en base a la distribución de probabilidad *0.02 + ERLANG (0.148, 8)* repitiéndose las veces necesarias hasta concluirlo.	

68		El modulo *Separate* se utiliza para dividir el proceso en dos secciones *Original* y *Duplicate*. En la primera el modelo continúa solo con la parte de segregación de contenedores de exportación. En la parte *Duplicate* se prosigue solo con el transporte *Camion_Tierra*, el cual se encuentra listo para regresar a puerta de acceso y continuar con el transporte de contenedores de exportación a patio.	

4.1.5. Almacenamiento de contenedores de exportación en patio

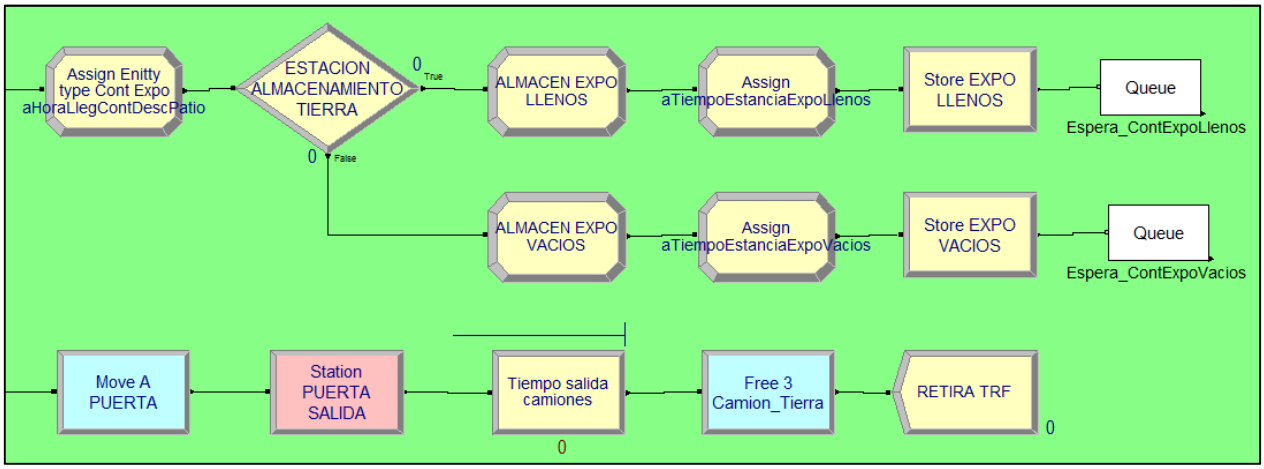
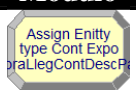
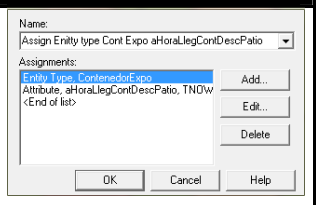
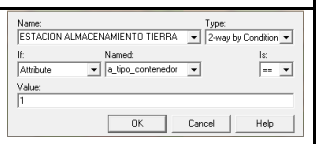
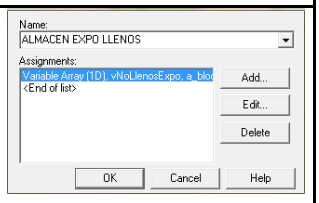
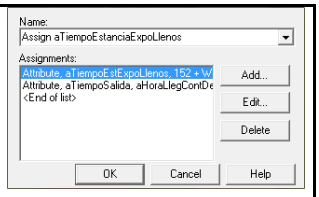
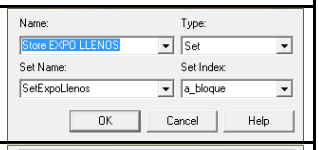
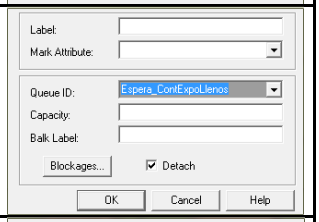
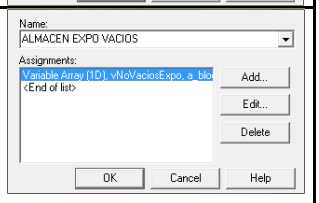
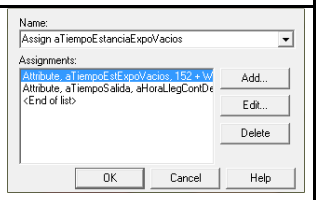
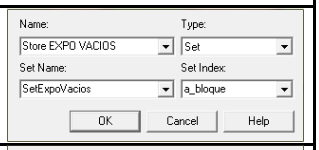
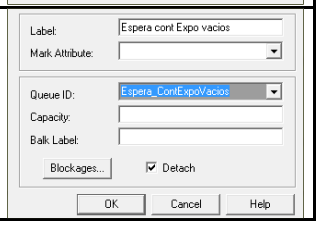


Figura 4.5. Almacenamiento de contenedores de exportación en patio.

Tabla 4.7. **Almacenamiento de contenedores de exportación en patio.**

No	Módulo	Descripción	Datos
69		Dando seguimiento al módulo *Separate* en el punto *68*, la parte *Original* continua utilizando un módulo *Assign*, se asigna una *Entity Type* llamada *ContenedorExpo*, ahora en el proceso de exportación los contenedores son dicha entidad. También fue asignado el atributo *aHoraLlegContDescPatio*, en él se define la variable *TNOW* para registrar la hora de llegada de los contenedores de exportación a patio.	
70		Se utiliza el modulo *Decide* para separar la entidad *Contenedor* por tipo, *1* para *llenos* y *3* para *vacíos*, se utiliza una condición de tipo *2-way by Condition* y se llama al atributo *a_tipo_contenedor* asignándole la condición == *1*. Por lo anterior, el comando crea dos salidas *True* y *False,* la primera para la entidad *Contenedor* tipo *llenos* y la segunda para los *vacíos*.	
71		Continuando con la parte *True* del módulo *Decide* en el punto 70, con un comando *Assign* se actualiza la variable del tipo Array llamada *vNoLlenosExpo* y se define el valor *vNoLlenosExpo (a_bloque) + 1*, lo anterior para controlar los contenedores del tipo *llenos* que arriben a las estaciones de exportación en patio por bloque.	

72	Assign npoEstanciaExpoLl	Con un módulo *Assign* se define el atributo *aTiempoEstExpoLlenos* que mediante la distribución de probabilidad *152 + WEIB (103, 1.93)* determina el periodo de tiempo que la entidad *ContenedorExpo* permanecerá almacenada en una estación de patio antes de ser cargada sobre buque. También fue asignado el atributo *aTiempoSalida* que en base al valor *aHoraLlegContDescPatio + aTiempoEstExpoLlenos* determina la hora o tiempo en que la entidad será retirada de la terminal.	
73	Store EXPO LLENOS	En el módulo *Store* se específica un almacén de *SetExpoLlenos*, considerando el índice a_bloque, donde el *ContenedorExpo* se resguardará en patio.	
74	Queue	Se utiliza un módulo *Queue Block* para definir que la entidad *ContenedorExpo* se encuentra esperando en la cola *Espera_ContExpoLlenos* antes de que un nuevo proceso la solicite para finalmente ser cargada sobre buque.	
75	ALMACEN EXPO VACIOS	Continuando con la parte *False* del módulo *Decide* del punto 70, con un módulo *Assign* se actualiza la variable del tipo Array llamada *vNoVaciosExpo* y se define el valor *vNoVaciosExpo(a_bloque) + 1*, lo anterior para controlar los contenedores del tipo *vacíos* que arriben a las estaciones exportación en patio por bloque.	
76	Assign npoEstanciaExpoV	Con un módulo *Assign* se define el atributo *aTiempoEstExpoVacios* que mediante la distribución de probabilidad *152 + WEIB(103, 1.93)* determina el periodo de tiempo que la entidad *ContenedorExpo* permanece almacenada en una estación de patio antes de ser cargada sobre buque. También fue asignado el atributo *aTiempoSalida* que en base al valor *aHoraLlegContDescPatio + aTiempoEstExpoVacios* determina la hora o tiempo en que la entidad es retirada de la terminal.	
77	Store EXPO VACIOS	En el módulo *Store* se especifica el almacén *SetExpoVacíos*, considerando el índice a_bloque, donde la entidad *ContenedorExpo* será resguardada en patios.	
78	Queue	Se utiliza un módulo *Queue Block* para definir que la entidad *ContenedorExpo* se encuentra esperando en la cola *Espera_ContExpoVacios* antes de que un nuevo proceso la solicite para finalmente ser cargada sobre buque.	

79	Move A PUERTA	Continuando con la sección *Duplicate* en el punto *68* tabla *4.6*. Con el módulo *Move* se le ordena al transporte *Camion_Tierra* se traslade hacia la estación *puerta*_salida, para ello asigna una velocidad de *14.7 Mt/Seg*.	Name: Move A PUERTA; Transporter Name: CAMION_TIERRA; Unit Number: a_no_camion; Destination Type: Station; Station Name: puerta_salida; Velocity: 14.7; Units: Per Second; OK Cancel Help
80	Station PUERTA SALIDA	Una vez que se definió el traslado es necesario definir al transporte su destino. Para ello se utiliza un módulo *Station*, en esté se define la estación *puerta_salida* como el destino final del transporte *Camion_Tierra* antes de salir del puerto.	Name: Station PUERTA SALIDA; Station Type: Station; Station Name: puerta_salida; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help
81	Tiempo salida camiones	En este momento el transporte *Camion_Tierra* arribó a la estación *puerta_salida*. Se utiliza un módulo *Process* de tipo *Seize*, *Delay*, *Release*, para representar el proceso de revisión de documentación al transporte, para ello se asigna el recurso *Capturista_Salida* que en base a la distribución de probabilidad *LOGNORMAL(0.601, 0.334)* desarrolla dicho proceso.	Name: Tiempo salida camiones; Type: Standard; Logic; Action: Seize Delay Release; Priority: Medium(2); Resources: Resource: capturista_salida, 1; <End of list>; Add... Edit... Delete; Delay Type: Expression; Units: Minutes; Allocation: Value Added; Expression: LOGN(0.601, 0.334); OK Cancel Help
82	Free 3 Camion_Tierra	Con un módulo *Free* se libera al transporte *Camion_Tierra*, se asigna el atributo *a_no_camion* para liberar el camión específico utilizado.	Name: Free 3 Camion_Tierra; Transporter Name: CAMION_TIERRA; Unit Number: a_no_camion; OK Cancel Help
83	RETIRA TRF	Con el módulo *Dispose* se representa la acción de retiro del transporte. El proceso de *Recepción del transporte terrestre y almacenamiento de contenedores de exportación* que inicio en el punto *69* concluye en este instante de la simulación, esté proceso se repetirá el número de veces necesarias hasta su conclusión y satisfaciendo las especificaciones del el modelo.	Name: RETIRA TRF; ☑ Record Entity Statistics; OK Cancel Help

4.1.6. Puerta de salida para contenedores de importación

Hasta esta punto se tiene un inventario de contenedores de importación almacenados en los patios de la terminal, dicha mercancía es necesario sea recogida del puerto, introducida al país y entregada a sus dueños finales. Para desarrollar dicho proceso el subsistema de puertas de entrada permite el acceso al interior de la terminal al transporte público federal, esté se dirige a una estación específica a recoger mercancías, los recursos grúa de patio toman un contendor almacenado y lo depositan sobre la plataforma del transporte, repitiéndose cuantas veces sea necesario hasta que la demanda de importación sea satisfecha. Después el transporte se dirige a puertas de salida, ahí se autoriza su retiro, de esta manera las mercancías de importación salen del puerto y se introducen al interior del país (importación). En la figura 4.6 se muestra la vista modelo lógico programado en Arena Rockwell. En la tabla 4.8 se describen los comandos utilizados en el desarrollo de la sección 4.1.6. del modelo de simulación.

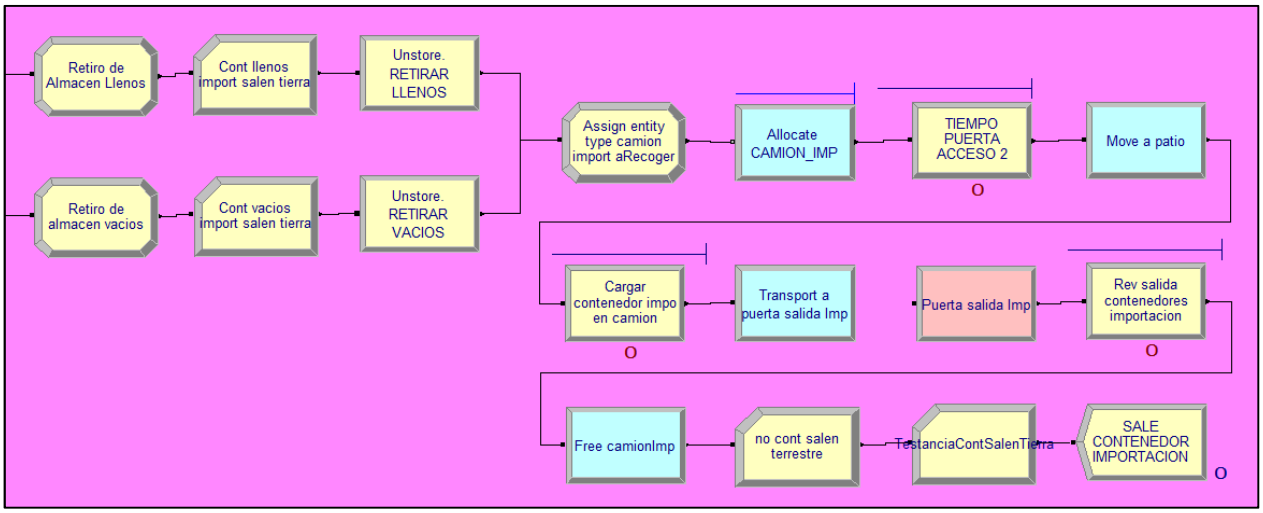
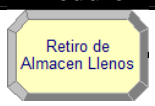
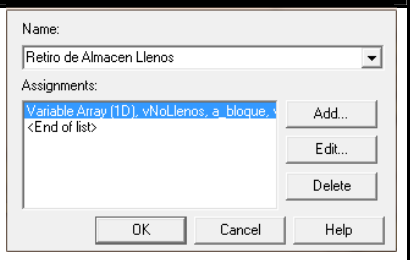
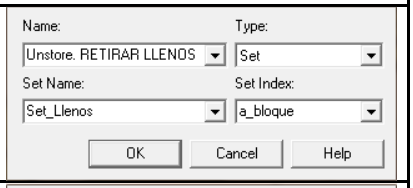
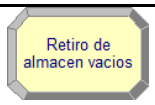
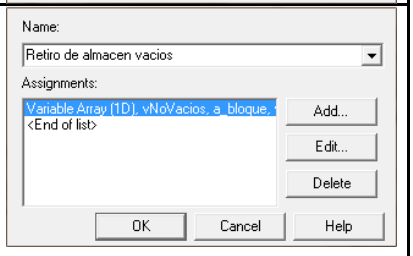
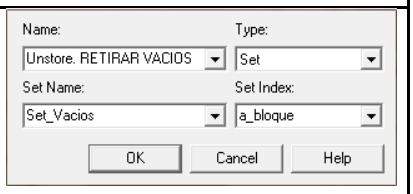


Figura 4.6. Puerta de salida para contenedores de importación.

Tabla 4.8. **Puerta de salida para contenedores de importación.**

No	Módulo	Descripción	Datos
84		Siguiendo con el módulo *Process* de tipo *Delay* en el punto *53* de la tabla 4.5., en el módulo *Assign del* punto *46* de la tabla 4.5 se definió la variable tipo array *vNoLlenos*. Ahora con un módulo *Assign* se asigna dicha variable definida con un nuevo valor *vNoLlenos (a_bloque) - 1*, con ello la variable se actualiza y lleva un control de los contenedores del tipo *llenos* en cada ocasión que son retirados de los patios de la terminal.	
85		El módulo *Unstore* es el responsable de realizar la acción específica de retirar las entidades *Contenedor* del tipo *Llenos* mantenidas en el grupo de almacenes *Set_Llenos*, específicamente en el almacén definido por el índice *a_bloque*.	
86		Siguiendo con el módulo *Process* de tipo *Delay* en el punto *55* de la tabla 4.5., en el módulo *Assign* del punto *48* de la tabla 4.5 se definió la variable tipo array *vNoVacios*. Ahora con un módulo *Assign* se asigna dicha variable definida con un nuevo valor *vNoVacios (a_bloque) - 1*, con ello la variable se actualiza y lleva un control de los contenedores del tipo *vacíos* en cada ocasión que son retirados de los patios de la terminal.	
87		El módulo *Unstore* es el responsable de realizar la acción específica de retirar las entidades *Contenedor* del tipo *Vacíos mantenidas* en el grupo de almacenes *Set_Vacios* específicamente en el almacén definido por el índice *a_bloque*.	

88	Assign entity type camion import aRecoger	Ambos módulos *Unstore* de los puntos *85* y *87* se conectan con un nuevo módulo *Assign*. En este punto la entidad *Contenedor* fue retirada de los almacenes llenos para que un transporte externo a la terminal los recoja, los introduzca a una región *(ciudad)* y el contenedor se entregue a su dueño *(este proceso se denomina importación de mercancías)*. Para representar dicha acción se crea una nueva *Entity Type* llamada *Camion_import* la cual no es un transporte pero se entenderá como tal. De nuevo es llamado el atributo *aRecoger* y se asigna el valor inicial *1*.	Name: Assign entity type camion import aRecoger Assignments: Entity Type, Camion_import Attribute, aRecoger, 1 <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
89	Allocate CAMION_IMP	Se utiliza un módulo *Allocate* para asignar y localizar un nuevo transporte denominado *Camion_Imp*, la unidad utilizada se guardará en el atributo *a_no_camion*.	Name: Allocate CAMION_IMP Transporter Name: CAMION_IMP Selection Rule: Cyclical Save Attribute: a_no_camion Priority: High (1) Queue Type: Queue Queue Name: Allocate CAMION_IMP.Qu OK Cancel Help
90	TIEMPO PUERTA ACCESO 2	El transporte terrestre *Camion_Imp* es externo a la terminal, su ingreso es sin carga, arriba a las *puertas de acceso terrestre* donde se lleva a cabo el proceso de registro y revisión de contenedores dicha acción es realizada por el recurso *Capturista_Entrada*, este proceso se desarrolla en base a la distribución de probabilidad *LOGNORMAL (0.955, 0.491)*.	Name: TIEMPO PUERTA ACCESO 2 Type: Standard Logic Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2) Resources: Resource, Capturista_Entrada, 1 <End of list> Add... Edit... Delete Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added Expression: LOGN(0.955, 0.491) OK Cancel Help
91	Move a patio	Una vez que en el proceso de *puerta de entrada* concluye, es decir, el ingreso del transporte *Camion_Imp* fue autorizado, se utiliza un módulo *Move* para movilizar al transporte desde puerta hacia patio y se asigna el atributo *aStationName* como su destino, en este atributo están guardadas todas las estaciones de descarga o importación, fue asignada una velocidad de traslado sin carga de *14.7 Mts/seg*.	Name: Move a patio Transporter Name: CAMION_IMP Unit Number: a_no_camion Destination Type: Attribute Attribute Name: aStationName Velocity: 14.7 Units: Per Second OK Cancel Help
92	Cargar contenedor impo en camion	Con el módulo *Process* de tipo *Seize*, *Delay*, *Release,* se utiliza un *Set* del recurso *Grua_patio*, este recurso realiza la acción de tomar un contenedor almacenado en patio y depositarlo sobre el transporte *Camion_Imp*, el cual se encuentra a la espera de ser cargado con un contenedor (esta actividad se realiza en importación y exportación). El proceso de carga de contenedores de importación se realiza en base a la distribución de probabilidad *-0.001 + 4.46 * BETA (3.6, 7.67)*.	Name: Cargar contenedor impo en camion Type: Standard Logic Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2) Resources: Set, Set, GruaPatio, 1, Cyclical <End of list> Add... Edit... Delete Delay Type: Expression Units: Minutes Allocation: Value Added Expression: -0.001 + 4.46 * BETA(3.6, 7.67) OK Cancel Help

93	Transport a puerta salida Imp	Con el módulo *Transport* se asigna la actividad de movilizar al transporte *Camion_Imp* (con carga) desde patio hacia la estación *sPuerta_SalidaImp*, en dicha estación será revisada la mercancía antes de salir de la terminal, se asigna una velocidad de traslado de *10.9 Mts/seg*.	Name: Transport a puerta salida Imp; Transporter Name: CAMION_IMP; Unit Number: a_no_camion; Entity Destination Type: Station; Station Name: sPuerta_SalidaImp; Velocity: 10.9; Units: Per Second; Guided Tran Destination Type: Entity Destination; OK Cancel Help
94	Puerta salida Imp	En el módulo *Station* se define la estación *sPuerta_SalidaImp*, éste es el lugar donde el transporte *Camion_Imp* cargado arriba antes de partir del puerto.	Name: Puerta salida Imp; Station Type: Station; Station Name: sPuerta_SalidaImp; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help
95	Rev salida contenedores importacion	Un nuevo módulo *Process* se utiliza para realizar el proceso de revisión de contenedores antes de salir de la terminal *(importación)*, para ello se asigna el recurso *capturista_salida* el cual realiza dicha actividad en base a la distribución de probabilidad *LOGNORMAL(0.601, 0.334)*.	Name: Rev salida contenedores importacion; Type: Standard; Logic; Action: Seize Delay Release; Priority: Medium(2); Resources: Resource, capturista_salida, 1; <End of list>; Add... Edit... Delete; Delay Type: Expression; Units: Minutes; Allocation: Value Added; Expression: LOGN(0.601, 0.334); OK Cancel Help
96	Free camionImp	El modulo *Free* se utiliza para liberar al transporte *Camion_Imp* de la entidad *Contenedor*.	Name: Free camionImp; Transporter Name: CAMION_IMP; Unit Number: a_no_camion; OK Cancel Help
97	SALE CONTENEDOR IMPORTACION	Con el módulo *Dispose* finaliza el proceso de importación de contenedores. Después la entidad *Contendor* pasa al área de *Aduana* para legalizar la internación de mercancías en un país o región. El proceso de *aduanas* no forma parte de este estudio de simulación.	Name: SALE CONTENEDOR IMPORTACION; ☑ Record Entity Statistics; OK Cancel Help

4.1.7. Localización en patio de contenedores de exportación

Concluidas las actividades de descarga de contenedores (sección 4.1.2. y 4.1.3.), continúan las operaciones de exportación o carga sobre buque, estas se refiere a localizar los contenedores que arribaron a la terminal vía terrestre mediante el subsistema de puertas de acceso, los cuales se encuentran segregados en las diferentes estaciones de almacenamiento. El proceso de carga de mercancía de exportación se refiere a recoger y enviar al área de muelle los contenedores por medio de camiones de transporte y por último las grúas de muelle los carguen sobre buque. En las figuras 4.7 y 4.8 se presentan vistas del modelo lógico programado en el

software de simulación. En las tablas 4.9 y 4.10 se realiza una descripción de los comandos utilizados en el desarrollo del modelo.

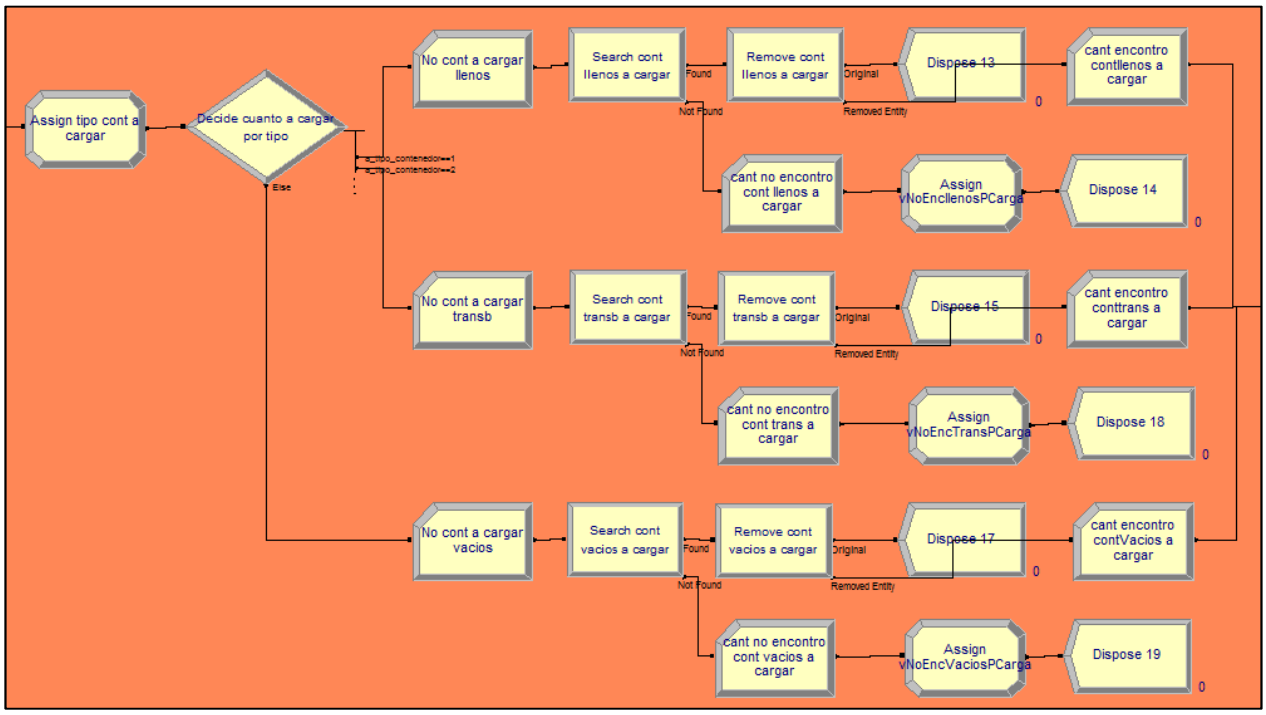
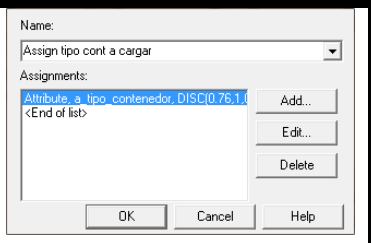
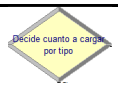
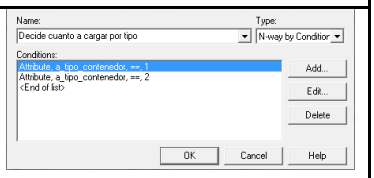
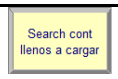
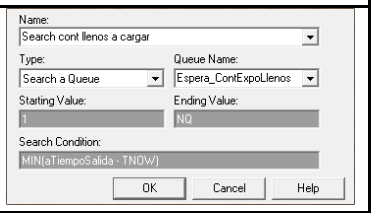


Figura 4.7. Localización en patio de contenedores de exportación.

Tabla 4.9. **Localización en patio de contenedores de exportación.**

No	Módulo	Descripción	Datos
98		Continuando con la parte *Duplicate* del módulo *Separate* del punto *14* de la tabla *4.3*. La sección de carga de exportación inicia con un módulo *Assign*, se asigna el atributo *a_tipo_contenedor* y se agrega como valor la distribución de probabilidad de tipo discreta *DISC (0.76,1,0.85,2,1,3)*, con esté valor se define el tipo de contenedor *lleno*, *transbordo* o *vacío*.	
99		Con el modulo *Decide* la entidad *Contenedor* es separada por su tipo, *1* para *llenos*, *2* para *transbordos* y *3* para *vacíos*, se utiliza una condición de tipo *2-way by Condition* y se evalúa el atributo *a_tipo_contenedor* en base a las condiciones == *1*, == *2*, por lo anterior, el comando crea tres salidas, la primera para la entidad *Contenedor* tipo *llenos*, la segunda para los *transbordos* y la tercera salida *Else* para los *vacíos*.	
100		La primera salida del módulo *Decide* en el punto 99 se conecta a un módulo *Search.* Esté se utiliza para buscar las entidades *ContenedorExpo* del tipo *llenos* ubicadas en los almacenes de contenedores de *exportación*, dichas entidades se encuentran en la cola *Espera_ContExpoLlenos* definida por el módulo	

		Queue en el punto *74* de la tabla *4.7* a la espera de ser requeridas. La búsqueda inicia con la primera entidad ubicada en la fila y concluye con la última entidad en la fila *NQ*, se define la condición *MIN(aTiempoSalida - TNOW)* la búsqueda de entidades se realiza en base a dicha condición, la cual determina el orden en que las entidades serán exportadas. El módulo *Search* crea dos salidas *Found* y *Not Found*.	
101	Remove cont llenos a cargar	La primera salida *Found* del módulo anterior *Search* en el punto *100* se conecta al comando *Remove*, en él se define la cola *Epera_ContExpoLlenos*, el rango *J* establece que la entidad viene de una búsqueda y la retira de la cola. El módulo *Remove* crea dos salidas *Original* y *Removed Entity*; la entidad resultante se envía a *Removed Entity* y en la salida *Original* se elimina para fines convenientes del modelo. En el módulo *Allocate* del punto 115 se continuará analizando la salida *Removed Entity*.	Name: Remove cont llenos a cargar Queue Name: Espera_ContExpoLlenos Rank of Entity: J OK Cancel Help
102	Dispose 13	Con el módulo *Dispose* se elimina la salida *Original* del anterior módulo *Remove* en el punto *101*.	Name: Dispose 13 Record Entity Statistics OK Cancel Help
103	Assign NoEncllenosPCarga	La salida *Not Found* del módulo *Search* en el punto *100* se conecta a un módulo *Assign*, en esté se define la variable *vNoEncLlenosPCarga* y se asigna el valor *vNoEncLlenosPCarga + 1*. La variable registra las entidades *ContenedorExpo* y dicho valor suma una entidad al registro en cada ocasión que la entidad fue encontrada.	Name: Assign vNoEncllenosPCarga Assignments: Variable, vNoEncLlenosPCarga, vNoEncLl <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
104	Dispose 14	Se utiliza el módulo *Dispose* para concluir con la búsqueda y registro de la entidad *ContenedorExpo* que inicio en el módulo *Assign* en el punto *98*.	Name: Dispose 14 Record Entity Statistics OK Cancel Help
105	Search cont transb a cargar	La segunda salida del módulo *Decide* en el punto *99* se conecta a un módulo *Search*. Esté se utiliza para para buscar las entidades *Contenedor* del tipo *transbordos* o tipo *2* almacenadas en la estación *1A_transbordos* de *exportación*, dichas entidades se encuentran en la cola *Espera_cont_transb* definida por el módulo *Queue* del punto *54* de la tabla *4.5*. La búsqueda inicia con la primera entidad ubicada de la fila y concluye con la última entidad en la fila *NQ*, se define la condición *MIN(aTiempoSalida - TNOW)* la búsqueda de entidades se realiza en base a dicha condición, la cual determina el orden en que las entidades serán exportadas. El módulo *Search* crea dos salidas *Found* y *Not Found*.	Name: Search cont transb a cargar Type: Search a Queue Queue Name: Espera_cont_transb Starting Value: 1 Ending Value: NQ Search Condition: MIN(aTiempoSalida - TNOW) OK Cancel Help

106	Remove cont transb a cargar	La primera salida *Found* del módulo *Search* del punto *105* se conecta al comando *Remove*, en él se define la cola *Epera_Cont_Transb*, el rango *J* establece que la entidad viene de una búsqueda y la retira de la cola. El módulo *Remove* crea dos salidas *Original* y *Removed Entity*; la entidad resultante se envía a *Removed Entity* y en la salida *Original* se elimina para fines convenientes del modelo. En el módulo *Allocate* del punto 115 se continuará analizando la salida *Removed Entity*.	Name: Remove cont transb a cargar Queue Name: Espera_cont_transb Rank of Entity: J OK Cancel Help
107	Dispose 15	Con el módulo *Dispose* se elimina la salida *Original* del anterior módulo *Remove*.	Name: Dispose 15 Record Entity Statistics OK Cancel Help
108	Assign vNoEncTransPCarga	La salida *Not Found* del módulo *Search* en el punto *105* se conecta a un módulo *Assign*, en esté se define la variable *vNoEncTransPCarga* y se le asigna el valor *vNoEncTransPCarga + 1*. La variable registra las entidades *Contenedor* del tipo *transbordos* y el valor suma una entidad al registro en cada ocasión que la entidad fue encontrada.	Name: Assign vNoEncTransPCarga Assignments: Variable, vNoEncTransPCarga, vNoEncTra <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
109	Dispose 18	Se utiliza el módulo *Dispose* para concluir con la búsqueda y registro de la entidad *Contenedor* del tipo *transbordos* que inicio en el módulo *Assign* en el punto *98*.	Name: Dispose 18 Record Entity Statistics OK Cancel Help
110	Search cont vacios a cargar	La tercera salida del módulo *Decide* en el punto *99* se conecta a un módulo *Search*. Éste se utiliza para buscar las entidades *ContenedorExpo* del tipo *vacíos ubicadas* en los almacenes de contenedores de *exportación*, dichas entidades se encuentran en la cola *Espera_ContExpoVacios* definida por el módulo *Queue* del punto *74* de la tabla *4.7* a la espera de ser requeridas. La búsqueda inicia con la primera entidad ubicada de la fila y concluye con la última entidad en la fila *NQ*, se define la condición *MIN(aTiempoSalida - TNOW)* la búsqueda de entidades se realiza en base a dicha condición, la cual determina el orden en que las entidades serán exportadas. El módulo *Search* crea dos salidas *Found* y *Not Found*.	Name: Search cont vacios a cargar Type: Search a Queue Queue Name: Espera_ContExpoVacios Starting Value: 1 Ending Value: NQ Search Condition: MIN(aTiempoSalida - TNOW) OK Cancel Help
111	Remove cont vacios a cargar	La primera salida *Found* del módulo *Search* del punto *110* se conecta al comando *Remove*, en él se define la cola *Epera_ContExpoVacios*, el rango *J* establece que la entidad viene de una búsqueda y la retira de la cola. El módulo *Remove* crea dos salidas *Original* y *Removed Entity*; la entidad resultante se envía a *Removed Entity* y en la salida *Original* se elimina para fines convenientes del modelo. En el punto *115* de la tabla *4.10* se continuará analizando la salida *Removed Entity*.	Name: Remove cont vacios a cargar Queue Name: Espera_ContExpoVacios Rank of Entity: J OK Cancel Help

112	Dispose 17	Con el módulo *Dispose* se elimina la salida *Original* del anterior módulo *Remove*.	Name: Dispose 17 ☑ Record Entity Statistics OK Cancel Help
113	Assign NoEncVaciosPCarg	La salida *Not Found* del módulo *Search* en el punto *110* se conecta a un módulo *Assign*, en esté se define la variable *vNoEncVaciosPCarga* y se le asigna el valor *vNoEncVaciosPCarga + 1*. La variable registra las entidades *ContenedorExpo* y el valor suma una entidad al registro en cada ocasión que la entidad fue encontrada.	Name: Assign vNoEncVaciosPCarga Assignments: Variable, vNoEncVaciosPCarga, vNoEncV <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
114	Dispose 19	Se utiliza el módulo *Dispose* para concluir con la búsqueda y registro de la entidad *ContenedorExpo* que inicio en el módulo *Assign* en el punto *98*.	Name: Dispose 19 ☑ Record Entity Statistics OK Cancel Help

4.1.8. Carga de contenedores de exportación sobre buque

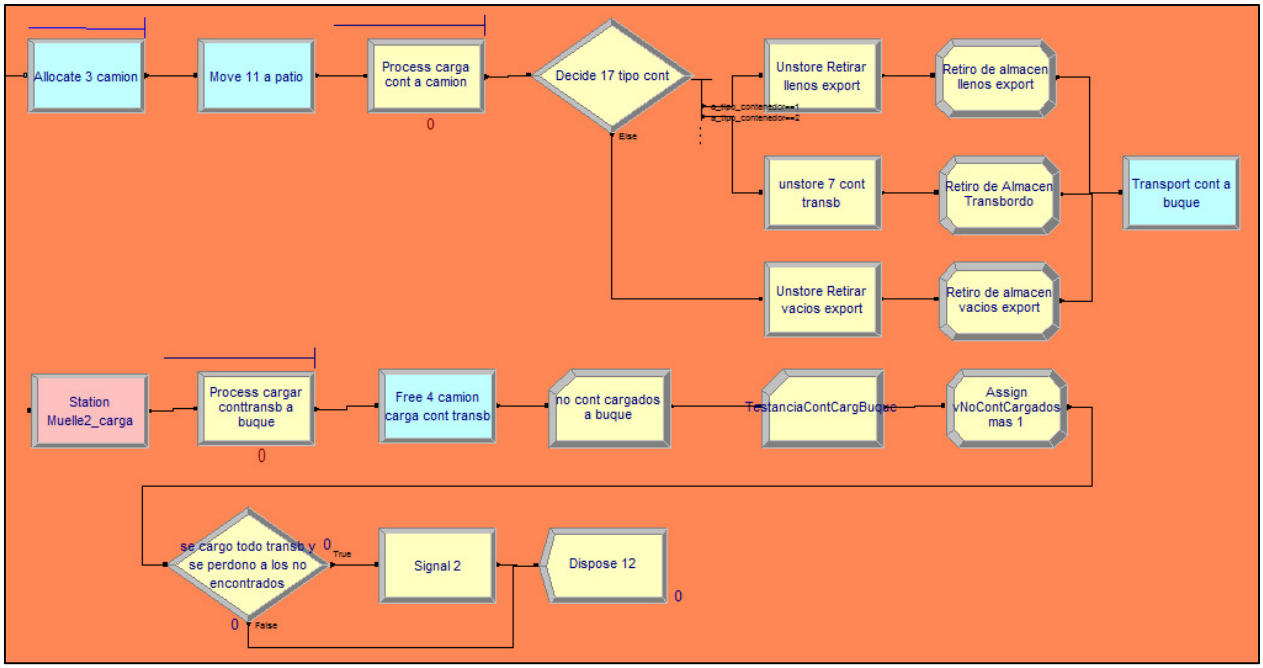
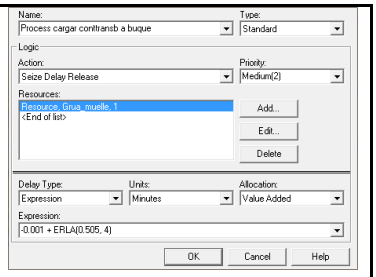
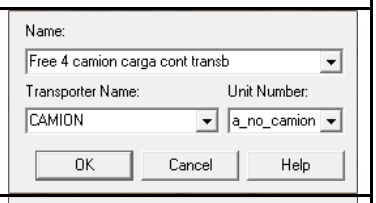
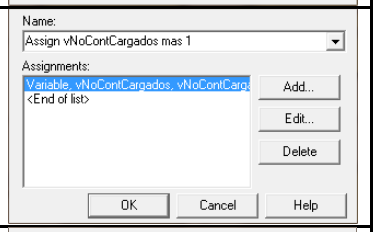
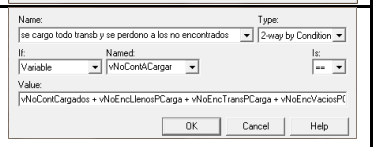
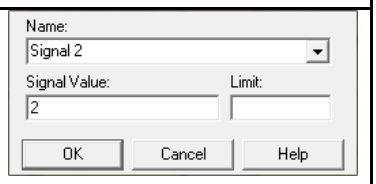
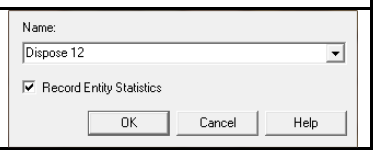


Figura 4.8. Carga de contenedores de exportación sobre buque.

Tabla 4.10. **Carga de contenedores de exportación sobre buque.**

No	Módulo	Descripción	Datos
115	Allocate 3 camion	Para cada uno de los tres módulos *Remove* en los puntos *101*, *106* y *111* de la tabla *4.9* se creó la salida *Removed Entity*, estas se conectan a un módulo *Allocate*, el cual se utiliza para asignar el transporte *Camion* a las entidades *ContenedorExpo* y *Contenedor* del tipo *llenos*, *transbordos* y *vacíos*. La unidad de transporte *Camion* se guarda en el atributo *a_no_camion*.	Name: Allocate 3 camion; Transporter Name: CAMION; Selection Rule: Cyclical; Save Attribute: a_no_camion; Priority: High (1); Queue Type: Queue; Queue Name: Allocate 3 camion.Queue; OK Cancel Help
116	Move 11 a patio	Con el módulo *Move* se ordena al transporte *Camion* trasladarse a las estaciones de exportación salvadas en el atributo *aStationName*, se asigna una velocidad sin carga de *14.7 Mts/seg*.	Name: Move 11 a patio; Transporter Name: CAMION; Unit Number: a_no_camion; Destination Type: Attribute; Attribute Name: aStationName; Velocity: 14.7; Units: Per Second; OK Cancel Help
117	Process carga cont a camion	Una vez que *Camion* se presente en las estaciones de exportación inicia el proceso de carga de contenedores sobre el transporte, para que posteriormente la entidad *Contenedor* se traslade a muelle y sean cargadas sobre buque. Se utiliza un módulo *Process* del tipo *Seize*, *Delay*, *Release* y es asignado el recurso *Grúa_patio*, este proceso se desarrolla en base a la distribución de probabilidad *-0.001 + 4.46 * BETA (3.6, 7.67)*.	Name: Process carga cont a camion; Type: Standard; Logic; Action: Seize Delay Release; Priority: Medium(2); Resources: Set Set GruaPatio 1 Cyclical; Delay Type: Expression; Units: Minutes; Allocation: Value Added; Expression: -0.001 + 4.46 * BETA(3.6, 7.67); OK Cancel Help
118	Decide 17 tipo cont	Con el modulo *Decide* la entidad *Contenedor* de exportación es separada por su tipo, *1* para llenos, *2* para *transbordos* y *3* para *vacíos*, se utiliza una condición de tipo *2-way by Condition* y se asigna el atributo *a_tipo_contenedor* en base a la condición == *1*, == *2*, por lo anterior, el comando crea tres salidas, la primera para la entidad *Contenedor* tipo *1* (*llenos)*, la segunda para los tipo *2 (transbordos)* y la tercera salida *Else* para los del tipo *3 (vacíos)*.	Name: Decide 17 tipo cont; Type: N-way by Condition; Conditions: Attribute, a_tipo_contenedor, ==, 1; Attribute, a_tipo_contenedor, ==, 2; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
119	Unstore Retirar llenos export	La primera salida del anterior modulo *Decide* en punto 118 conecta a un módulo *Unstore*. Es necesario que los contenedores de exportación desaparezcan de los almacenes, para ello se utiliza un módulo *Unstore*, las entidades del tipo *llenos* se retiran del bloque específico que corresponden al atributo *a_bloque*, de esta manera cada almacén de exportación no satura su capacidad y podrá seguir resguardando más contenedores.	Name: Unstore Retirar llenos export; Type: Set; Set Name: SetExpoLlenos; Set Index: a_bloque; OK Cancel Help
120	Retiro de almacen llenos export	Para llevar un control de los contenedores llenos de exportación que son retirados de cada almacén se utiliza un módulo *Assign*, se asigna la variable de tipo Array *vNoLlenosExpo* y se define el valor *vNoLlenosExpo(a_bloque) - 1*, de esta manera se lleva el control de los contenedores retirados por bloque.	Name: Retiro de almacen llenos export; Assignments: Variable Array (1D), vNoLlenosExpo, a_bloc; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help

121	unstore 7 cont transb	La segunda salida del módulo *Decide* punto *118* se conecta a un módulo *Unstore*. Es necesario que los contenedores de exportación desaparezcan de los almacenes, para ello se utiliza un módulo *Unstore*, las entidades del tipo *transbordos* se retiran del bloque especifico que corresponden al atributo *a_bloque*, de esta manera cada almacén de exportación no satura su capacidad y podrá seguir resguardando más contenedores.	Name: unstore 7 cont transb Type: Set Set Name: Set_Transbordos Set Index: a_bloque OK Cancel Help
122	Retiro de Almacen Transbordo	Para llevar un control de los contenedores de transbordos que son retirados de cada almacén se utiliza un módulo *Assign*, se asigna la variable de tipo Array *vNoTrasbordo* y se define el valor *vNoTrasbordo (a_bloque) - 1*, de esta manera se lleva el control de los contenedores retirados por bloque.	Name: Retiro de Almacen Transbordo Assignments: Variable Array (1D), vNoTrasbordo, a_bloqu <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
123	Unstore Retirar vacios export	La tercera salida *Else* del módulo *Decide* punto *118* se conecta a un módulo *Unstore*. Es necesario que los contenedores de exportación desaparezcan de los almacenes, para ello se utiliza un módulo *Unstore*, las entidades del tipo *vacíos* se retiran del bloque específico que corresponden al atributo *a_bloque*, de esta manera cada almacén de exportación no satura su capacidad y podrá seguir resguardando más contenedores.	Name: Unstore Retirar vacios export Type: Set Set Name: SetExpoVacios Set Index: a_bloque OK Cancel Help
124	Retiro de almacen vacios export	Para llevar un control de los contenedores que son retirados de cada almacén se utiliza un módulo *Assign*, se asigna la variable de tipo Array *vNoVaciosExpo* y se define el valor *vNoVaciosExpo (a_bloque) - 1*, de esta manera se lleva el control de los contenedores retirados por bloque.	Name: Retiro de almacen vacios export Assignments: Variable Array (1D), vNoVaciosExpo, a_bloq <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
125	Transport cont a buque	Los tres módulos *Assign* de los puntos *120*, *122* y *124* se conectan a un módulo *Transport*, en este momento las entidades *ContenedorExpo* se encuentran cargadas en el transporte *Camion,* pero el transporte no ha recibido la orden de partir. Con el módulo *Transport* se define la estación *muelle2_carga* como el destino hacia donde *Camion* debe transportar ambas entidades. La velocidad de traslado asignada es *10.9 mts/Seg*.	Name: Transport cont a buque Transporter Name: CAMION Unit Number: a_no_camion Entity Destination Type: Station Station Name: muelle2_carga Velocity: 10.9 Units: Per Second Guided Tran Destination Type: Entity Destination OK Cancel Help
126	Station Muelle2_carga	Con el módulo *Station* se define la estación *muelle2_carga*, siendo el sitio donde el transporte *Camion* arriba con las entidades *ContenedorExpo* para que posteriormente sean cargadas sobre buque.	Name: Station Muelle2_carga Station Type: Station Station Name: muelle2_carga Parent Activity Area: Associated Intersection: OK Cancel Help

127	Process cargar conttransb a buque	Se utiliza un módulo *Process* del tipo *Seize*, *Delay*, *Release* para representar el proceso de carga de contenedores de exportación sobre buque, para ello se define el recurso *Grúa_muelle*, en base a la distribución de probabilidad *-0.001 + ERLANG(0.505, 4)* se desarrolla el proceso de carga. Este proceso inicia desde el momento en que la grúa toma el contenedor ubicado sobre el transporte *Camion*, lo eleva, traslada y deposita sobre buque. El proceso de carga del recurso *Grúa_muelle* se reinicia en el instante en que el siguiente contenedor es tomado por el recurso *Grúa_muelle* desde el transporte *Camion*.	
128	Free 4 camion carga cont transb	En este punto el transporte *Camion* se encuentra sin carga, para liberarlo se utiliza un módulo *Free,* de esta forma queda libre y podrá seguir realizando los transportes.	
129	Assign vNoContCargados mas 1	Se utiliza un nuevo módulo *Assign* para asignar la variable *vNoContCargados*, la cual mediante el valor *vNoContCargados + 1* registra la cantidad total de contenedores que han sido cargados sobre buque.	
130	se cargo todo transb y se perdono a los no encontrados	Se utiliza un módulo *Decide* de tipo *2 way By Condition* para comparar si la variable *vNoContACargar* es igual al valor *vNoContCargados + vNoEncLlenosPCarga + vNoEncTransPCarga + vNoEncVaciosPCarga*, si la comparación es igual todo el proceso de carga ha sido concluido y fue correcto. El modulo *Decide* crea dos salidas *True* y *False*, la primera se conecta al módulo *Signal* en el punto 131 y la segunda al módulo *Dispose* en el punto *132*.	
131	Signal 2	Si la condición del módulo *Decide* del punto *130* se cumple; es decir si la carga de contenedores de exportación ha concluido, se utiliza un módulo *Signal* para enviar la señal *2* al comando *Hold* en el punto *15* de la tabla *4.3*. Lo anterior quiere decir que las operaciones de carga y descarga terminaron, por lo tanto la entidad *Buque* puede continuar con el proceso de *desatraque* y partir del puerto. El proceso restante se mencionó a partir del punto *16* al 20 de la tabla *4.3*.	
132	Dispose 12	Con el módulo *Dispose* se concluye el modelo de simulación de la terminal marítima de contenedores.	

4.2. Descripción de comandos de procesos de Arena Rockwell

Enseguida se realiza una descripción de las ventanas de procesos para las diferentes entidades, atributos, variables, valores, distancias, procesos, estaciones, entre otras. Dichas características son utilizadas en la construcción y alimentación del modelo de simulación, es importante mencionar que en estos valores se definen capacidades, características de capacidad de recursos, capacidades de almacenes, expresiones, etc.

Entity Basic – Process: En la figura 4.9 se muestra la ventana en donde son registradas las entidades, las cuales son: Contenedor, Buque, DummyCamion, Camion_impo, Camion_import, ContenedorExpo y EntCamion_Expo todas son parte fundamental en la construcción del modelo.

Entity - Basic Process

	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	Contenedor	Picture.ContenedorDescarg	0.0	0.0	0.0	☑
2	BUQUE	Picture.Buque	0.0	0.0	0.0	☑
3	DummyCamion	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	☑
4	Camion_impo	Picture.Truck	0.0	0.0	0.0	☑
5	Camion_import	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	☑
6	ContenedorExpo	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	☑
7	entCamion_Expo	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	☑

Figura 4.9. Entity Basic – Process

Resource - Basic Process: En la ventana Resource Basic Process de la figura 4.10 se muestra una lista de los recursos utilizados en el modelo, cada uno de ellos desarrolla una actividad específica y son necesarios para representar las actividades de maquinaria y personal de la terminal marítima de contenedores.

Resource - Basic Process

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	Failures	Report Statistics
1	Autoridades	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
2	VERIFICADOR GRUA DE MUELLE	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
3	Grua_muelle	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
4	Muelle_2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
5	Capturista_Entrada	Fixed Capacity	3	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
6	capturista_salida	Fixed Capacity	2	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
7	Grua_patio4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
8	Grua_patio1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
9	Grua_patio3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
10	Grua_patio2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
11	Grua_patio5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑

Figura 4.10. Resource - Basic Process

Queue - Basic Process: Cuando en la construcción del modelo fue necesario representar procesos de la terminal de contenedores, como la carga o descarga desarrollado por los recursos grúa de muelle, se presentan colas de transporte o filas de espera. En la figura 4.11 se muestra la ventana en la que se enlistan las colas registradas durante la simulación.

Queue - Basic Process

	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	Process 5. REVISION CONTENEDORES DESCARGADOS.Queue	First In First Out	☐	☑
2	Process 6. REVISION E EIR.Queue	First In First Out	☐	☑
3	Process 2. AUTORIZACION INICIO OPERACIONES.Queue	First In First Out	☐	☑
4	Leave 1. DESC BUQUE Y CARG CAMION.Queue	First In First Out	☐	☑
5	Process descarga de camion en patio.Queue	First In First Out	☐	☑
6	TIEMPO PUERTA ACCESO.Queue	First In First Out	☐	☑
7	DESCARGA CAMION EXPO PATIO.Queue	First In First Out	☐	☑
8	Cargar contenedor impo en camion.Queue	First In First Out	☐	☑
9	TIEMPO PUERTA ACCESO 2.Queue	First In First Out	☐	☑
10	Tiempo salida camiones.Queue	First In First Out	☐	☑
11	Rev salida contenedores importacion.Queue	First In First Out	☐	☑
12	Allocate camion_tierra.Queue	First In First Out	☐	☑
13	Hold 1. BUQUE EN DESCARGA.Queue	First In First Out	☐	☑
14	Process cargar conttransb a buque.Queue	First In First Out	☐	☑
15	Espera_cont_transb	First In First Out	☐	☑
16	Hold 2 BUQUE EN CARGA.Queue	First In First Out	☐	☑
17	Espera_ContExpoVacios	First In First Out	☐	☑
18	Allocate 3 camion.Queue	First In First Out	☐	☑
19	Allocate CAMION_IMP.Queue	First In First Out	☐	☑
20	Process carga cont a camion.Queue	First In First Out	☐	☑
21	Espera_ContExpoLlenos	First In First Out	☐	☑

Figura 4.11. Queue - Basic Process

Schedule - Basic Process: A diferencia de los buques portacontenedores que son recibidos por la terminal marítima en cualquier horario durante todo el año y por medio del ajuste a una distribución de probabilidad fueron representadas sus arribos. Las llegadas de los contendores de exportación a la terminal solo se realiza en un horario predeterminado siendo este los días lunes a sábado, por ello para reproducir sus arribos al subsistema de puertas de acceso fue necesario desarrollar un calendario de trabajo. Para formularlo se recabaron datos de registros históricos de un año de la propia terminal y se ajustaron a un calendario de llegadas. En la figura 4.12 se muestra la ventana Schedule - Basic Process en la cual es creado dicho

programa. En la figura 4.13 se presentan el calendario para seis días semanales generado para un año.

Schedule - Basic Process

	Name	Format Type	Type	Time Units	Scale Factor	Durations
1	Llegada camiones	Duration	Arrival	Hours	1	89 rows

Figura 4.12. Schedule - Basic Process.

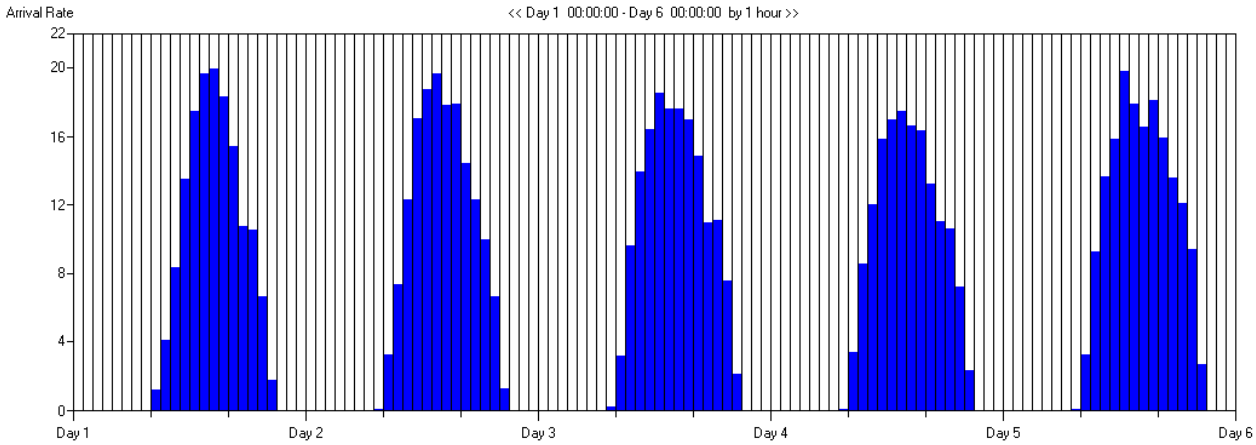


Figura 4.13. Calendario de arribos de contenedores al subsistema de puertas de acceso.

Variable - Basic Process: Durante el desarrollo del modelo se crearon diferentes variables para registrar datos como el número total de contenedores descargados de buque, el número de contenedores llenos y vacíos que arriban por puertas de acceso, cantidad de contenedores a cargar, entre otras. En la figura 4.14 se muestra la ventana Variable - Basic Process en ella se enlistan todas las variables utilizadas.

Variable - Basic Process

	Name	Rows	Columns	Data Type	Clear Option	Initial Values	Report Statistics
1	vNoTrasbordo	1		Real	System	0 rows	☐
2	vNoLlenos	5		Real	System	0 rows	☐
3	vNoVacios	3		Real	System	0 rows	☐
4	vNoContDescargados			Real	System	0 rows	☐
5	vNoLlenosExpo	4		Real	System	0 rows	☐
6	vNoVaciosExpo	3		Real	System	0 rows	☐
7	vNoContCargados			Real	System	0 rows	☐
8	vNoContACargar			Real	System	0 rows	☐
9	vNoEncVaciosPCarga			Real	System	0 rows	☐
10	vNoEncTransPCarga			Real	System	0 rows	☐
11	vNoEncLlenosPCarga			Real	System	0 rows	☐
12	vNoContADescargar			Real	System	0 rows	☐
13	vNoBuquesEspMuelle			Real	System	0 rows	☐

Figura 4.14. Variable - Basic Process.

Set - Basic Process: Del lado izquierdo de la figura 4.15 se muestra la ventana Set - Basic Process en ella fue creado el grupo de recursos *Set_GruaPatio*, en el lado derecho se presentan los cinco recursos *grúa_patio* (maquinaria) que componen el grupo de recursos.

Set - Basic Process

	Name	Type	Members
1	Set_GruaPatio	Resource	5 rows

	Resource Name
1	Grua_patio1
2	Grua_patio2
3	Grua_patio3
4	Grua_patio4
5	Grua_patio5

Figura 4.15. Set - Basic Process.

Transporter - Advanced Transfer: En la figura 4.16 se muestran los tres recursos de tipo transporte que son utilizados en la programación lógica del modelo y los cuales representan a los diferentes transportes utilizados en la terminal de contenedores, estos son:

Camion. Éste representa el transporte interno de la terminal, usado para movilizar contenedores descargados desde buque en muelle, llevados a patios para su almacenamiento y viceversa. En el desarrollo de la simulación el transporte *camión* es encargado de mover a la entidad *contendor*.

Camion_Tierra. Es un transporte externo a la terminal, se refiere al proceso de exportación, es decir; vía terrestre arriba al puerto la mercancía contenerizada mediante camiones de transporte, éste ingresa al interior de la terminal solo para almacenar en patio los contenedores, después el transporte se retira y posteriormente los contenedores serán cargados sobre buque a través de los camiones internos.

Camion_Imp. Transporte externo a la terminal, se refiere al proceso de importación, vía terrestre arriban al puerto camiones de transporte vacíos (sin contenedores), éstos ingresan al puerto para retirar los contenedores de importación ubicados en los almacenes de patio, ingresarlos al interior de una región y por ultimo ser entregados a sus clientes.

Transporter - Advanced Transfer

	Name	Number of Units	Type	Distance Set	Velocity	Units	Initial Position Status	Report Statistics
1	CAMION	8	Free Path	CAMION.Distance	10.9	Per Second	1 rows	☑
2	CAMION_TIERRA	50	Free Path	CAMION_TIERRA.Distan	10.9	Per Second	1 rows	☑
3	CAMION_IMP	50	Free Path	CAMION_IMP.Distance	14.7	Per Second	1 rows	☑

Figura 4.16. Transporter - Advanced Transfer.

Distance - Advanced Transfer: Para cado uno de los tres diferentes tipos de transporte enunciados en la figura 4.16 se les fue asignado distintas distancias de traslado entre estaciones o secciones de la propia terminal marítima, se utilizó como unidad de medida el metro, las distancias representan los traslados desde muelle a patio, patio a muelle, puertas de acceso a patio y desde patio a puertas de salida. El transporte *Camion* cuenta 42 distancias asignadas, para *Camion_Tierra* fueron necesarias 14 y para *Camion_Imp* se utilizaron 17 distancias. No se muestran los detalles de distancias por cuidado a la información de la empresa. En la figura 4.17 se presenta el comando Distance – Advanced Transfer donde se asignan las distancias para cada transporte.

Distance - Advanced Transfer

	Name	Stations
1	CAMION.Distance	42 rows
2	CAMION_TIERRA.Distance	14 rows
3	CAMION_IMP.Distance	17 rows

Figura 4.17. Distance - Advanced Transfer.

Advanced Set - Advanced Process: En la parte superior de la figura 4.18 se enlistan los diferentes set's que fueron creados en el modelo de simulación.

Para el proceso de *descarga* o también llamado *importación* corresponden los set's: *Set_Llenos*, *Set_Transbordos* y *Set_Vacios*. Para los contenedores del tipo *Llenos* corresponde el primer grupo llamado *Set_Llenos* enmarcado en color azul, el cual se conforma por los almacenes *2A_llenos_descarga*, *3A_llenos_descarga*, *1B_llenos_descarga*, *2B_llenos_descarga* y *3B1_llenos_descarga*.

Para los contenedores del tipo *transbordos* corresponde el segundo grupo llamado *Set_Transbordos* delimitado en color rojo, satisfaciendo al almacén *1A_transbordos_descarga*.

Para los contenedores del tipo *vacíos* corresponde el tercer grupo llamado *Set_Vacios* en color verde, éste es integrado por los almacenes *2C1_vacios_descarga*, *2C2_vacios_descarga* y *3C_vacios_descarga*.

Para el proceso de *carga* o también llamado *exportación* corresponden los set's: *SetExpoLlenos* y *SetExpoVacios*.

Para los contenedores del tipo *Llenos* corresponde el primer grupo llamado *SetExpoLlenos* enmarcado en color café, el cual se conforma por los almacenes *4A_expo_carga*, *3B_expo_carga*, *4B_expo_carga*, *4C_expo_carga*.

Para los contenedores del tipo *vacíos* corresponde el tercer grupo llamado *SetExpoVacios* delimitado en color amarillo, éste es integrado por los almacenes *1C1_expo_carga*, *1C2_expo_carga* y *3C_expo_carga*.

Advanced Set - Advanced Process

	Name	Set Type	Members
1	Set_Llenos	Storage	5 rows
2	Set_Transbordos	Storage	1 rows
3	Set_Vacios	Storage	3 rows
4	SetExpoLlenos	Storage	4 rows
5	SetExpoVacios	Storage	3 rows

	Storage Name
1	2A_llenos_descarga
2	3A_llenos_descarga
3	1B_llenos_descarga
4	2B_llenos_descarga
5	3B1_llenos_descarga

	Storage Name
1	1A_transbordos_desc

	Storage Name
1	2C1_vacios_descarga
2	2C2_vacios_descarga
3	3C_vacios_descarga

	Storage Name
1	4A_expo_carga
2	3B_expo_carga
3	4B_expo_carga
4	4C_expo_carga

	Storage Name
1	1C2_expo_carga
2	1C1_expo_carga
3	3C_expo_carga

Figura 4.18. Advanced Set – Advanced Process.

Expression – Advanced Process: Se utilizaron siete distintas expresiones *eNoTransbordosTotal, eNoVacioTotal, eNoLlenosTotal, eNoLlenosExpoTotal, eNoVaciosExpoTotal, eNoContTotal* cada una de las expresiones registra las cantidades totales de la entidad *Contenedor* que se incluyen en el modelo. La expresión *eTBuqueU* registra la cantidad de buques que fueron atendidos en cada una de las corridas del modelo de simulación. En la figura 4.19 se ilustran dichas expresiones de procesos avanzados. En la tabla 4.17 se describen las expresiones utilizadas en la programación lógica.

Expression - Advanced Process

	Name	Data Type	Expression Values
1	eNoTrasbordoTotal	Native	1 rows
2	eNoVaciosTotal	Native	1 rows
3	eNoLlenosTotal	Native	1 rows
4	eNoLlenosExpoTotal	Native	1 rows
5	eNoVaciosExpoTotal	Native	1 rows
6	eNoContTotal	Native	1 rows
7	eTBuqueU	Native	1 rows

Figura 4.19: Expression - Advanced Transfer.

4.3. Resumen datos de simulación

A continuación se realiza una descripción de los datos utilizados en la construcción del modelo de simulación en forma de tablas, la información que se resume corresponde a variables, atributos, expresiones, estaciones, almacenes y grupos de almacenes, para cada uno de los cuatros subsistemas *Muelle, Patio, Transporte* y *Puertas de acceso/salida* de la terminal de contenedores utilizados para el modelo de simulación. Lo anterior fue necesario definir para representar el proceso de importación (descarga) como para el proceso de carga (exportación). Las tablas 4.11, 4.12, 4.13, corresponden al proceso de descarga, las tablas 4.14, 4.15. 4.16 al proceso de carga de contenedores tipo llenos, transbordos y vacíos respectivamente. En la tabla 4.17 se enlistan las expresiones necesarias para contabilizar datos generales de los contenedores totales.

En la figura 4.20 se analiza el grafico *total de contenedores en piso* (promedio anual de contenedores almacenados en los patios de la terminal) para determinar la estabilización del sistema simulado, para obtener dicha gráfica se utilizó la herramienta *Output Analyzer* de *Arena Rockwell*. Estabilizar el sistema o Warm – Up se refiere a identificar el tiempo requerido para que el nivel de contenedores en patio real se asemeje al del modelo de simulación o dicho de otra manera el modelo se mantenga estable, es decir, en la simulación las corridas del modelo inician en *cero contenedores almacenados* en el sistema real la terminal marítima nunca se encuentra con *cero contenedores* siempre existe un inventario de mercancías en sus patios, en la simulación se determinó que un Warm – Up de 13 días es suficiente. En las ecuaciones 5.1 y 5.2 se realiza un sencillo cálculo para determinar la estabilización del sistema y la longitud de la réplica (Run – Length). Por ultimo en la tabla 4.18 se mencionan las especificaciones en Arena para correr el modelo de simulación.

Tabla 4.11: Datos de simulación en descarga de contenedores tipo llenos.

DESCARGA LLENOS						
Orden	**Estación**	**Atributo**	**Variable**	**Expresión**	**Storage**	**Set storage name**
1	2A_llenos	a_bloque	vNoLlenos(1)	= vNoLlenos(1)	2A_llenos_descarga	Set_Llenos
2	3A_llenos	a_bloque	vNoLlenos(2)	+ vNoLlenos(2)	3A_llenos_descarga	Set_Llenos
3	1B_llenos	a_bloque	vNoLlenos(3)	+ vNoLlenos(3)	1B_llenos_descarga	Set_Llenos
4	2B_llenos	a_bloque	vNoLlenos(4)	+ vNoLlenos(4)	2B_llenos_descarga	Set_Llenos
5	3B1_llenos	a_bloque	vNoLlenos(5)	+ vNoLlenos(5)	3B1_llenos_descarga	Set_Llenos

Tabla 4.12. Datos de simulación en descarga de contenedores tipo transbordos.

DESCARGA TRANSBORDOS						
Orden	**Estación**	**Atributo**	**Variable**	**Expresión**	**Storage**	**Set storage name**
1	1A_transbordos	a_bloque	vNoTrasbordo(1)	= vNoTrasbordo(1)	1A_Transbordos_Descarg	Set_Transbordos

Tabla 4.13. Datos de simulación en descarga de contenedores tipo vacíos.

DESCARGA VACÍOS						
Orden	**Estación**	**Atributo**	**Variable**	**Expresión**	**Storage**	**Set storage name**
1	2C1_vacios	a_bloque	vNoVacios(1)	= vNoVacios(1)	2C1_vacios_descarga	Set_Llenos
2	2C2_vacios	a_bloque	vNoVacios(2)	+ vNoVacios(2)	2C2_vacios_descarga	Set_Llenos
3	3C_vacios	a_bloque	vNoVacios(3)	+ vNoVacios(3)	3C_vacios_descarga	Set_Llenos

Tabla 4.14. Datos de simulación en carga de contenedores tipo llenos.

CARGA LLENOS						
Orden	**Estación**	**Atributo**	**Variable**	**Expresión**	**Storage**	**Set storage name**
1	3B_expo_LL	a_bloque	vNoLlenosExpo(1)	= vNoLlenosExpo(1)	3B_expo_carga	SetExpoLlenos
2	4B_expo_LL	a_bloque	vNoLlenosExpo(2)	+ vNoLlenosExpo(2)	4B_expo_carga	SetExpoLlenos
3	4C_expo_LL	a_bloque	vNoLlenosExpo(3)	+ vNoLlenosExpo(3)	4C_expo_carga	SetExpoLlenos
4	4A_expo_LL	a_bloque	vNoLlenosExpo(4)	+ vNoLlenosExpo(4)	4A_expo_carga	SetExpoLlenos

Tabla 4.15. Datos de simulación en carga de contenedores tipo transbordos.

CARGA TRANSBORDOS						
Orden	**Estación**	**Atributo**	**Variable**	**Expresión**	**Storage**	**Set storage name**
1	1A_transbordos	a_bloque	vNoTrasbordo(1)	= vNoTrasbordo(1)		

Tabla 4.16. Datos de simulación en carga de contenedores tipo vacíos.

CARGA VACÍOS						
Orden	**Estación**	**Atributo**	**Variable**	**Expresión**	**Storage**	**Set storage name**
1	3C_expo_V	a_bloque	vNoVaciosExpo(1)	= vNoVaciosExpo(1)	3C_expo_carga	SetExpoVacios
2	1C1_expo_V	a_bloque	vNoVaciosExpo(2)	+ vNoVaciosExpo(2)	1C1_expo_carga	SetExpoVacios
3	1C2_expo_V	a_bloque	vNoVaciosExpo(3)	+ vNoVaciosExpo(3)	1C2_expo_carga	SetExpoVacios

Tabla 4.17. Datos de simulación, expresiones.

No	Expresión	Valor
1	eNoTransbordosTotal	vNoTrasbordo(1)
2	eNoVacioTotal	vNoVacios(1) + vNoVacios(2) + vNoVacios(3)
3	eNoLlenosTotal	vNoLlenos(1) + vNoLlenos(2) + vNoLlenos(3) + vNoLlenos(4) + vNoLlenos(5)
4	eNoLlenosExpoTotal	vNoLlenosExpo(1) + vNoLlenosExpo(2) + vNoLlenosExpo(3) + vNoLlenosExpo(4)
5	eNoVaciosExpoTotal	vNoVaciosExpo(1) + vNoVaciosExpo(2) + vNoVaciosExpo(3)
6	eNoContTotal	eNoTrasbordoTotal + eNoVaciosTotal + eNoLlenosTotal + eNoLlenosExpoTotal + eNoVaciosExpoTotal
7	eTBuqueU	TNOW - aHoraLlegBuque

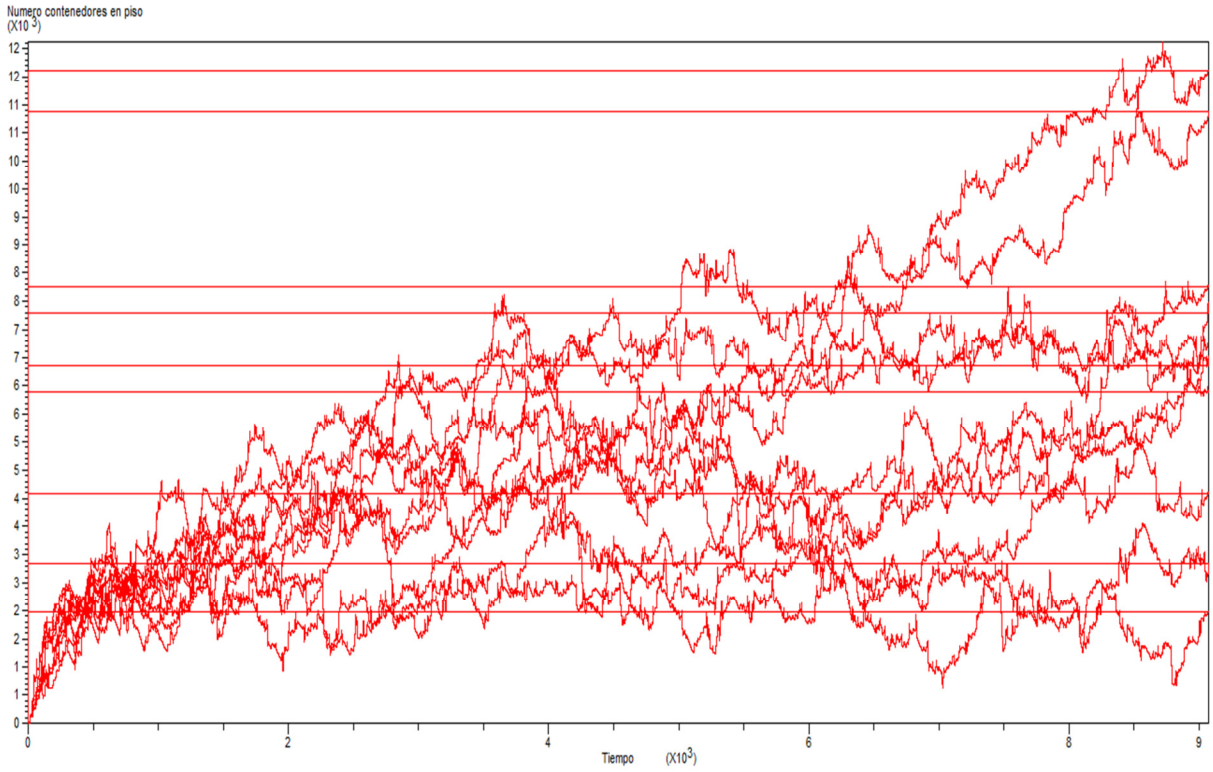


Figura 4.20: Determinación de Warm - Up con la herramienta Output Analyzer de Arena Rockwell

$$\textbf{Warm – Up =} \quad 0.3 * 10^3 \text{ Horas} = 300 \text{ Horas} = 12.5 \text{ Días} \approx 13 \text{ Días} \tag{5.1}$$

$$\textbf{Run – Length =} \quad (13 + 365) \text{ Días} = 378 \text{ Días} = 9072 \text{ Horas} \tag{5.2}$$

Tabla 4.18. Especificaciones del modelo de simulación.

ESPECIFICACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN	
Numero de replicas	51
Warm - Up	13 días
Longitud de replica	378 días
Tiempo por día	24 horas
Tiempo total	9072 horas

4.4. Validación del modelo de simulación

Se entiende que un modelo de simulación es una representación abstracta de un sistema real, específicamente para éste caso se refiere al sistema de una terminal marítima de contenedores. Durante el desarrollo del modelo conceptual (capitulo 3) se determinaron los objetivos del modelo y los resultados que se desean obtener, en su elaboración pueden omitirse detalles de la realidad que sean considerados como no relevantes, por lo tanto, en la construcción del modelo lógico no son incluidos. Los conceptos que se excluyen no deben afectar los resultados y conclusiones finales, de lo contrario el modelo deberá ser revisado y corregido.

En la sección de *Validación* se concluye en base a una comparación de los resultados obtenidos del modelo en contra de indicadores de procesos reales de la terminal marítima, si la simulación es aceptada o rechazada. Es decir, se realiza una sencilla comparación estadística entre parámetros y se determina si el modelo se comporta lo más parecido a la realidad.

Dichos resultados se presentan en las tablas 4.19 a la 4.26, en estas se comparan los resultados del modelo simulado en contra de indicadores reales, por último se determina un porcentaje de diferencia o error de hasta un 10%.

En la tabla 4.19 y 4.20 se validan los procesos en el subsistema de muelle, es decir, la carga y descarga de contenedores, son comparados ocho indicadores de suma importancia para la terminal marítima.

En las tablas 4.21, 4.22 y 4.23 se analizan los procesos de exportación, importación y almacenamiento para el subsistema de patio, evaluando ocho indicadores relevantes.

En la tabla 2.24 se analizan indicadores utilizados para medir el rendimiento de servicio brindado por la terminal marítima a los buques portacontenedores, son evaluados 6 métricos.

En la tabla 4.25 se compara el tiempo de servicios para las grúas de patio y muelle analizando cuatro métricos. Por último en la tabla 4.26 se analiza al subsistema de puertas de entrada y salida de mercancías evaluando el tiempo de servicio, son comparados dos métricos.

Tabla 4.19. Tabla de validación proceso de descarga de contenedores desde buque.

VALIDACIÓN DEL PROCESO DE DESCARGA						
No	**Indicadores**		**Modelo**	**Real**	**Diferencia**	**% Diferencia**
1	Total de contenedores descargados de buque	Ud.	45581.98	42681.00	2900.98	6.80
2	Contenedores llenos descargados de buque	Ud.	17792.18	16464.00	1328.18	8.07
3	Contenedores de transbordos descargados de buque	Ud.	3658.18	3518.00	140.18	3.98
4	Contenedores vacíos descargados de buque	Ud.	24132.86	22699.00	1433.86	6.32

Tabla 4.20. Tabla de validación proceso de carga de contenedores sobre buque.

VALIDACIÓN DEL PROCESO DE CARGA						
No	**Indicadores**		**Modelo**	**Real**	**Diferencia**	**% Diferencia**
5	Total de contenedores cargados a buque	Ud.	42897.18	40340.00	2557.18	6.34
6	Contenedores llenos cargados a buque	Ud.	33451.65	30655.00	3134.45	9.12
7	Contenedores de transbordos cargados a buque	Ud.	4006.63	3654.00	467.63	9.65
8	Contenedores vacíos cargados a buque	Ud.	6663.96	6146.00	517.96	8.43

Tabla 4.21. Tabla de validación para contenedores de exportación recibidos por tierra.

VALIDACIÓN DEL PROCESO DE EXPORTACIÓN						
No	**Indicadores**		**Modelo**	**Real**	**Diferencia**	**% Diferencia**
9	Total de contenedores de exportación	Ud.	42898.29	44933.00	2034.71	4.53
10	Contenedores llenos de exportación	Ud.	35756.57	34149.08	1607.49	4.71
11	Contenedores vacíos de exportación	Ud.	7141.73	6733.95	407.78	6.06

Tabla 4.22. Tabla de validación para contenedores de importación recibidos desde buque.

VALIDACIÓN DEL PROCESO DE IMPORTACIÓN						
No	**Indicadores**		**Modelo**	**Real**	**Diferencia**	**% Diferencia**
12	Total de contenedores de importación	Ud.	41809.02	39163.00	2646.02	6.76
13	Contenedores de importación llenos	Ud.	17747.98	16464.00	1283.98	7.80
14	Contenedores de importación vacíos	Ud.	24061.98	22699.00	1362.98	6.00

Tabla 4.23. Tabla de validación para indicadores de patio.

VALIDACIÓN DE INDICADORES DE PATIO						
No	**Indicadores**		**Modelo**	**Real**	**Diferencia**	**% Diferencia**
15	Contenedores promedio en patio	Ud.	3834.86	4167.00	332.14	7.97
16	Tiempo promedio de estancia de contenedores	Día	15.61	16.50	1.00	5.39

Tabla 4.24. Tabla de validación para indicadores de buque.

VALIDACIÓN DE INDICADORES DE BUQUE						
No	**Indicadores**		**Modelo**	**Real**	**Diferencia**	**% Diferencia**
17	Número de buques atendidos	Ud.	272.96	265.00	7.96	3.00
18	Tiempo de operación de buques	Hr.	9.54	9.69	0.02	1.55
19	Tiempo espera buques para ser atendidos	Hr.	1.37	1.45	0.08	1.00
20	Tiempo de atraque de buque	Min.	35.00	35.00	0.00	0.00
21	Tiempo de autorización de operaciones	Min.	24.97	25.00	0.03	0.12
22	Tiempo de desatraque de buque	Min.	14.94	16.00	1.06	6.62

Tabla 4.25. Tabla de validación para indicadores de grúas.

VALIDACIÓN DE INDICADORES TIEMPO DE GRÚAS						
No	**Indicadores**		**Modelo**	**Real**	**Diferencia**	**% Diferencia**
23	Tiempo carga contenedor sobre camión en patio	Min.	1.41	1.52	0.11	0.07
24	Tiempo descarga contenedor sobre camión en	Min.	1.2	1.19	0.01	0.84
25	patio	Min.	0.62	0.62	0.00	0.00
26	Tiempo revisión de contenedores	Min.	2.02	2.02	0.00	0.00
	Tiempo cargar contenedores a buque					

Tabla 4.26. Tabla de validación para indicadores de puerta de acceso.

VALIDACIÓN INDICADORES DE PUERTA						
No	**Indicadores**		**Modelo**	**Real**	**Diferencia**	**% Diferencia**
27	Tiempo de acceso a contenedores en puerta	Min.	0.95	0.94	0.01	1.06
28	Tiempo de salida a contenedores en puerta	Min.	0.60	0.61	0.01	1.64

En las tablas 4.19 a la 4.26 se comparan dos grandes parámetros: los resultados obtenidos entre indicadores reales en contra de los resultados obtenidos del modelo de simulación de la terminal marítima, los primeros corresponden a registros históricos de los procesos correspondientes al periodo enero – diciembre del año 2011, los cuales fueron facilitados por la empresa exclusivamente para el desarrollo del estudio. Para proteger la confidencialidad de la información algunos datos han sido alterados a petición de las autoridades portuarias. Además de los datos proporcionados, se realizó una investigación de campo para recolectar información que no fue previamente identificada en registros históricos, la cual inicio en septiembre de 2011 y finalizó en marzo de 2013.

El modelo de simulación original fue *construido*, *verificado* y *validado* con la finalidad de obtener un modelo por computadora que represente el comportamiento operativo de la terminal marítima de contenedores, en la comparación realizada en las tablas 4.19 a la 4.26 se obtuvieron resultados válidos, por lo tanto es posible continuar con la etapa de ***análisis***, la cual consiste en ***experimentar*** con el modelo original, teniendo como objetivo efectuar inferencias que permitan tomar decisiones con mayor seguridad.

La etapa de experimentación consiste en la evaluación de un nuevo escenario de simulación llamado *aumento de capacidad operativa*, con la ampliación del muelle de atraque para incrementar sus operaciones, logrando pasar de una a dos embarcaciones atendidas simultáneamente, dicha etapa se analiza en el capítulo cinco.

A partir de la figura 4.21 a la 4.27 se presentan una serie de gráficas de barra para visualizar el comportamiento entre los indicadores reales de la terminal marítima en contra de los resultados obtenidos en el modelo de simulación por computadora. Se comprueba que tanto para los datos reales (color amarillo) y resultados del modelo (color azul) demuestran un comportamiento entre tendencias equivalente, por lo tanto los resultados son aceptados.

La gráfica de barras de la figura 4.21 corresponde a la validación del proceso de descarga de contenedores desde de buque, esta se relaciona con la tabla 4.19, se corrobora que la desigualdad entre ambas tendencias es mínima. Con la gráfica en la figura 4.22 se valida el

proceso de carga de contenedores sobre buque se relaciona con la tabla 4.20, la diferencia entre ambas tendencias es mínima. La figura 4.23 se relaciona con la tabla 4.21, en esta se demuestra un comportamiento similar entre los datos reales y simulados, con esto se valida el proceso de exportación. La figura 4.24 corresponde a la tabla 4.22, el comportamiento de los indicadores para el proceso de importación es muy parecido. La figura 4.25 corresponde a la tabla 4.24 se validan los indicadores de buque al demostrar un comportamiento muy parecido. La tabla 4.25 se relaciona con la figura 4.26 en esta se validad los indicadores de las grúas operativas al observación un comportamiento equivalente. La tabla 4.26 se relaciona con la figura 2.27 en ella se validan los indicadores del subsistema de puertas de acceso terrestres, se visualiza un comportamiento entre datos reales y modelados equivalente.

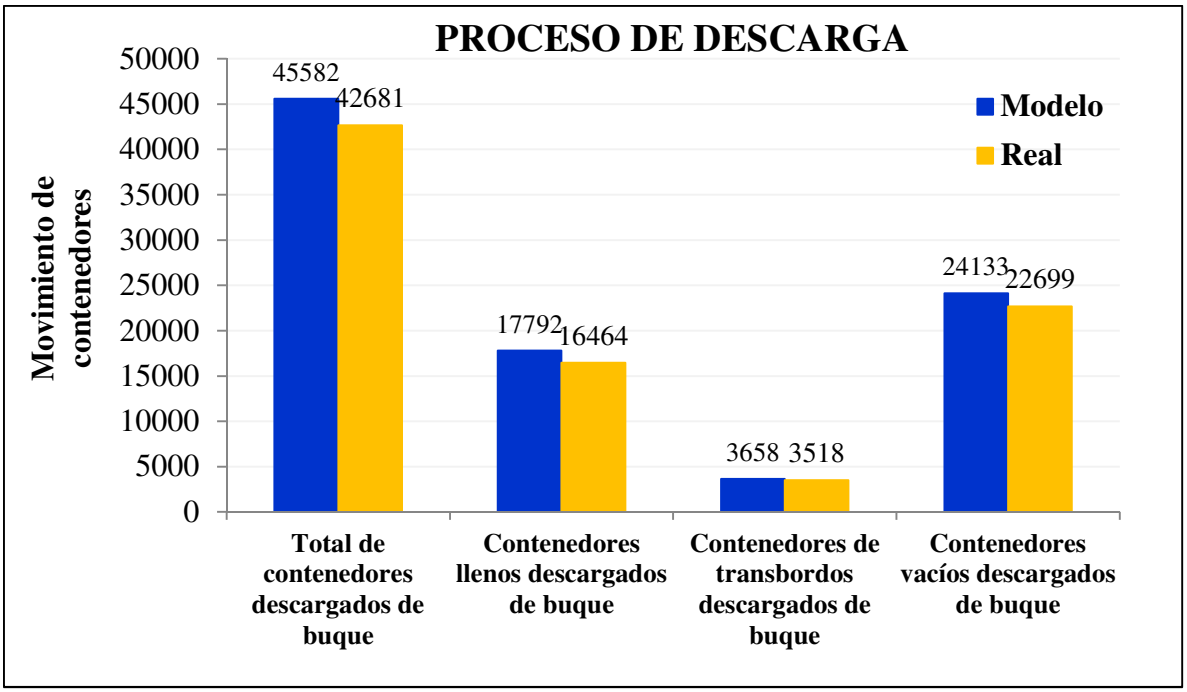


Figura 4.21. Validación proceso de descarga, comportamiento entre datos reales y modelados.

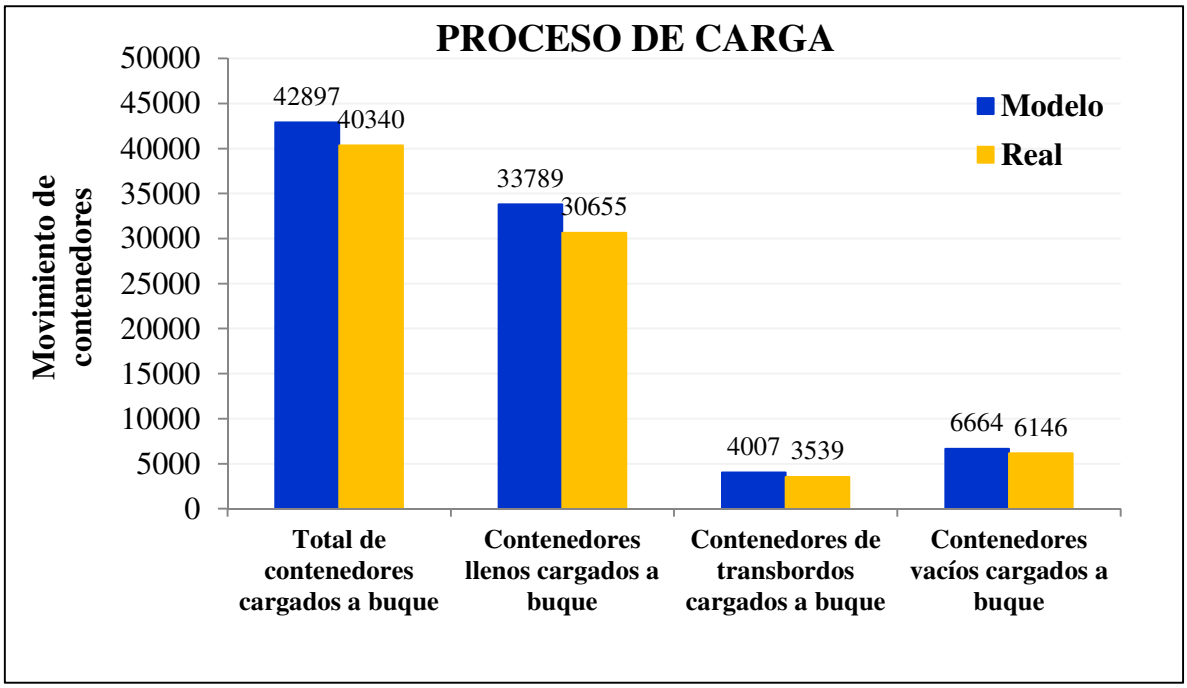


Figura 4.22. Validación proceso de carga, comportamiento entre datos reales y modelados

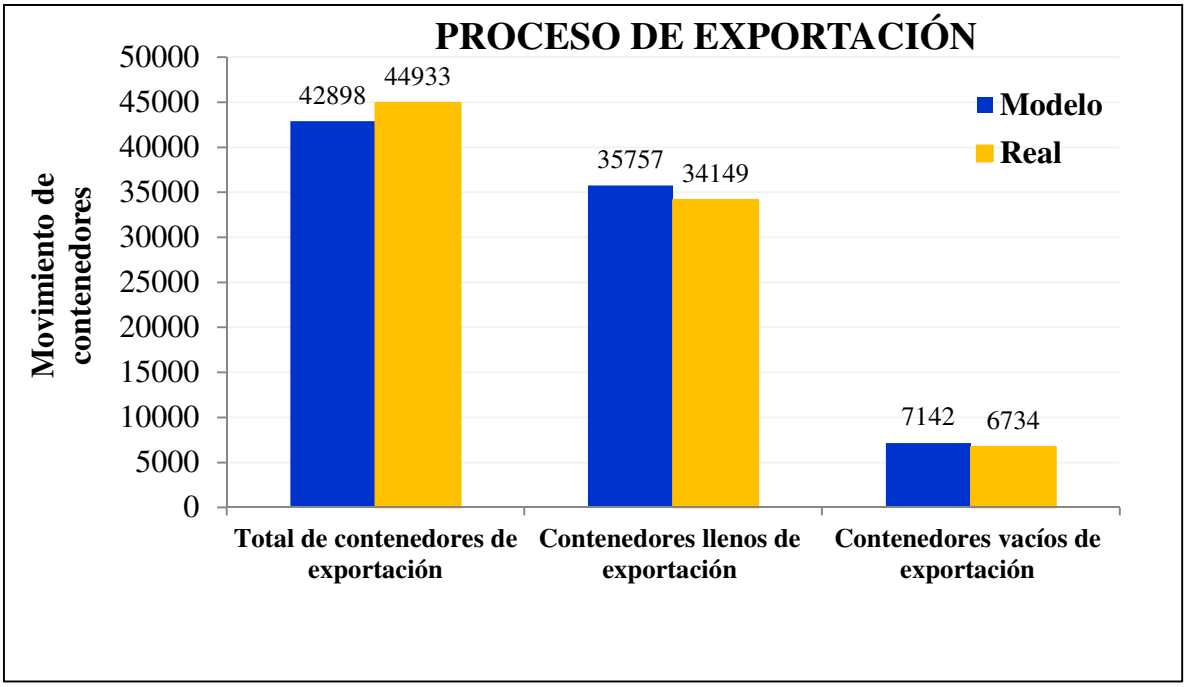


Figura 4.23. Validación proceso de exportación, comportamiento entre datos reales y modelados

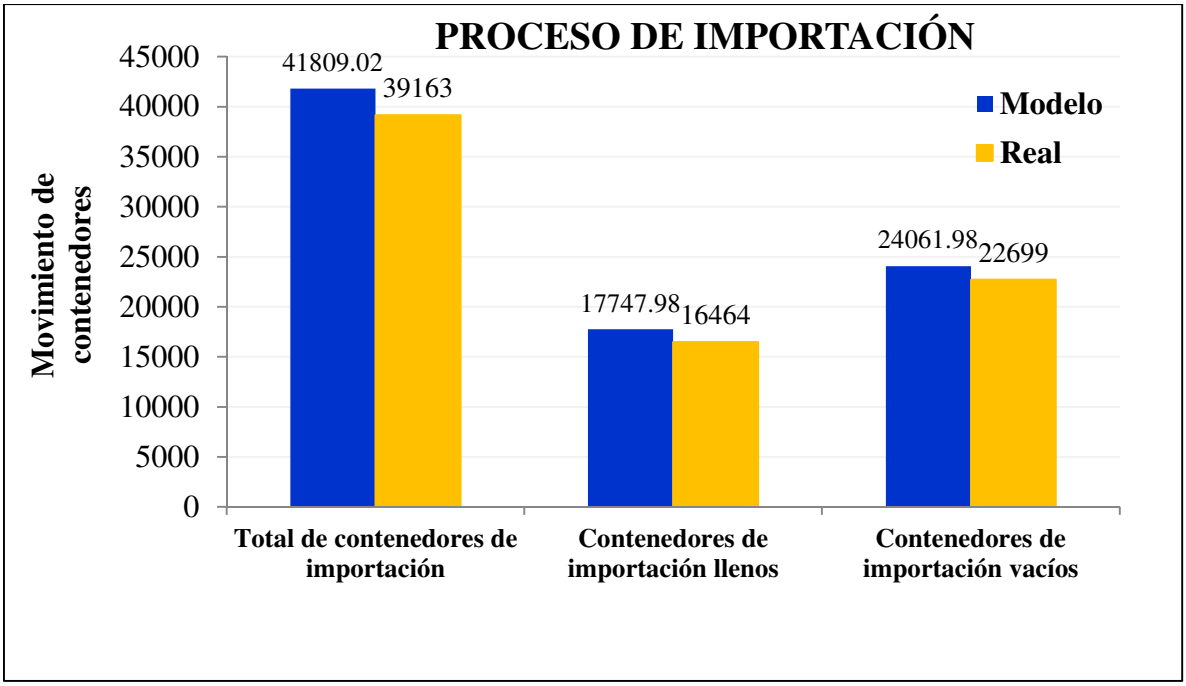


Figura 4.24. Validación proceso de importación, comportamiento entre datos reales y modelados

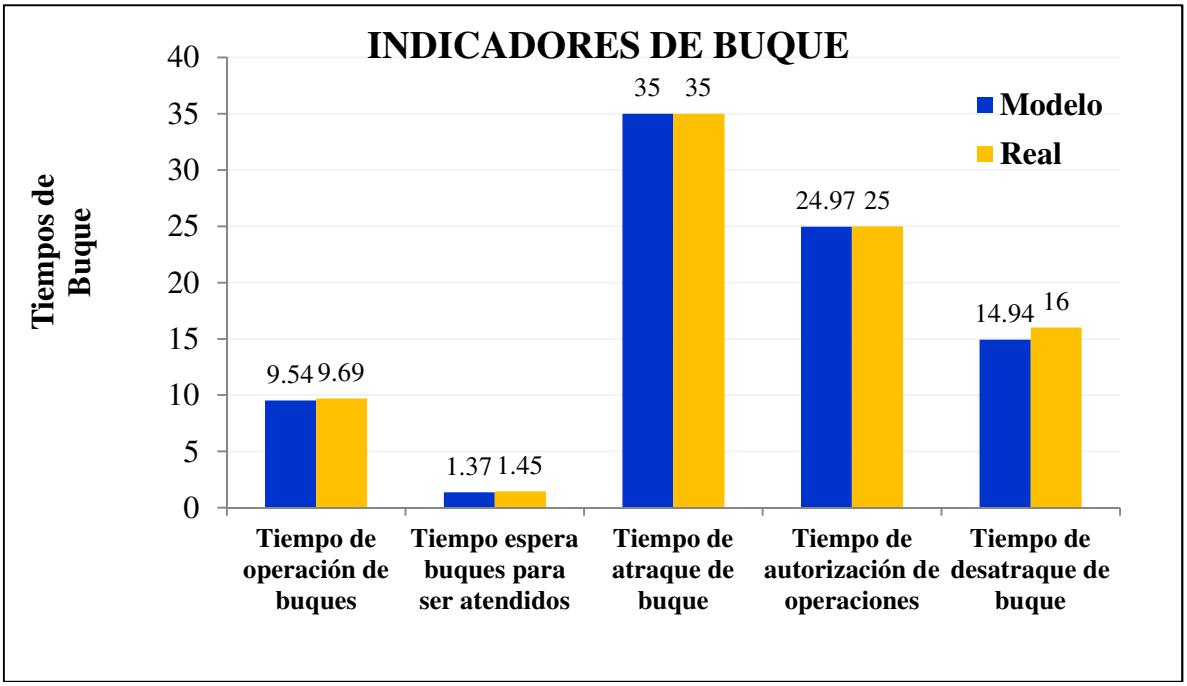


Figura 4.25. Validación indicadores de buque, comportamiento entre datos reales y modelados.

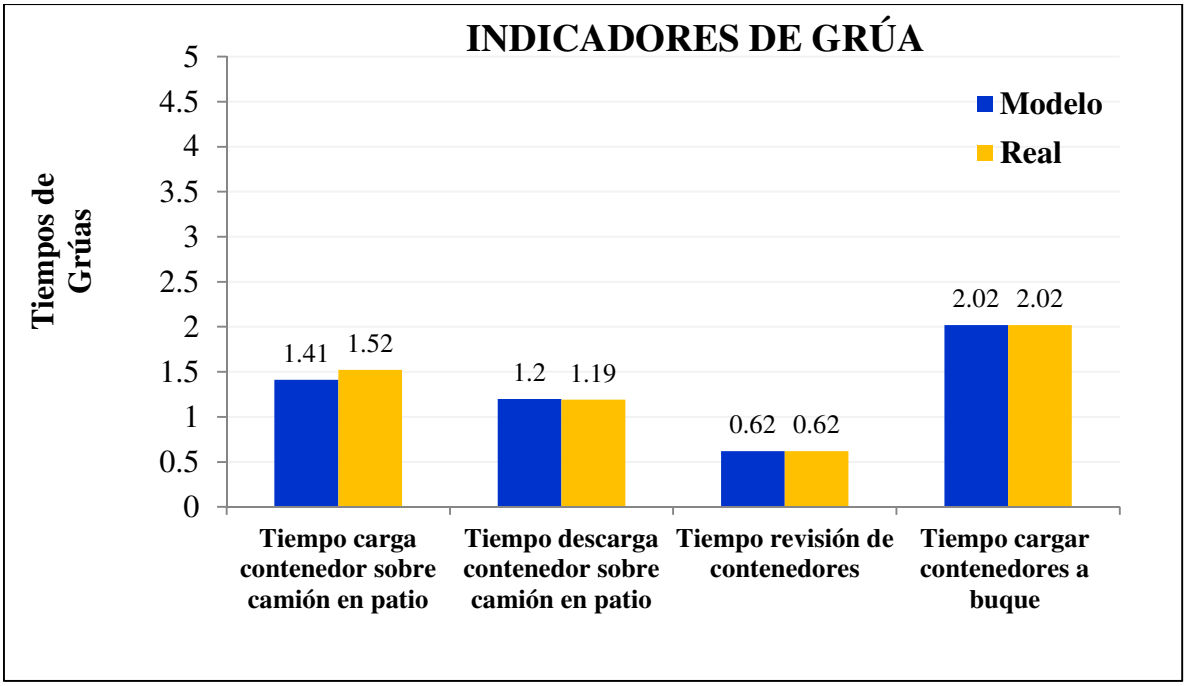


Figura 4.26. Validación indicadores de grúa, comportamiento entre datos reales y modelados.

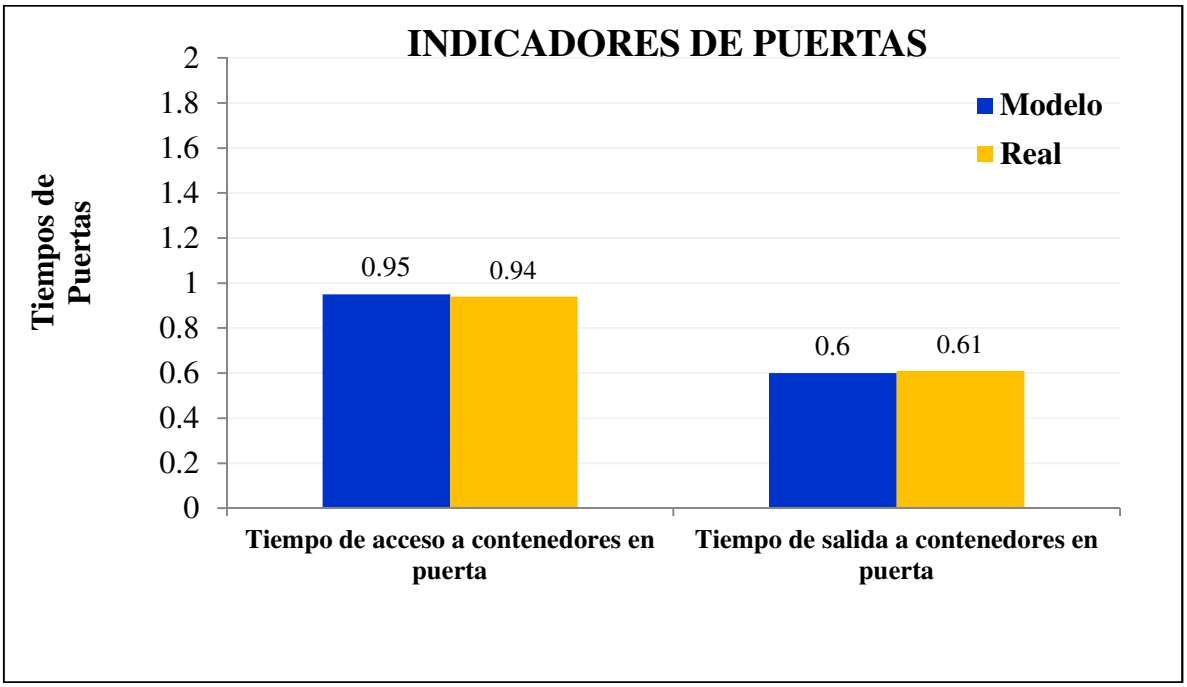


Figura 4.27. Validación indicadores de puertas de acceso terrestre, comportamiento entre datos reales y modelados.

4.5. Animación del modelo de simulación original

La animación en simulación tiene por objetivo proporcionar una visión gráfica del modelo desarrollado bajo condiciones dinámicas, dicho de otra manera, es una representación visual del sistema dentro del software de simulación, tiene por finalidad analizar el comportamiento lógico del modelo desde el punto de vista de la animación, son a menudo útiles para realizar las etapas de verificación y validación. Es muy utilizada en la construcción de muchos proyectos ya que proporciona a través de indicadores en pantalla la ejecución de procesos y operaciones. Para desarrollar la animación del primer modelo de la terminal marítima, la empresa proporcionó al investigador un plano de sus instalaciones en software AutoCad, siendo modificado en su diseño para observar solo las áreas necesarias para la animación. Mediante la opción *Insert New Objec*t de Arena el plano fue importado desde AutoCad, cabe mencionar que en su totalidad la animación se realiza en el software de simulación en un estilo 2D. En la figura 4.28 se muestra el plano real del puerto.

Esta etapa inicio con la creación en Arena Rockwell del ambiente portuario que asemeja la realidad de la terminal marítima, se utilizaron herramientas del software para recrear los grandes buques y a los propios contenedores. Por medio de rutas, distancias y estaciones fueron generadas los movimientos del transporte. Se asignaron almacenes para resguardar las mercancías de exportación e importación. Se animaron maquinarias y personal encargado de ejecutar las operaciones portuarias, además se utilizaron indicadores en pantalla para observar el transcurso de la simulación, entre otros.

La animación podría ser también llamada como la etapa que concluye a la investigación de campo o para el caso del estudio *recolección de datos de entrada*. Si bien, los datos de entrada son utilizados para programar el modelo lógico de simulación, siendo además útiles para la construcción de la animación ya que buena parte de esos datos son requeridos. Desde un punto de vista, la animación que se plasma en un proyecto puede entenderse como el grado de conocimiento que posee el modelador sobre el sistema analizado. En la figura 4.29 se presenta una vista de la animación desarrollada mediante el software Arena del primer escenario de simulación. En la tabla 4.27 se enlistan los elementos del modelo original que fueron utilizados para desarrollar la animación.

Tabla 4.27. Elementos utilizados para desarrollar la animación del modelo original de simulación.

No	Tipo	Cant.	Elemento	Características
1	Entidad	1	Buque	Embarcación utilizada para el transporte de contenedores vía marítima.
2	Entidad	∞	Contenedor	Miles de contenedores del tipo llenos, transbordos y vacíos movidos por año.
3	Entidad	1	DummyCamion	Utilizado en la sección de descarga y almacenamiento de contenedores, genera una señal para indicar el regreso de entidades a muelle.
4	Entidad	1	entCamion_Expo	Siendo una entidad se utiliza en la llegada de exportación para representar un transporte.
5	Entidad	1	ContenedorExpo	La entidad *entCamion_Expo* se separa en original y en un duplicado *Contenedor_Expo* (siendo ambas entidades) la primera regresa a puerta de salida, la segunda es almacenada como un contenedor.
6	Entidad	1	Camion_import	Siendo una entidad se utiliza para representar a un transporte, se crea para solicitar el retiro de contenedores de importación vía terrestre, los cuales anteriormente fueron descargados desde buque y almacenados en patios.
7	Recurso	5	Grúa patio	Equipo utilizado para las operaciones de almacenamiento y remoción de contenedores en patio.
8	Recurso	1	Muelle	Lugar de atraque de buques portacontenedores.
9	Recurso	2	Verificador muelle	Personal destinado a la revisión de contenedores.
10	Recurso	5	Verificador puerta	Personal destinado a la revisión de contenedores.
11	Transporte	8	Camion interno	Equipo utilizado para el transporte de mercancías desde muelle hacia patio y viceversa.
12	Transporte	50	Camion importación	Equipo utilizado para el transporte terrestre de mercancías de importación, de puerta a patio y viceversa.
13	Transporte	50	Camion exportación	Equipo utilizado para el transporte vía terrestre de mercancías de exportación, desde puerta a patio y viceversa.
14	Distancia	42	Carga/descarga (buque)	Medida de longitud para los recorridos del camión interno desde muelle a patio y viceversa.
15	Distancia	14	Puerta - patio (exportación)	Medida de longitud para los recorridos del transporte de exportación desde puerta a patio y viceversa.
16	Distancia	17	Puerta - patio (importación)	Medida de longitud para los recorridos del transporte de importación desde puerta a patio y viceversa.
17	Route	2	Rutas	En la simulación se utilizaron dos rutas, la primera para dirigir a la entidad buque desde la estación *Fondeo* (ubicada en mar) hacia su atraque en la estación *Muelle2*, esto para iniciar las operaciones. La segunda ruta se utiliza una vez que las operaciones de carga/descarga de la entidad buque concluyeron, se utiliza para dirigir a buque desde la estación *Muelle2* hacia las afueras de la terminal (mar).
18	Storage	9	Almacén importación	Almacenes de contenedores en patio, 5 almacenes para los de tipo llenos, 1 para los transbordos y 3 para

				vacíos.
19	Storage	7	Almacén exportación	Almacenes de contenedores en patio, 4 para los de tipo llenos y 3 para vacíos.
20	Station	9	Estación importación	Sitio de recepción para contenedores de importación antes de su almacenamiento.
21	Station	7	Estación exportación	Sitio de recepción para contenedores de exportación antes de su almacenamiento.
22	Station	4	Estación buque	Una estación de llegada para buques en mar, dos estaciones operativas y una para su partida.
23	Station	4	Estación transporte	Dos estaciones de llegada para transporte de importación y dos para exportación.
24	Expresión	1	Contenedores de descarga	Fórmula utilizada para la suma de valores de contenedores de descarga.
25	Expresión	1	Llenos descargados	Fórmula utilizada para la suma de valores de contenedores del tipo llenos que fueron descargados.
26	Expresión	1	Transbordos descargados	Fórmula utilizada para la suma de valores de contenedores del tipo transbordos que fueron descargados.
27	Expresión	1	Vacíos descargados	Fórmula utilizada para la suma de valores de contenedores del tipo vacíos que fueron descargados.
28	Variable	1	Contenedores descargados	Valor utilizado para contabilizar el total de contenedores que fueron descargados.
29	Variable	1	Contenedores de carga	Valor utilizado para contabilizar el número de contenedores que se cargarán.
30	Variable	1	Llenos cargados	Valor utilizado para contabilizar el número de contenedores del tipo llenos que se cargarán.
31	Variable	1	Transbordos cargados	Valor utilizado para contabilizar el número de contenedores del tipo transbordos que se cargarán.
32	Variable	1	Vacíos cargados	Valor utilizado para contabilizar el número de contenedores del tipo vacíos que se cargarán.
33	Variable	1	Contenedores cargados	Valor utilizado para contabilizar el total de contenedores que fueron cargados.
34	Variable	1	Buques en espera	Valor utilizado para contabilizar los buques que esperan ser atendidos.

Los elementos mencionados en la tabla 4.27 son representados en la animación, se consideran como los más importantes, existen además otros elementos que no han sido representados, como los recursos utilizados en los procesos de autorización de operaciones de buque, el realizado por personal muelle para el atraque y desatraque de la embarcación, verificadores de patio, variables, expresiones, entre otros. La intención al no utilizarlos es no saturar la pantalla de la animación para obtener una mejor apreciación.

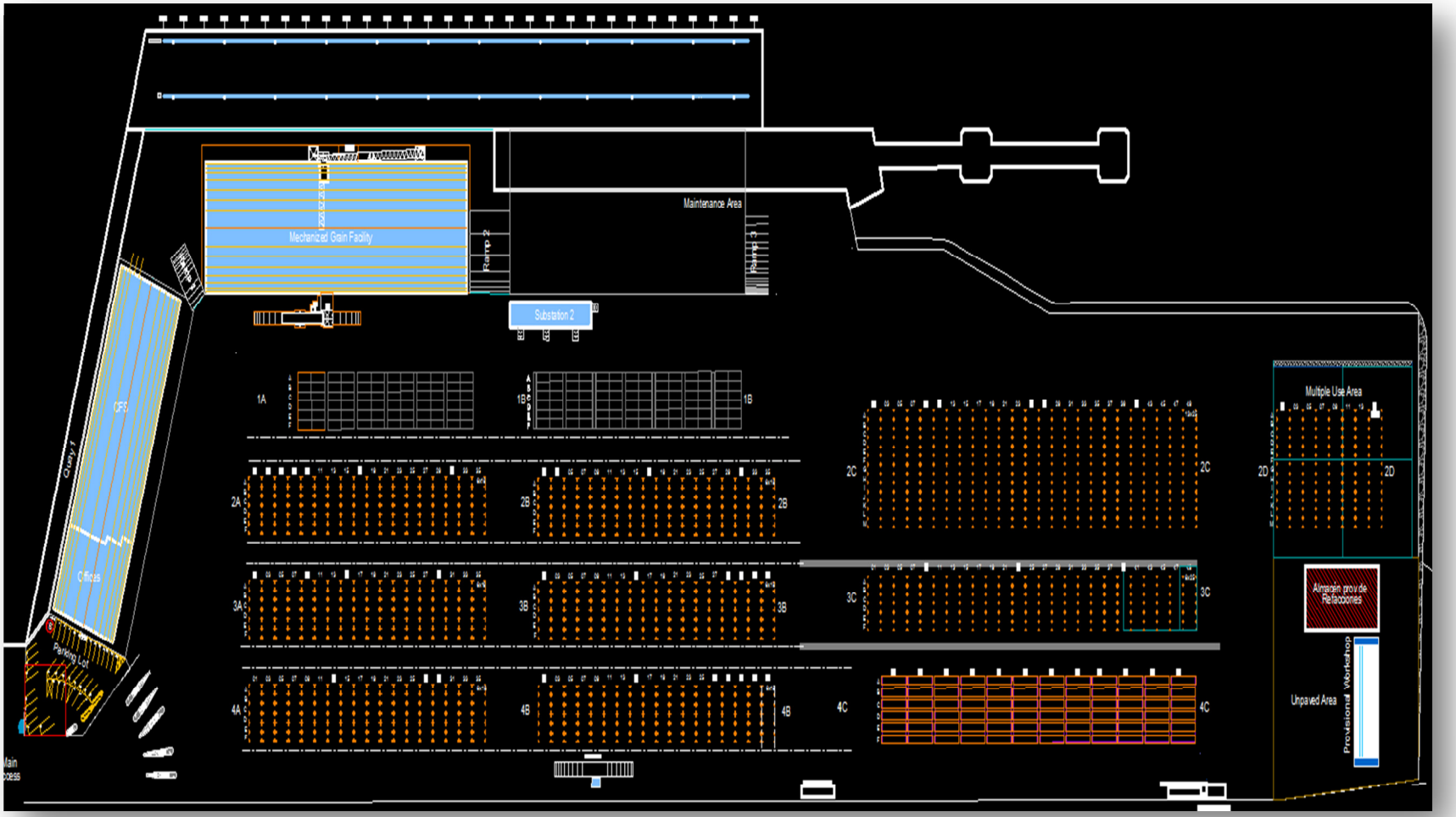


Figura 4.28. Plano operativo de la terminal marítima de contenedores.

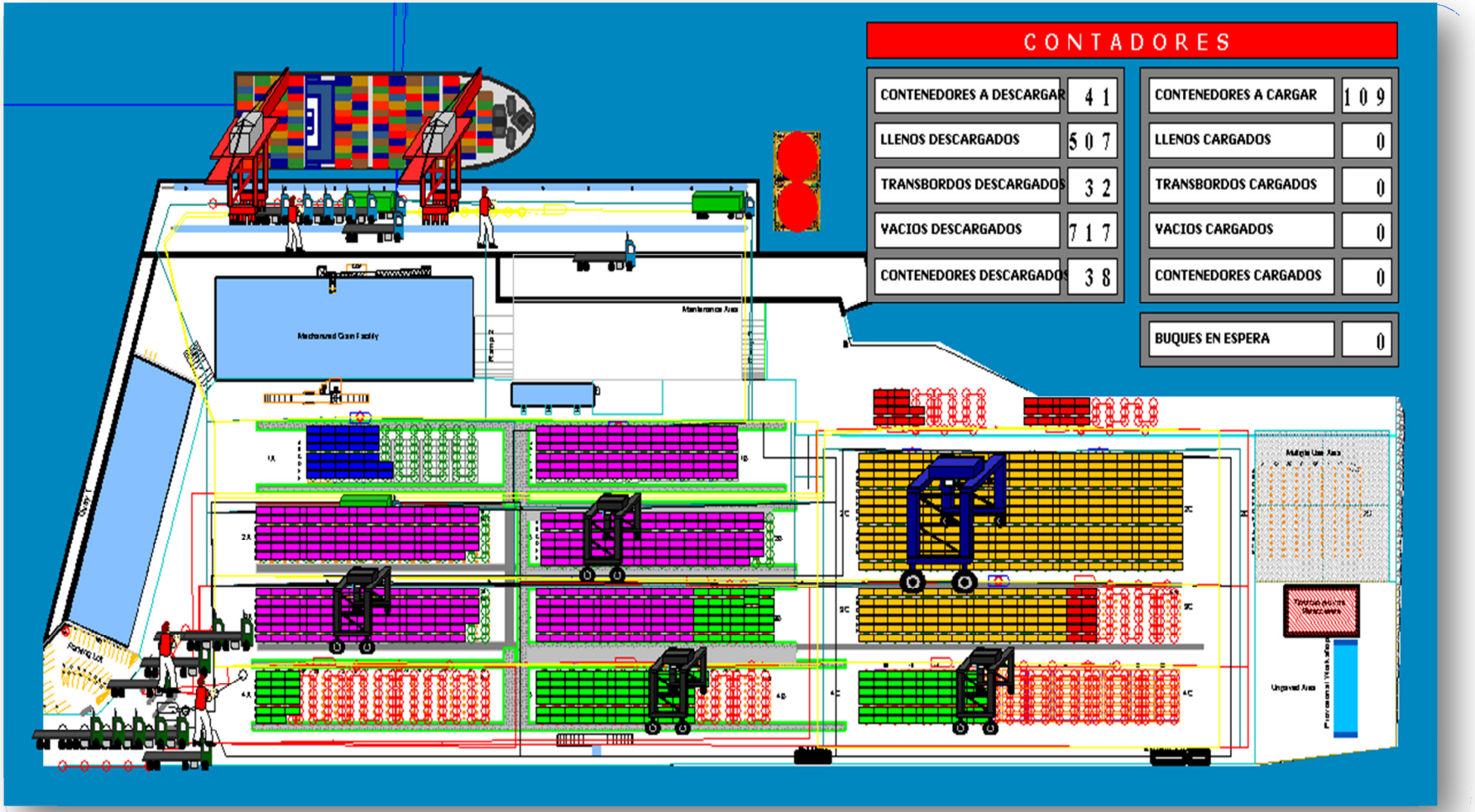


Figura 4.29. Vista de la animación del escenario actual u original de simulación en la terminal marítima.

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN EXPERIMENTAL, AUMENTO DE LA CAPACIDAD OPERATIVA

En este capítulo cinco o también llamado etapa de experimentación se presentan los resultados, análisis y conclusiones obtenidos al desarrollar el escenario para evaluar la ampliación del muelle denominado ***aumento de la capacidad operativa en una terminal marítima de contenedores***. Como primera parte se menciona la importancia que representa su obtención para un futuro progreso del puerto. En la segunda etapa se realiza la descripción del modelo sobre la construcción del nuevo escenario y se mencionan las principales diferencias respecto al escenario original. Como tercera etapa se presenta la animación del escenario experimental. En la cuarta sección se realiza la verificación del modelo, etapa donde se comprueba su correcto funcionamiento. En la última sección son analizados los resultados obtenidos con el segundo escenario de simulación y se concluye que el modelo es una correcta propuesta para la terminal bajo estudio.

El segundo escenario o etapa de experimentación en el que se propone el desarrollo del puerto incrementando la longitud del muelle de atraque y proyectando una mayor extensión de sus patios de almacenamiento. Dicho escenario tiene por objetivos aumentar el volumen de los contenedores operados por año, además de aumentar al doble la capacidad operativa de la terminal marítima, consiguiendo atender dos buques portacontenedores simultáneamente. Para el modelo experimental no se desarrolla la validación, ya que siendo una nueva propuesta no es posible realizar comparaciones en contra de un sistema inexistente.

5.1. Desarrollo del segundo escenario de simulación

Se mencionó que las técnicas de simulación y modelado son una alternativa eficiente para desarrollar, evaluar y medir el impacto de nuevos proyectos de mejora o para optimizar los ya existentes. Una de las principales fortalezas de la simulación es la posibilidad de experimentar con distintas configuraciones en diversidad de procesos industriales, hasta el punto de obtener

los resultados que satisfacen o mejor se adapten a nuestras necesidades, en la actualidad la simulación se ha convertido en una importante herramienta, ya que es utilizada antes que el desarrollo de un proyecto se lleve a cabo, además de no generar ningún costo. Se ha identificado que la aplicación de las técnicas de simulación y modelado es extensa, se encuentran trabajos que arrojan resultados exitosos en distintos campos laborales como producción, manufactura, transito, filas de espera, hospitales, hasta aeropuertos y por supuesto puertos marítimos, básicamente en cualquier centro de trabajo donde se produce un bien o se realiza un servicio la simulación de procesos tendrá aplicaciones.

La terminal marítima de contenedores del puerto de Ensenada es una empresa que se dedica a la prestación de distintos servicios operativos, entre ellos destacan el almacenaje y exportación de trigo cristalino, exportación de minerales y chatarra, siendo su principal actividad el manejo de carga contenerizada. A nivel nacional se ubica en el quinto puesto en el movimiento de contenedores, sus principales clientes se localizan en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, el sur de California, Arizona, Asia y Europa. La terminal de Ensenada tiene capacidad en servicio e instalaciones para atender solo una embarcación, esta limitante puede llegar a provocar retrasos en la cadena de transporte internacional, eleva los costos operativos, impide su crecimiento y la hace menos atractiva ante las grandes líneas navieras. Ensenada posee el espacio terrestre necesario para aumentar sus instalaciones de carga/descarga y almacenaje, estas mejoras requieren de una fuerte inversión económica para lograr ser desarrolladas, pero es importante recalcar que dicho proyecto es de consideración para el gobierno, ya que fue incluido en el Plan Nacional de Infraestructura y Desarrollo 2007 – 2012, en el Programa Maestro de Desarrollo Portuario de la Administración Portuaria Integral (API) 2006 – 2011, 2012 – 2017 y en los planes de la propia terminal de contenedores, demostrando que de llevarse a cabo traerá importantes beneficios para la región.

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

A continuación se menciona a manera de antecedente los objetivos del Programa Maestro de Desarrollo Portuario 2006 - 2011 (PMDP), en esté se consideró la ampliación de la terminal de usos múltiples (TUM), en dicho programa se plasmó como segunda fase de desarrollo el crecimiento del puerto, el que inició en el primer semestre del año 2005, al dragar su muelle a 15 metros de profundidad y adquirir equipo de mayor alcance compuesto por dos grúas de pórtico post-panamax y tres grúas de patio (RTG), existieron actividades inconclusas a falta de recursos. Sin embargo, se considera que la infraestructura y equipo con lo que actualmente cuenta la TUM puede llegar a ser insuficiente para atender la demanda de carga contenerizada que se atraería, solo si, la ampliación de sus instalaciones es llevada a cabo. Por lo que, se indicó en el PMDP que la terminal de contenedores debe continuar con la expansión de su segundo muelle.

En el PMDP también se menciona que tales obras consisten en la ampliación de la zona de patios de almacenamiento en un área total de 70,000 mt², la construcción de un muelle lineal y adyacente al existente de 300 metros, lo que da un total de 600 mt, en los se podrán operar simultáneamente dos buques con capacidad de 5,500 TEUs. Paralelamente a estas obras de infraestructura se estarán instalando dos grúas más de pórtico, además de entre 3 y 5 grúas de patios, con estas acciones la terminal de usos múltiples tendrá una capacidad operativa de 400,000 y 7,500 TEU's de almacenaje de forma anual. Cabe recalcar que dichos objetivos no se han llevado a cabo, las circunstancias o razones que impidieron tal desarrollo son ajenas y desconocidas para este estudio. Como se mencionó en un principio la mención del PMDP 06 - 11 es un antecedente de los planes de desarrollo previstos para el puerto de Ensenada, en los programas vigentes de desarrollo portuario dichos objetivos son incluidos, los cuales se describen a continuación [56].

Enseguida se hace referencia de algunos trabajos destacados en los cuales se menciona la relevancia que tienen los puertos marítimos para el comercio nacional, así como la importancia de su desarrollo con mayor infraestructura.

En el Programa Maestro de Desarrollo Portuario 2012 - 2017 (PMDP) de la Administración Portuaria Integral S.A. de C.V. (API) de Ensenada, se menciona que una de las debilidades del

puerto es, la falta de un muelle de mayor longitud para las operaciones en la TUM, dicha situación ha generado sobrecostos en la atención de embarcaciones, dado que el muelle donde se operan tiene como prioridad la atención de portacontenedores lo que ha generado incluso el fondeo de buques con distintas operativas que son atendidas en la TUM.

Uno de los objetivos dentro del PMDP 2012 – 2017 de API es llevar a cabo las inversiones públicas para lograr la mejora en productividad y capacidad el manejo de contenedores, en términos de dragado, obras de relleno, ampliación de muelles, accesos al puerto, vialidades internas y obras complementarias [57].

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012 se mencionan que los principales retos en materia portuaria fueron la construcción de nuevos puertos, la modernización y ampliación de los existentes, además de llevar a cabo el reordenamiento costero y la regulación de las actividades económicas que se realizan en los litorales nacionales, aprovechando mejor las ventajas ofrecidas por el transporte marítimo [58].

Martner (2002) en su investigación denominada Puertos Pivotes en México: límites y posibilidades, menciona que dentro de los puertos pequeños que se encuentran en fase de expansión y han ido incorporando nuevos servicios con rutas de mayor importancia destaca Ensenada en el pacífico. Este puerto tiene una clara perspectiva de consolidar su posición, debido a que está encontrando sus nichos de mercado y operadores eficaces para estructurar las redes intermodales requeridas [59].

Guerrero A. *et al*. (2009) consideran a Ensenada, Tampico, Coatzacoalcos y Progreso como puertos secundarios, debido a que no son los principales en el movimiento de mercancía contenerizada en el país, pero tienen una participación considerable y además poseen terminales para manejar casi todo tipo de carga, con una presencia constante y creciente en el movimiento de contenedores. Se identifica al puerto de Ensenada con la mayor tasa de crecimiento de tráfico, pasando de mover 26.822 teus en el año 2000 a 120.324 en 2007, presentando el mayor cambio en su productividad total a nivel nacional, compitiendo ventajosamente con los grandes puertos concentradores [60].

México es un amplio territorio, por su posicionamiento geográfico se considera como una de las zonas comerciales más dinámicas en el mundo, posee un carácter bioceánico, lo que le infiere un papel geoestratégico, sus puertos representan un papel crucial en el desarrollo del país.

No obstante además de las dificultades que se enfrentan hoy en día, México cuenta con puertos que compiten por su eficiencia en operación de contenedores con puertos líderes en el mundo y muestran avances importantes en la operación de diversos tipos de carga. Pero, si, se quiere tener mayores niveles de rentabilidad deberá explotarse todo su potencial, para lograrlo será necesario invertir en infraestructura. En la figura 5.1 muestra la posición geoestratégica de México al contar con rutas intercontinentales en océano atlántico y pacifico [61].

Figura 5.1. México, ubicación geoestratégica en rutas comerciales marítimas internacionales.

Por lo anterior, en México las terminales marítimas de contenedores son puntos estratégicos para el transporte de mercancías hacia destinos nacionales e internacionales, son fundamentales para la atención a buques portacontenedores; navíos que son el medio de transporte con el mayor volumen de mercancía movilizada en el mundo de una forma económica, rápida y segura. En México más del 70% de las mercancías se transporta a través de buques y son atendidos por la red de terminales marítimas nacionales.

El gobierno Mexicano considera a los puertos como pilares del desarrollo comercial del país por su amplia conexión con los mayores centros de consumo en América y resto del mundo. México posee una ubicación geográfica estratégica y privilegiada, al ser vecino de Estados

Unidos y ubicarse dentro de las rutas comerciales marítimas más importantes con destino a Europa, Asia y América.

Se considera que es importante aplicar las técnicas de simulación y modelado en la terminal marítima de contenedores bajo estudio para visualizar las posibilidades de desarrollo del puerto hacia los próximos años. Se menciona además que en México no se ha encontrado evidencia bibliográfica de estudios de simulación implementados en este campo, solo se han identificado trabajos exitosos en el extranjero demostrando que su aplicación aporta grandes beneficios en el desarrollo de los puertos.

5.2. Construcción y verificación del segundo escenario de simulación

Para desarrollar el segundo escenario de simulación denominado ***ampliación de la capacidad operativa en una terminal marítima de contenedores***, se toma como base el modelo original previamente construido, descrito en el capítulo cuatro. En el desarrollo de esta segunda etapa o fase de experimentación fueron consultadas las autoridades portuarias para facilitar la construcción del modelo y mejorar el entendimiento sobre sistemas portuarios, todas las opiniones y recomendaciones fueron consideradas, de esta manera la simulación se desarrolla en base a las necesidades futuras de la empresa.

Se pidió la opinión de las autoridades portuarias para conocer las condiciones específicas con las que ellos prefieren se construya el nuevo escenario, es decir, se identificaron los parámetros que serán manipulados para obtener un óptimo rendimiento portuario con las nuevas condiciones operativas. Las primeras interrogantes en surgir, antes de iniciar la construcción son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las medidas de longitud exactas para la expansión del muelle de carga/descarga?
2. ¿Con cuántos accesos para transporte contará la expansión de muelle?
3. ¿Cuántas nuevas áreas de almacenamiento se deben añadir al patio de contenedores?
4. ¿Cuáles son las condiciones de las nuevas áreas de almacenamiento en los patios de contenedores?

5. ¿Cuál será la nueva distribución de los almacenes en el patio para contenedores del tipo llenos, transbordos y vacíos?
6. ¿Cuál es la cantidad de nuevos accesos terrestres que tendrá la terminal para la entrada y salida de mercancía contenerizada?
7. ¿Cuál será la nueva logística del transporte para las rutas marítimas y terrestres del puerto?
8. ¿Cantidad de maquinaria que se debe adquirir en el puerto para satisfacer la nueva demanda de servicio operativo de buques, muelle y patio?

Todos los cuestionamientos que surgieron antes de iniciar la etapa de construcción del segundo modelo de simulación fueron respondidos por el personal de la terminal. A petición de las autoridades portuarias y por seguridad de la información no se publicarán las respuestas a los anteriores interrogantes en este documento, solo los resultados de la simulación serán expuestos.

Es relevante mencionar que ambos escenarios de simulación son distintos, además cuentan con marcadas diferencias respecto uno del otro. La finalidad del escenario original es reproducir el comportamiento operativo de la terminal marítima en el software Arena Rockwell para ser analizado. El segundo escenario de simulación tiene por objetivo evaluar el aumento de la capacidad operativa del puerto, analizar sus resultados y concluir si la terminal de contenedores reúne las condiciones físicas necesarias para soportar dicho proyecto.

Las diferencias más significativas entre el segundo modelo con respecto al primero son las siguientes: en programación lógica son distintos, el segundo posee un área física considerablemente mayor, cuenta con un muelle de carga/descarga de mayor longitud teniendo las condiciones de atender a dos embarcaciones simultáneamente, mayor cantidad de espacios de almacenamiento en patios, se incrementaron los accesos terrestres de entrada y salida de mercancías, la cantidad de equipamiento y personal operativo aumenta, existe mayor cantidad de rutas entre muelle-patio/patio-muelle, puerta-patio/patio-puerta, la distribución de los almacenes difiere para obtener recorridos en transporte menores en tiempo y distancia buscando la mejora de la terminal marítima de contenedores.

5.2.1. Llegada y Partida de Buques

La fase de experimentación para el segundo escenario de simulación comienza con la primera sección, esta se refiere a la llegada de buques portacontenedores a la estación de espera (*fondeo*) la cual se ubica a las afueras del puerto, después las embarcaciones navegan hacia alguna de las posiciones de atraque en muelle donde permanecerán durante el tiempo que demoren las operaciones. Una vez, que cada uno de ambos buque se encuentra atracado en su respectiva estación en muelle continúa un proceso de autorización de operaciones. Las actividades en el puerto inician con la descarga de contenedores desde buque, siendo estos trasladados hacia los patios de almacenamiento y ahí depositados (importación). Concluida la descarga inicia la carga, se refiere a recoger los contenedores almacenados en los patios de la terminal, transportarlos a muelle y cargarlos sobre buque por medio de las grúas de tipo pórtico (exportación). Concluidas las actividades operativas, se libera la embarcación de la estación muelle (desatraque) y parte a su siguiente puerto destino. En el punto 4.1 y tabla 4.3 son descritos a detalle los comandos de la programación lógica del modelo y las operaciones portuarias. En la figura 5.2 se muestra la programación lógica de la primera sección para la fase de experimentación.

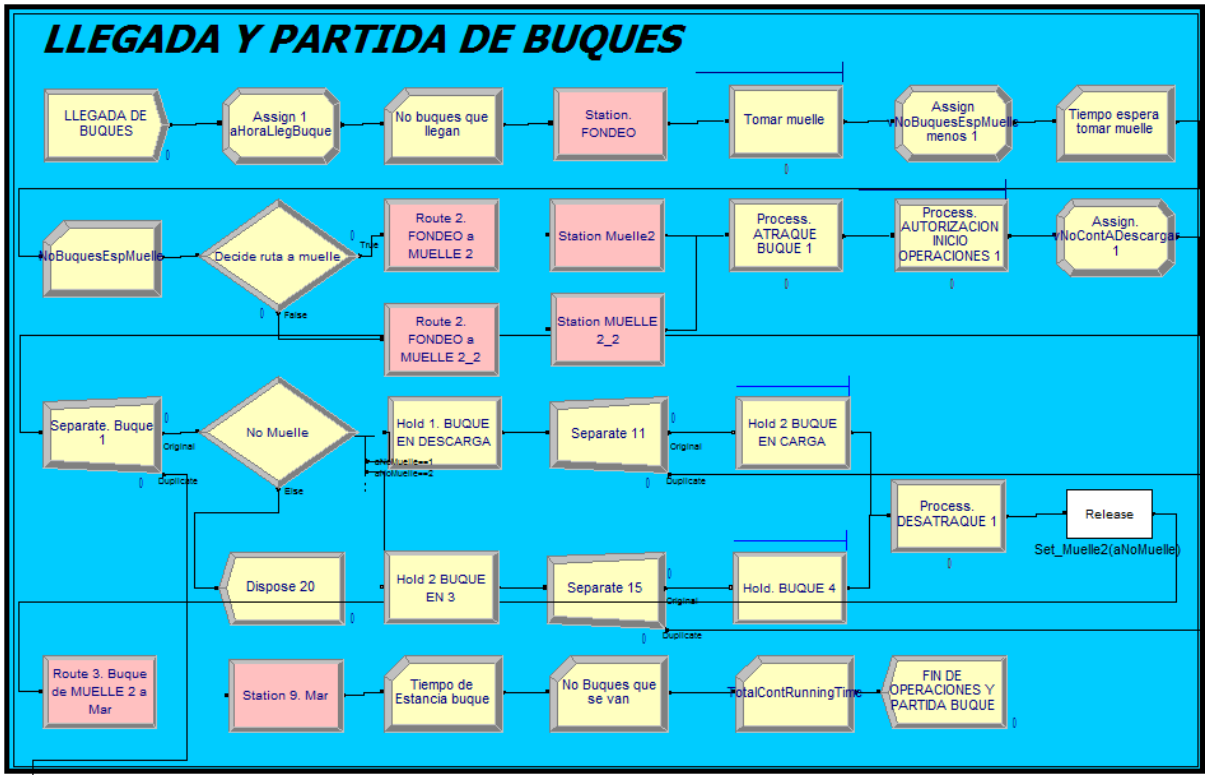


Figura 5.2. Llegada y partida de buques.

La sección inicial *llegada y partida de buques* del segundo escenario de simulación comparado contra el modelo original tiene las siguientes diferencias: 1) la creación de una segunda ruta de traslado a una nueva estación de atraque (muelle) para la entidad *buque*, además de realizar un proceso de atraque y autorización de operaciones, 2) se agregaron dos módulos *Hold* más, el primero para detectar la finalización de las actividades de importación y dar inicio a la exportación, el segundo identifica la conclusión de las operaciones de carga y continúa el proceso de partida de buque del muelle adicional. En la tabla 5.1 se realiza una descripción sólo de los módulos que fueron agregados o modificados durante la construcción del nuevo escenario de simulación.

Tabla 5.1. Primera sección fase de experimentación, módulos modificados y agregados en la lógica del modelo.

No	Módulo	Descripcion	Datos
1	Tomar muelle	Se utilizó un módulo *Process* del tipo *Seize Delay* para representar el proceso de asignar y mantener ocupado al set de recursos *Set_Muelle2*, integrado por los recursos *Muelle_2* y *Muelle_2_2*.	Name: Tomar muelle; Type: Standard; Logic; Action: Seize Delay; Priority: Medium(2); Resources: Set, Set_Muelle2, 1, Cyclical, aNoMuelle; <End of list>; Add...; Edit...; Delete; Delay Type: Triangular; Units: Minutes; Allocation: Value Added; Minimum: 0; Value (Most Likely): 0; Maximum: 0; OK; Cancel; Help
2	Decide ruta a muelle	Un módulo *Decide* del tipo *2-way by Condition* es utilizado para clasificar; si, la entidad buque seguirá la ruta hacia muelle 2 o muelle ampliación (muelle incorporado).	Name: Decide ruta a muelle; Type: 2-way by Condition; If: Attribute; Named: aNoMuelle; Is: ==; Value: 1; OK; Cancel; Help
3	Route 2. FONDEO a MUELLE 2	Con el módulo *Route* es dirigida la entidad *Buque* desde la estación *Fondeo* hasta la estación *s1Muelle_Descarga*. Se define un tiempo de traslado entre estaciones de 40 minutos. La salida *True* del módulo *Decide* en el punto 2 es dirigida al módulo *Route*.	Name: Route 2. FONDEO a MUELLE 2; Route Time: 40; Units: Minutes; Destination Type: Station; Station Name: s1Muelle_Descarga; OK; Cancel; Help
4	Route 2. FONDEO a MUELLE 2_2	Con el módulo *Route* es dirigida la entidad *Buque* desde la estación *Fondeo* hasta la estación *s2Muelle_Descarga*. Se define un tiempo de traslado entre estaciones de 37 minutos. La salida *False* del módulo *Decide* en el punto 2 es dirigida al módulo *Route*.	Name: Route 3. FONDEO a MUELLE ampliación; Route Time: 37; Units: Minutes; Destination Type: Station; Station Name: s2Muelle_Descarga; OK; Cancel; Help
5	Station Muelle2	Con el módulo *Station* se define la estación *s1Muelle_Descarga*, está es el sitio de la terminal marítima donde arriba y atraca la primera entidad *Buque*.	Name: Station Muelle2; Station Type: Station; Station Name: s1Muelle_Descarga; Parent Activity Area:; Associated Intersection:; OK; Cancel; Help

6	Station MUELLE 2_2	Con el módulo *Station* se define la estación *s2Muelle_Descarga*, está es el sitio de la terminal marítima donde arriba y atraca la segunda entidad *Buque*.	Name: Station MUELLE 2_2; Station Type: Station; Station Name: s2Muelle_Descarga; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help
7	Assign. vNoContADescargar 1	Con el módulo *Assign* fueron asignados valores a las variables: *vNoContADescargar* y *vNoContACargar*, la primera variable determinada por las distribuciones de probabilidad *ANINT((1.3 * (0.999 + 147 * BETA(0.612, 1.65))) + (1.3 * (3 + 997 * BETA(0.605, 5.72))) + (1.3 * (0.999 + 149 * BETA(0.435, 2.07))))* define la cantidad total de contenedores a descargar para un buque dado. La segunda variable determina por medio de las distribuciones de probabilidad *ANINT(1.35 * (1.25*(0.999 + WEIB(45.5, 0.648))) + (1.35 * (0.999 + 149 * BETA(0.45, 1.58))) + (1.35 * (0.999 + GAMM(94.2, 0.331))))* define la cantidad total de contenedores a cargar para un buque dado. Además se asignaron las variables *vNoContDescargados*, *vNoContCargados*, *vNoEncLlenosPCarga*, *vNoEncTransPCarga*, *vNoEncVaciosPCarga*, estas se inicializan en el valor *0*, el cual se incrementará conforme sean detectadas las entidades *Contenedor* que son manipuladas. **Nota**: Todas las variables mencionadas en el punto 7 son del tipo *Array (1D)*, esto para diferenciar en cada una de ellas el muelle utilizado con el atributo *aNoMuelle*.	Name: Assign. vNoContADescargar 1; Assignments: Variable Array (1D), vNoContADescarga; Variable Array (1D), vNoContDescargac; Variable Array (1D), vNoContACargar, a; Variable Array (1D), vNoContCargados, ; Variable Array (1D), vNoEncLlenosPCar; Variable Array (1D), vNoEncTransPCarg; Variable Array (1D), vNoEncVaciosPCai; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
8	Separate. Buque 1	Se utiliza un módulo *Separate* para generar dos direcciones en la lógica del modelo; *Original* y *Duplicate*, se asigna la variable *vNoContADescargar(aNoMuelle)* como el número de duplicados. La primera salida *Original* se refiere a continuar con los trabajos de la entidad *Buque*, la cual se conecta al módulo *Decide* descrito en el punto 9. La segunda salida *Duplicate* se refiere a la generación de las entidades *Contenedor*.	Name: Separate. Buque 1; Type: Duplicate Original; Percent Cost to Duplicates (0-100): 50 %; # of Duplicates: vNoContADescargar(aNoMuelle); OK Cancel Help
9	No Muelle	Se utiliza el modulo *Decide* del tipo *N-way by Condition* para clasificar la entidad en base al número de muelle a utilizar (con el atributo *aNoMuelle).*	Name: No Muelle; Type: N-way by Condition; Conditions: Attribute, aNoMuelle, ==, 1; Attribute, aNoMuelle, ==, 2; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
10	Hold 1. BUQUE EN DESCARGA	La condición *aNoMuelle ==1* genera la primera salida del módulo *Decide* en el punto 9 que se conecta al módulo *Hold* el cual se utiliza para mantener a la entidad *Buque* atracada en la estación *s1Muelle_Descarga*, durante el tiempo que sea requerido hasta que las operaciones de descarga de	Name: Hold 1. BUQUE EN DESCARI; Type: Wait for Signal; Wait for Value: 1; Limit: 1; Queue Type: Queue; Queue Name: Hold 1. BUQUE EN DESCARI; OK Cancel Help

		contenedores finalicen. El módulo *Signal* descrito en el punto *25* de la tabla *5.2* envía la señal *1* al módulo *Hold* al detectar esté la finalización de las actividades de descarga, recibida la señal se podrán iniciar las actividades de exportación o carga sobre buque.	
11	Separate 11	Se utiliza un módulo *Separate* para generar dos direcciones en la lógica del modelo; *Original* y *Duplicate*, se asigna la variable *vNoContACargar(aNoMuelle)* como el número de duplicados. La primera salida *Original* se refiere a continuar con los trabajos de la entidad *Buque*, la cual se conecta al módulo *Hold* descrito en el punto 12. La segunda salida *Duplicate* se refiere a las actividades de carga de la entidad *Contenedor.*	Name: Separate 11 Type: Duplicate Original Percent Cost to Duplicates (0-100): 50 % # of Duplicates: vNoContACargar(aNoMuelle) OK Cancel Help
12	Hold 2 BUQUE EN CARGA	Para mantener a la entidad *Buque* atracada en la estación *s1Muelle_Carga*, durante el tiempo que sea requerido hasta que las operaciones de carga de contenedores finalicen. El módulo *Signal* descrito en el punto *57*de la tabla *5.5* envía la señal *2* al módulo *Hold* al detectar esté la finalización de las actividades de carga, recibida la señal se podrán iniciar las actividades de desatraque y partida buque.	Name: Hold 2 BUQUE EN CARGA Type: Wait for Signal Wait for Value: 2 Limit: 1 Queue Type: Queue Queue Name: Hold 2 BUQUE EN CARGA.Q OK Cancel Help
13	Hold 2 BUQUE EN 3	La condición *aNoMuelle ==2* genera la segunda salida del módulo *Decide* en el punto 9 que se conecta al módulo *Hold* el cual se utiliza para mantener a la entidad *Buque* atracada en la estación *s2Muelle_Descarga*, durante el tiempo que sea requerido hasta que las operaciones de descarga de contenedores finalicen. El módulo *Signal* descrito en el punto 26 de la tabla *5.2* envía una señal *3* al módulo *Hold* al detectar esté la finalización de las actividades de descarga, recibida la señal se podrán iniciar las actividades de exportación o carga sobre buque.	Name: Hold 2 BUQUE EN 3 Type: Wait for Signal Wait for Value: 3 Limit: 1 Queue Type: Queue Queue Name: Hold 2 BUQUE EN 3.Queue OK Cancel Help
14	Separate 15	Se utiliza un módulo *Separate* para generar dos direcciones en la lógica del modelo; *Original* y *Duplicate*, se asigna la variable *vNoContACargar(aNoMuelle)* como el número de duplicados. La primera salida *Original* se refiere a continuar con los trabajos de la entidad *Buque*, la cual se conecta al módulo *Hold* descrito en el punto 13. La segunda salida *Duplicate* se refiere a las actividades de carga de la entidad *Contenedor.*	Name: Separate 15 Type: Duplicate Original Percent Cost to Duplicates (0-100): 50 % # of Duplicates: vNoContACargar(aNoMuelle) OK Cancel Help
15	Hold. BUQUE 4	Para mantener a la entidad *Buque* atracada en la estación *s2Muelle_Carga*, durante el tiempo que sea requerido hasta que las operaciones de carga de contenedores finalicen. El módulo *Signal* descrito en el punto *58* de la tabla *5.5* envía la señal 4 al módulo *Hold* al detectar esté la finalización de las	Name: Hold. BUQUE 4 Type: Wait for Signal Wait for Value: 4 Limit: 1 Queue Type: Queue Queue Name: Hold. BUQUE 4.Queue OK Cancel Help

		actividades de carga, recibida la señal se podrán iniciar las actividades de desatraque y partida buque.	
16	Release	Una vez que las operaciones de carga y descarga han concluido se utiliza el módulo *Release* para liberar al set de recursos *Set_Muelle* que fue asigando en el punto 1, de esta manera los recursos *Muelle_2* y *Muelle_2_2* se liberan para poder ser ocupados por nuevas entidades *Buque*.	Label: Muelle_2 Mark Attribute: Next Label: Resources: Set_Muelle2(aNoMuelle), 1 <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help

5.2.2. Descarga de Buque y Almacenamiento de Contendores

La segunda sección del modelo experimental se denomina *descarga de buque y almacenamiento de contenedores*. Una vez iniciadas las operaciones, se refiere a la descarga de contenedores desde buque por medio de grúas de muelle y su depósito sobre camiones de transporte. Los contenedores son trasladados desde muelle hacia su ubicación específica de almacenamiento en patios. Cuando el contenedor arriba al área de almacenamiento las grúas de patio son las encargadas de segregarlos en almacén. Una vez que el transporte *camión* es liberado regresa a muelle para seguir trasladando contenedores. En los puntos 4.1.2, 4.1.3 y en las tablas 4.4 - 4.5 las actividades operativas se describen a detalle. En la figura 5.3 se muestra la programación lógica de la segunda sección para la fase de experimentación.

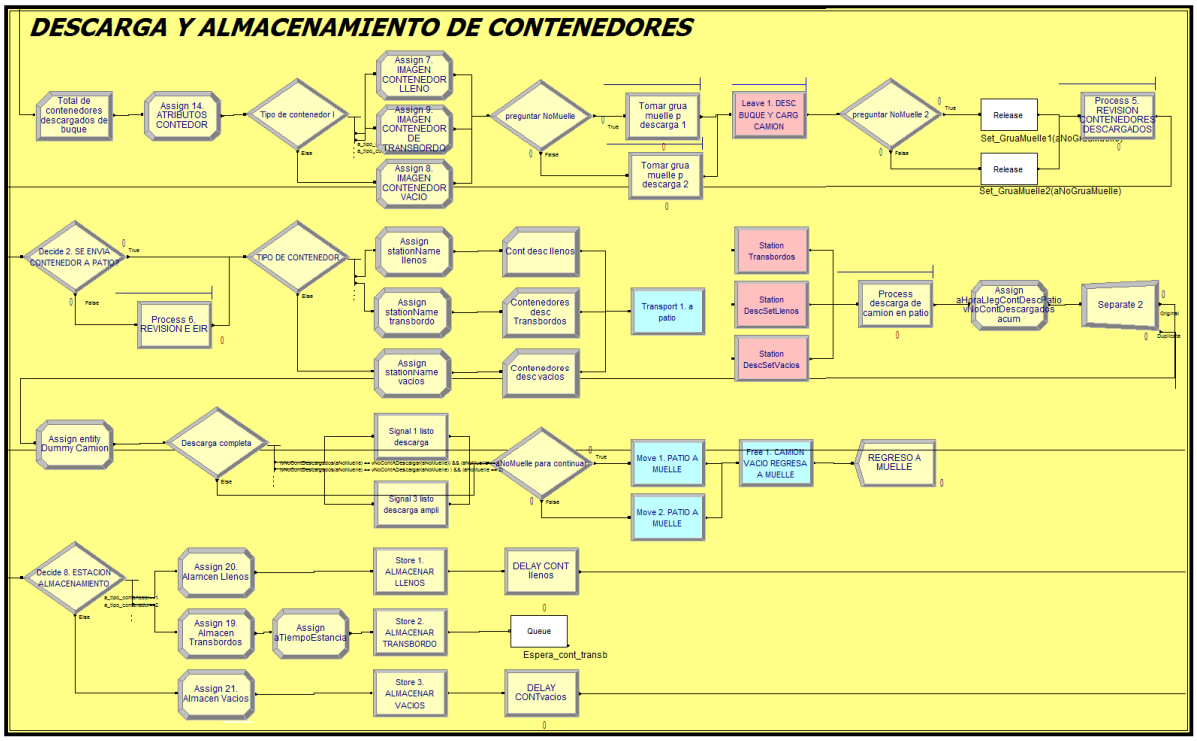
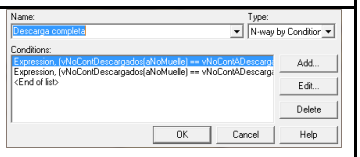
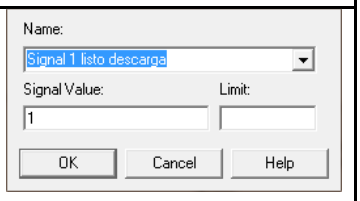
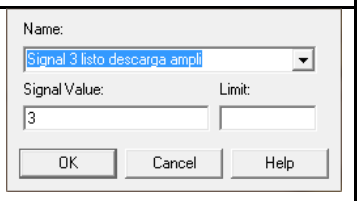
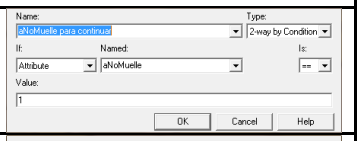
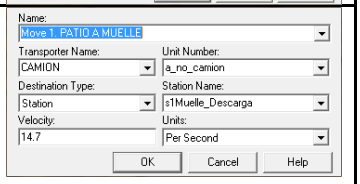
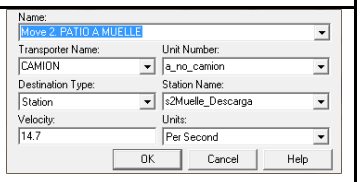


Figura 5.3. Descarga de buque y almacenamiento de contenedores.

En la tabla 5.2 se realiza una descripción solo de los módulos que fueron modificados para la construcción del nuevo modelo de simulación.

Tabla 5.2. **Segunda sección fase de experimentación, módulos modificados y agregados en la lógica del modelo.**

No	Módulo	Descripción	Datos
17	preguntar NoMuelle	Un módulo *Decide* del tipo *2-way by Condition* se utiliza para clasificar la entidad en base al atributo *aNoMuelle*.	
18	Tomar grua muelle p descarga 1	Se utilizó un módulo *Process* del tipo *Seize Delay* para representar el proceso de asignar y mantener ocupado (en descarga de la entidad *Contenedor*) al set de recursos *Set_GruaMuelle1*, integrado por los recursos *Grua_muelle1* y *Grua_muelle2*. La salida *True* del módulo *Decide* en el punto 17 se conecta al actual módulo *Process*.	
19	Tomar grua muelle p descarga 2	Se utilizó un módulo *Process* del tipo *Seize Delay* para representar el proceso de asignar y mantener ocupado (en descarga de la entidad *Contenedor*) al set de recursos *Set_GruaMuelle2*, integrado por los recursos *Grua_muelle3* y *Grua_muelle4*. La salida *False* del módulo *Decide* en el punto 17 se conecta al actual módulo *Process*.	
20	preguntar NoMuelle 2	Un módulo *Decide* del tipo *2-way by Condition* se utiliza para clasificar la entidad en base al atributo *aNoMuelle*.	
21	Release Set_GruaMuelle1	Una vez que cada proceso de descarga de la entidad *Contenedor* finaliza se asigna el módulo *Release* para liberar a la grúa del set de recursos *Set_GruaMuelle1* que fue asignado en el módulo *Process* en el punto 18. La salida *True* del módulo *Decide* del punto 20 se conecta al actual módulo *Release*.	
22	Release Set_GruaMuelle2	Una vez que cada proceso de descarga de la entidad *Contenedor* finaliza se asigna el módulo *Release* para liberar a la grúa del set de recursos *Set_GruaMuelle2* que fue asignado en el módulo *Process* en el punto 19. La salida *False* del módulo *Decide* del punto 20 se conecta al actual módulo *Release*.	
23	Assign oraLlegContDescPa NoContDescargado acum	Con el módulo *Assign* se asigna la variable del tipo *Array (1D)* llamada *vNoContDescargados*, está se actualiza al momento de registrar que un nuevo contenedor fue descargado, asignando el valor *vNoContDescargados(aNoMuelle) + 1* para controlar las entidades *Contenedor* descargadas para cada	

		diferente buque.	
24	Descarga completa	En un módulo *Decide* del tipo *N-way by Condition* se definen dos diferentes condiciones. En primera se asigna la expresión *(vNoContDescargados(aNoMuelle) == vNoContADescargar(aNoMuelle)) && (aNoMuelle == 1)* para conocer si la descarga de la entidad *Contenedor* del *primer buque* concluyó. En segunda se asigna la expresión *(vNoContDescargados(aNoMuelle) == vNoContADescargar(aNoMuelle)) && (aNoMuelle == 2)* para conocer si la descarga de la entidad *Contenedor* del *segundo buque* finalizó.	
25	Signal 1 listo descarga	Cuando la primera condición del punto 24 se cumple, es decir, la descarga de la entidad *Contenedor* para el primer buque fue finalizada, se utiliza un módulo *Signal* para enviar la señal *1* al módulo *Hold* en el punto 10 de la tabla 5.1, el cual detecta que la descarga termino y libera a la entidad *Buque* para continuar con las operaciones de carga.	
26	Signal 3 listo descarga ampli	Cuando la segunda condición del punto 24 se cumple, es decir, la descarga de la entidad *Contenedor* para el segundo buque fue finalizada, se utiliza un módulo *Signal* para enviar la señal *3* al módulo *Hold* en el punto 13 de la tabla 5.1, el cual detecta que la descarga termino y libera a la entidad *Buque* para continuar con las operaciones de carga.	
27	aNoMuelle para continuar	Se utiliza un módulo *Decide para clasificar la entidad en base al* atributo *aNoMuelle.*	
28	Move 1. PATIO A MUELLE	El módulo *Move* le ordena al transporte *Camion* trasladarse desde las estaciones de almacenamiento en patio hacia la estación *s1Muelle_Descarga* para continuar con el proceso de descarga de la entidad *Contenedor*. Se asigna una velocidad de 14.7 mt/s. La salida *True* del módulo *Decide* del punto 27 se conecta al actual módulo *Move.*	
29	Move 2. PATIO A MUELLE	El módulo *Move* le ordena al transporte *Camion* trasladarse desde el patio de almacenamiento hacia la estación *s2Muelle_Descarga* para continuar con el proceso de descarga de la entidad *Contenedor*. Se asigna una velocidad de 14.7 mt/s. La salida *False* del módulo *Decide* del punto 27 se conecta al actual módulo *Move.*	

5.2.3. Llegada Terrestre y Almacenamiento de Contenedores de Exportación

En el modelo experimental, la tercera sección llamada *llegada terrestre y almacenamiento de contenedores de exportación*, inicia con el arribo de las mercancías a las puertas de acceso

terrestre de la terminal marítima a través del transporte público. El personal de puertas realiza un proceso de inspección de contenedores y documentación, permitido el acceso al interior de la terminal marítima se indica al transporte la posición exacta en patios hacia dónde dirigirse, esté al llegar a su posición de descarga en patio, una de las grúas es responsable de segregar el contenedor en una posición de almacenamiento específica. Una vez que el transporte es liberado se dirige vacío hacia las puertas de salida, en ellas se realiza un proceso para inspeccionar la documentación, por último se le permite al camión retirarse del puerto.

En la sección 4.1.4, 4.1.5, 4.1.6 y en las tablas 4.6, 4.7, 4.8. Se explican a detalle las actividades del proceso de acceso y salida de mercancías a la terminal marítima. En la figura 5.4 se presenta la programación lógica de la tercera sección del modelo experimental. En la tabla 5.3 son descritos los comandos que fueron modificados durante la programación lógica del segundo escenario de simulación.

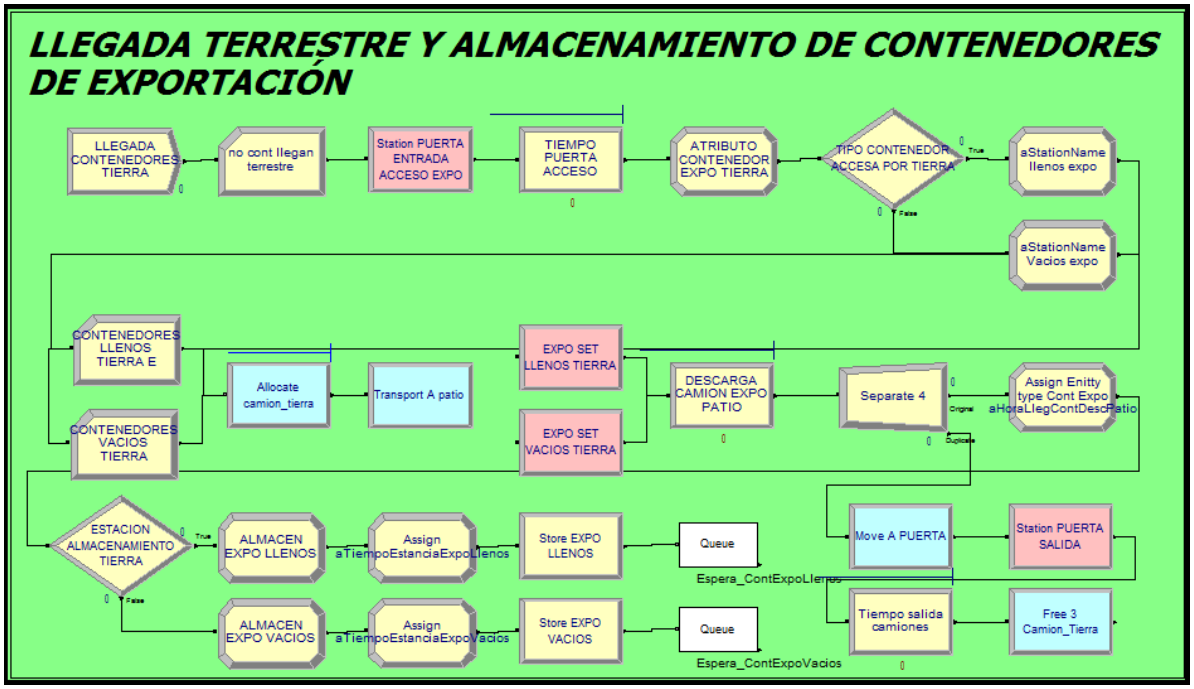


Figura 5.4. Llegada terrestre y almacenamiento de contenedores de exportación.

Tabla 5.3. Fase de experimentación, tercera sección comandos modificados en la lógica del modelo**.**

No	Módulo	Descripción	Datos
30	Station PUERTA ENTRADA ACCESO EXPO	Antes que la entidad *entCamion_Expo* ingrese a los patios de la terminal marítima, arriba a la estación llamada *sPuerta_EntradaExpo* representada por el módulo *Station.*	Name: Station PUERTA ENTRAD; Station Type: Station; Station Name: sPuerta_EntradaExpo; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help
31	aStationName llenos expo	Con el módulo *Assign* se asigna el atributo *aStationName* que mediante la distribución de probabilidad del tipo discreta *DISC(0.185,station2A,0.37,station2B,0.58,station1C,0.79,station6C,1,station5C)* determina la estación en la que la entidad *ContenedorExpo* será resguardada en las estaciones de almacenamiento de exportación para contendores del tipo *llenos.*	Name: aStationName llenos expo; Assignments: Entity Picture, Picture.ContenedorLlenoExp; Attribute, aStationName, DISC(0.185,statior; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
32	aStationName Vacios expo	Con el módulo *Assign* se asigna el atributo *aStationName* que mediante la distribución de probabilidad del tipo discreta *DISC(1,station2C)* determina la estación en la cual la entidad *ContenedorExpo* será resguardada en las estaciones de almacenamiento de exportación para contendores del tipo *vacíos.*	Name: aStationName Vacios expo; Assignments: Entity Picture, Picture.ContenedorVacioExp; Attribute, aStationName, station2C; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
33	EXPO SET LLENOS TIERRA	Con el módulo *Station* del tipo *Set* se define el grupo de estaciones llamado *SetExpoLlenosT.Station* integrado por las estaciones: *station2A, station2B, station1C, station5C, station6C*, utilizadas para almacenar los contenedores de exportación del tipo *llenos*.	Name: EXPO SET LLENOS TIER; Station Type: Set; Set Name: SetExpoLlenosT.Statio; Save Attribute: a_bloque; Station Set Members: station2A, , , Yes; station2B, , , Yes; station1C, , , Yes; station5C, , , Yes; station6C, , , Yes; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
34	EXPO SET VACIOS TIERRA	Con el módulo *Station* del tipo *Set* se define el grupo de estaciones llamado *SetExpoVaciosT.Station* integrado por la estación *station2C*, utilizada para almacenar los contenedores de exportación del tipo *vacíos*.	Name: PO SET VACIOS TIERRA; Station Type: Set; Set Name: SetExpoVaciosT.Statio; Save Attribute: a_bloque; Station Set Members: station2C, , , Yes; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help
35	Move A PUERTA	Con el módulo *Move* se ordena al transporte *Camion_Tierra* se traslade desde la estación de almacenamiento en patio hacia la estación de puerta de salida llamada *sPuerta_SalidaExpo*, se asigna una velocidad de desplazamiento de *14.7 mt/s*.	Name: Move A PUERTA; Transporter Name: CAMION_TIERRA; Unit Number: a_no_camion; Destination Type: Station; Station Name: sPuerta_SalidaExpo; Velocity: 14.7; Units: Per Second; OK Cancel Help
36	Station PUERTA SALIDA	Una vez que se definió el traslado en el punto 35 es necesario definirle al transporte *Camion_Tierra* su destino. Para ello se utiliza un módulo *Station*, en esté se define la estación *sPuerta_SalidaExpo* como el destino final del transporte antes de salir del puerto.	Name: Station PUERTA SALIDA; Station Type: Station; Station Name: sPuerta_SalidaExpo; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help

5.2.4. Salida Terrestre de Contenedores de Importación

La cuarta etapa del modelo de experimentación es nombrada *salida terrestre de contenedores de importación*, es la etapa del escenario experimental con el menor número de cambios realizados respecto al modelo original, solo dos módulos fueron modificados. La cuarta sección puede entenderse como la continuación de la sección dos del modelo llamado *descarga y almacenamiento de contenedores*. Esta fase comienza permitiendo el ingreso del transporte público a la terminal marítima, los camiones de transporte vacíos se dirigen a las estaciones de almacenamiento de contenedores de importación del tipo llenos y vacíos localizadas en los patios de la terminal marítima, las grúas de patio encuentran los contenedores almacenados y los depositan sobre el transporte, estos últimos se dirigen desde patio hacia las puertas de salida de contenedores de importación, en ellas se realiza un proceso de revisión de contenedores y documentación, por último se permite su salida.

Las actividades de la etapa cuatro del modelo de simulación sobre los procesos operativos para la salida de las mercancías de importación del puerto fueron descritas a detalle en el punto 4.1.6 y en la tabla 4.8. En la figura 5.5 se presenta la programación lógica de la cuarta sección. En la tabla 5.4 son descritos los comandos que fueron modificados durante la programación lógica del segundo escenario de simulación.

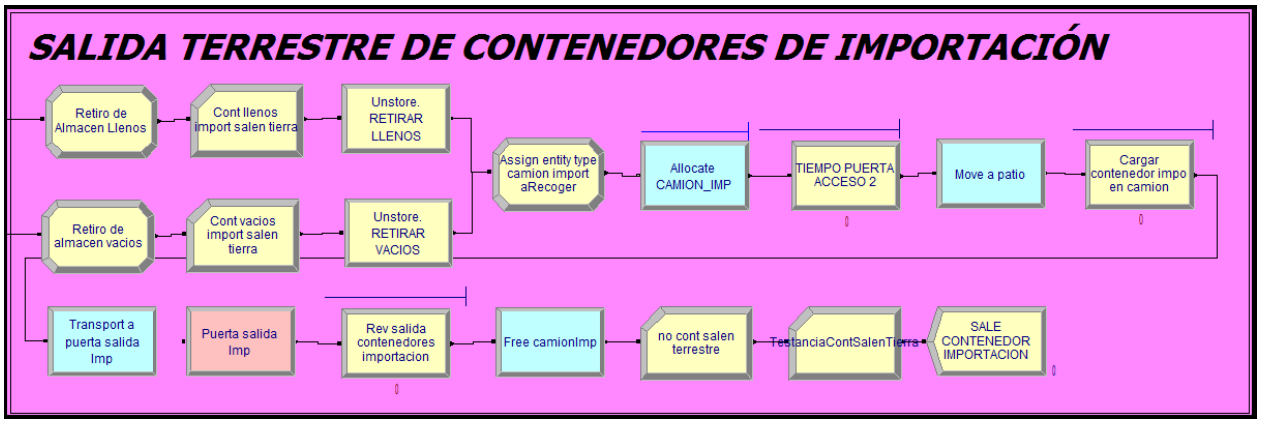


Figura 5.5. Salida terrestre de contenedores de importación.

Tabla 5.4. **Comandos modificados en la programación lógica del modelo, cuarta sección.**

No	Módulo	Descripción	Datos
37	Transport a puerta salida Imp	Con el módulo *Transport* se asigna la actividad de mover al transporte *Camion_Imp* (con carga) desde las estaciones de patio hacia la estación de salida *sPuerta_SalidaImpo*, se asigna una velocidad de traslado de *10.9 mt/s*.	Name: Transport a puerta salida Imp; Transporter Name: CAMION_IMP; Unit Number: a_no_camion; Entity Destination Type: Station; Station Name: sPuerta_SalidaImpo; Velocity: 10.9; Units: Per Second; Guided Tran Destination Type: Entity Destination; OK Cancel Help
38	Puerta salida Imp	En el módulo *Station* se define la estación *sPuerta_SalidaImpo*, esté es el último punto de inspección donde el transporte *Camion_Imp* con carga arriba antes de salir de la terminal marítima.	Name: Puerta salida Imp; Station Type: Station; Station Name: sPuerta_SalidaImpo; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help

5.2.5. Carga de Contenedores de Exportación sobre Buque.

Las actividades de la quinta sección del modelo experimental de simulación llamada *carga de contenedores de exportación sobre buque* tienen comienzo una vez que las operaciones de carga o importación han finalizado. Las actividades de carga inician con la búsqueda de los contenedores almacenados en las estaciones de patio, al ser localizadas los transportes son dirigidos a las estaciones de almacenamiento, los contenedores son colocados sobre los camiones por medio de las grúas de patio y son enviados a las estaciones de muelle para ser recibidos por las grúas de pórtico, estas últimas cargan los contenedores sobre buque. El transporte se dirige nuevamente a patio y el ciclo se repite hasta que el último contenedor es cargado sobre una embarcación específica.

Las actividades de la etapa cinco del modelo de simulación sobre los procesos operativos para la carga de contenedores de exportación del puerto fueron descritas a detalle en los puntos 4.1.7, 4.1.8 y en la tabla 4.9 - 4.10. En la figura 5.6 se presenta la programación lógica de la quinta sección. En la tabla 5.5 son descritos los comandos que fueron modificados durante la programación lógica del segundo escenario de simulación.

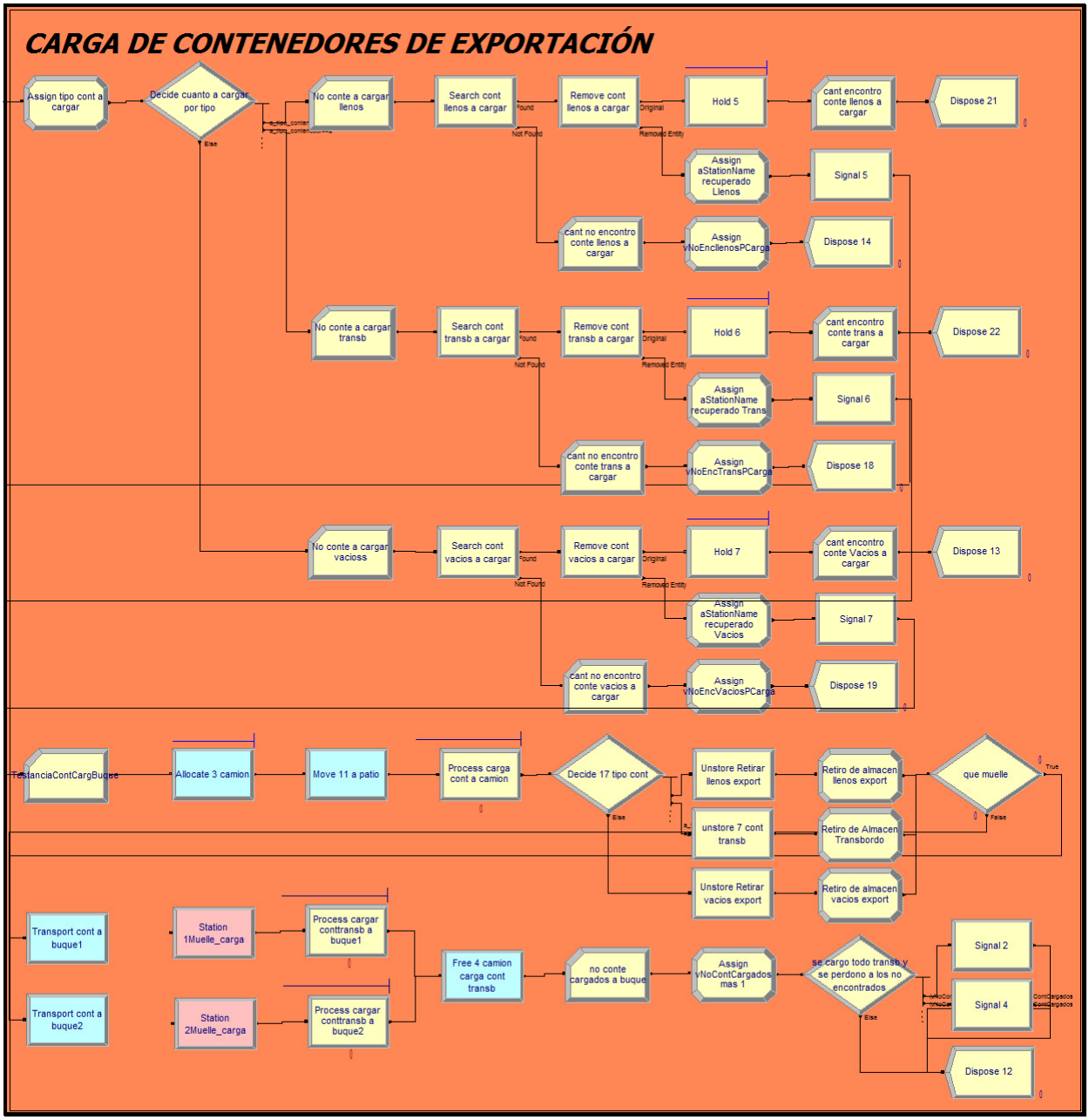
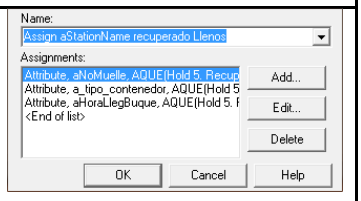
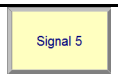
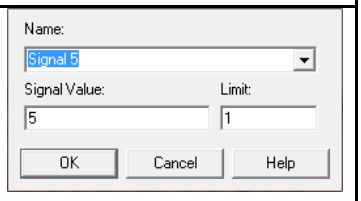
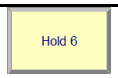
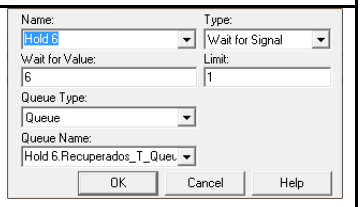
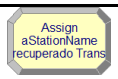
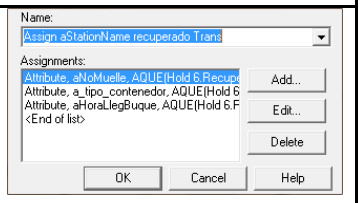


Figura 5.6. Carga de contenedores de exportación sobre buque.

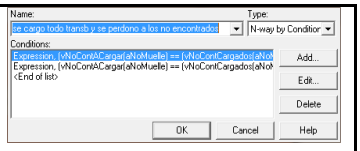
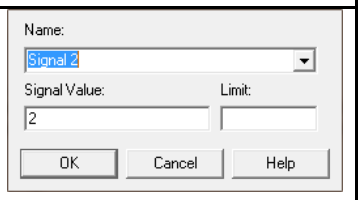
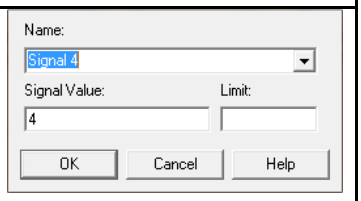
Tabla 5.5. **Quinta sección, comandos modificados y agregados en programación lógica.**

No	Módulo	Descripción	Datos
39	Hold 5	Tanto para el escenario experimental como para el original se utiliza un módulo *Remove* para eliminar de la cola *Espera_ContExpoLlenos* los contenedores de carga del tipo *Llenos*, el módulo crea dos salidas *Original* y *Removed Entity*. La salida *Original* se conecta al actual módulo *Hold*, el cual recibe a la entidad *ContenedorExpo* proveniente de la cola antes	Name: Hold 5; Type: Wait for Signal; Wait for Value: 5; Limit: 1; Queue Type: Queue; Queue Name: Hold 5. Recuperados_L_Que; OK; Cancel; Help

		especificada, *Hold* mantendrá a la entidad en espera hasta recibir una señal del módulo *Signal* descrita en el punto 41.	
40		La entidad extraída del módulo *Remove* descrito en el punto 39 se conecta al actual módulo *Assign* a través de la salida *Removed Entity*. En el módulo *Assign* se asignan distintos elementos, inicia asignando el atributo *aNoMuelle* y se le define el valor *AQUE(Hold 5. Recuperados_L_Queue,1,NSYM(aNoMuelle))*, después se asigna el atributo *a_tipo_contenedor* y se le define el valor *AQUE(Hold 5. Recuperados_L_Queue,1,NSYM(a_tipo_contenedor))*, por último se asigna el atributo *aHoraLlegBuque* y se asigna el valor *AQUE(Hold 5. Recuperados_L_Queue,1,NSYM(aHoraLlegBuque))*, la condición especificada para cada atributo es *AQUE* que se refiere al valor de la entidad proveniente de la cola guardada en el atributo especificado.	
41		El módulo *Assign* en el punto 40 se conecta al actual módulo *Signal*, este último envía la señal al módulo *Hold* en el punto 39, al recibir *Hold* la señal libera una cantidad especificada de entidades *ContenedorExpo*, instantes después las entidades desaparecen de la simulación para fines del modelo, posteriormente *Signal* se conecta a un módulo *Allocate*.	
42		Tanto para el escenario experimental como el original se utiliza un módulo *Remove* para eliminar de la cola *Espera_cont_transb* los contenedores de carga del tipo *Transbordos*, el módulo crea dos salidas *Original* y *Removed Entity*. La salida *Original* se conecta al actual módulo *Hold*, el cual recibe a la entidad *Contenedor* proveniente de la cola antes especificada, *Hold* mantendrá a la entidad en espera hasta recibir una señal del módulo *Signal* descrita en el punto 44.	
43		La entidad extraída del módulo *Remove* descrito en el punto 39 se conecta al actual módulo *Assign* a través de la salida *Removed Entity*. En el módulo *Assign* se asignan distintos elementos, inicia asignando el atributo *aNoMuelle* y se le define el valor *AQUE(Hold 6.Recuperados_T_Queue,1,NSYM(aNoMuelle))*, después se asigna el atributo *a_tipo_contenedor* y se le define el valor *AQUE(Hold 6.Recuperados_T_Queue,1,NSYM(a_tipo_contenedor))*, por último se asigna el atributo *aHoraLlegBuque* y se asigna el valor *AQUE(Hold 6.Recuperados_T_Queue,1,NSYM(aHoraLlegBuque))*, la condición especificada para cada atributo es *AQUE* que se refiere al valor de la entidad proveniente de la cola guardada en el atributo especificado.	

44	Signal 6	El módulo *Assign* en el punto 43 se conecta al actual módulo *Signal*, esté ultimo envía la señal al módulo *Hold* en el punto 42, al recibir *Hold* la señal libera una cantidad especificada de entidades *Contenedor*, instantes después las entidades desaparecen del modelo para fines de la simulación, posteriormente *Signal* se conecta a un módulo *Allocate*.	Name: Signal 6 Signal Value: 6 Limit: 1 OK Cancel Help
45	Hold 7	Tanto para el escenario experimental como para el original se utiliza un módulo *Remove* para eliminar de la cola *Espera_ContExpoVacios* los contenedores de carga del tipo *Vacíos*, el módulo crea dos salidas *Original* y *Removed Entity*. La salida *Original* se conecta al actual módulo *Hold*, el cual recibe a la entidad *ContenedorExpo* proveniente de la cola antes especificada, *Hold* mantendrá a la entidad en espera hasta recibir una señal del módulo *Signal* descrita en el punto 47.	Name: Hold 7 Type: Wait for Signal Wait for Value: 7 Limit: 1 Queue Type: Queue Queue Name: Hold 7.Recuperados_V_Queu OK Cancel Help
46	Assign aStationName recuperado Vacios	La entidad extraída del módulo *Remove* descrito en el punto 39 se conecta al actual módulo *Assign* a través de la salida *Removed Entity*. En el módulo *Assign* se asignan distintos elementos, inicia asignando el atributo *aNoMuelle* y se le define el valor *AQUE(Hold 7.Recuperados_V_Queue,1,NSYM(aNoMuelle))*, después se asigna el atributo *a_tipo_contenedor* y se le define el valor *AQUE(Hold 7.Recuperados_V_Queue,1,NSYM(a_tipo_contenedor))*, por último se asigna el atributo *aHoraLlegBuque* y se asigna el valor *AQUE(Hold 7.Recuperados_V_Queue,1,NSYM(aHoraLlegBuque))*, la condición especificada para cada atributo es *AQUE* que se refiere al valor de la entidad proveniente de la cola guardada en el atributo especificado.	Name: Assign aStationName recuperado Vacios Assignments: Attribute, aNoMuelle, AQUE(Hold 7.Recupe Attribute, a_tipo_contenedor, AQUE(Hold 7 Attribute, aHoraLlegBuque, AQUE(Hold 7.F <End of list> Add... Edit... Delete OK Cancel Help
47	Signal 7	El módulo *Assign* en el punto 46 se conecta al actual módulo *Signal*, esté ultimo envía la señal al módulo *Hold* en el punto 45, al recibir *Hold* la señal libera una cantidad específica de entidades *ContenedorExpo*, instantes después las entidades desaparecen del modelo para fines de la simulación, posteriormente *Signal* se conecta a un módulo *Allocate*.	Name: Signal 7 Signal Value: 7 Limit: 1 OK Cancel Help
48	que muelle	Se utiliza un módulo *Decide* y se clasifica la entidad en base al atributo *aNoMuelle*.	Name: que muelle Type: 2-way by Condition If: Attribute Named: aNoMuelle Is: == Value: 1 OK Cancel Help
49	Transport cont a buque1	La salida *True* del módulo *Decide* en el punto 48 se conecta al actual módulo *Transport,* esté último se utiliza para mover a las entidades *ContenedorExpo* y *Contenedor* hacia la estación *s1Muelle_Carga* localizada en muelle, dichas entidades originalmente se encuentran almacenadas en patios, se define el transporte *Camion* y se asigna una velocidad de	Name: Transport cont a buque1 Transporter Name: CAMION Unit Number: a_no_camion Entity Destination Type: Station Station Name: s1Muelle_Carga Velocity: 10.9 Units: Per Second Guided Tran Destination Type: Entity Destination OK Cancel Help

		traslado de *10.9 mt/s* para el transporte con carga.	
50	Station 1Muelle_carga	Se utiliza el módulo *Station* para definir la estación *s1Muelle_Carga* la cual es el destino de las entidades *ContenedorExpo* y *Contenedor*, descrito en el punto 49.	Name: Station 1Muelle_carga; Station Type: Station; Station Name: s1Muelle_Carga; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help
51	Process cargar conttransb a buque1	En el momento que las entidades *ContenedorExpo* y *Contenedor* arriban a su respectiva estación en muelle se utiliza el actual módulo *Process* del tipo *Seize*, *Delay*, *Release* para realizar el proceso de carga de contenedores sobre buque, para ello se asigna el set de recursos *Set_GruaMuelle1* el cual se integra por los recursos *Grúa_muelle1* y *Grúa_muelle2*, el proceso de carga se desarrolla en base a la distribución de probabilidad *-0.001 + ERLA(0.505, 4)*.	Name: Process cargar conttransb a buque1; Type: Standard; Logic; Action: Seize Delay Release; Priority: Medium(2); Resources: Set_Set GruaMuelle1, 1, Cyclical; <End of list>; Add... Edit... Delete; Delay Type: Expression; Units: Minutes; Allocation: Value Added; Expression: -0.001 + ERLA(0.505, 4); OK Cancel Help
52	Transport cont a buque2	La salida *False* del módulo *Decide* en el punto 48 se conecta al actual módulo *Transport,* esté último se utiliza para mover a las entidades *ContenedorExpo* y *Contenedor* hacia la estación *s2Muelle_Carga* localizada en muelle, dichas entidades originalmente se encuentran almacenadas en patios, se define el transporte *Camion* y se asigna una velocidad de traslado de *10.9 mt/s* para el transporte con carga.	Name: Transport cont a buque2; Transporter Name: CAMION; Unit Number: a_no_camion; Entity Destination Type: Station; Station Name: s2Muelle_Carga; Velocity: 10.9; Units: Per Second; Guided Tran Destination Type: Entity Destination; OK Cancel Help
53	Station 2Muelle_carga	Se utiliza el módulo *Station* para definir la estación *s2Muelle_Carga* la cual es el destino de las entidades *ContenedorExpo* y *Contenedor*, descrito en el punto 52.	Name: Station 2Muelle_carga; Station Type: Station; Station Name: s2Muelle_Carga; Parent Activity Area: ; Associated Intersection: ; OK Cancel Help
54	Process cargar conttransb a buque2	En el momento que las entidades *ContenedorExpo* y *Contenedor* arriban a su respectiva estación en muelle se utiliza el actual módulo *Process* del tipo *Seize*, *Delay*, *Release* para realizar el proceso de carga de contenedores sobre buque, para ello se asigna el set de recursos *Set_GruaMuelle2* el cual se integra por los recursos *Grúa_muelle3* y *Grúa_muelle4*, el proceso de carga se desarrolla en base a la distribución de probabilidad *-0.001 + ERLA(0.505, 4)*.	Name: Process cargar conttransb a buque2; Type: Standard; Logic; Action: Seize Delay Release; Priority: Medium(2); Resources: Set_Set GruaMuelle2, 1, Cyclical; <End of list>; Add... Edit... Delete; Delay Type: Expression; Units: Minutes; Allocation: Value Added; Expression: -0.001 + ERLA(0.505, 4); OK Cancel Help
55	Assign vNoContCargados mas 1	Se utiliza el módulo *Assign* para asignar la variable del tipo *Array (1D)* denominada *vNoContCargados* que mediante el valor *vNoContCargados(aNoMuelle) + 1* actualiza la variable y controla la cantidad de contenedores que se cargaron sobre buque.	Name: Assign vNoContCargados mas 1; Assignments: Variable Array (1D), vNoContCargados, aNo; <End of list>; Add... Edit... Delete; OK Cancel Help

56	se cargo todo transb y se perdono a los no encontrados	En un módulo *Decide* del tipo *N-way by Condition* se definen dos diferentes condiciones. En primera se asigna la expresión: *(vNoContACargar(aNoMuelle) == (vNoContCargados(aNoMuelle) + vNoEncLlenosPCarga(aNoMuelle) + vNoEncTransPCarga(aNoMuelle) + vNoEncVaciosPCarga(aNoMuelle))) && (aNoMuelle == 1)* para conocer si la carga de la entidad *ContenedorExpo* y *Contenedor* del *primer buque* concluyó. En segunda se asigna la expresión: *(vNoContACargar(aNoMuelle) == (vNoContCargados(aNoMuelle) + vNoEncLlenosPCarga(aNoMuelle) + vNoEncTransPCarga(aNoMuelle) + vNoEncVaciosPCarga(aNoMuelle))) && (aNoMuelle == 2)* para conocer si la descarga de la entidad *Contenedor* del *segundo buque* finalizó.	
57	Signal 2	Una vez que la condición del punto 56 se cumple el actual módulo *Signal* envía la señal al módulo *Hold* en el punto 13 de la tabla 5.1, recibida la señal *Hold* libera a la entidad *Buque*, con ello finalizan las operaciones de carga de contenedores sobre buque. Después que buque es liberado, continua un proceso de desatraque de la embarcación y esté parte del puerto hacia su próximo destino.	
58	Signal 4	Una vez que la condición del punto 56 se cumple, el actual módulo *Signal* envía la señal al módulo *Hold* en el punto 15 de la tabla 5.1, recibida la señal *Hold* libera a la entidad *Buque*, con ello finalizan las operaciones de carga de contenedores sobre buque. Después de que buque es liberado, continua el proceso de desatraque de la embarcación y esté parte del puerto hacia su próximo destino.	

5.2.6. Descripción de comandos de procesos

Enseguida se mencionan las características y secciones para el segundo escenario de simulación desarrollado, las cuales presentan claras diferencias respecto al modelo original, mencionadas a continuación: atributos, entidades, estaciones, valores, variables, distancias, procesos, filas de espera, además de incrementar el volumen de las actividades en más de un 75%. Dichos parámetros son utilizados en la construcción del modelo de simulación experimental, es importante mencionar que para dichos valores se definen capacidades, características de capacidad de recursos, capacidades de almacenes, expresiones, distribuciones de probabilidad, entre otras. Algunos de los resultados obtenidos fueron omitidos y en otros se modificaron con la finalidad de proteger la confidencialidad de la empresa bajo estudio.

Queue - Basic Process: Dentro la plantilla de procesos básicos las *Queue* o *Colas* son unos de los elementos modificados, durante las corridas del modelo de simulación experimental los procesos en donde se realice cualquier tipo de actividad y los que se provoque alguna espera se presentaran colas. En el modelo las filas se mostraron al desarrollar los procesos de atraque o desatraque de la entidad buque, las actividades carga/descarga de las grúas tipo pórtico en el área de muelle, en la inspección de contenedores, en el almacenamiento de contenedores en patios, en la puertas de entrada y salida de mercancías vía terrestre, etc.

En la figura 5.7 se muestra la ventanilla Queue - Basic Process, en esta se presentan los procesos para el segundo escenario, en cada uno de ellos se generan colas. En comparación el modelo experimental incluye 30 filas de espera, 9 más que en el modelo original.

Queue - Basic Process

	Name	Type	Shared	Report Statistics
1	Process 5. REVISION CONTENEDORES DESCARGADOS.Queue	First In First Out	☐	☑
2	Process 6. REVISION E EIR.Queue	First In First Out	☐	☑
3	Process descarga de camion en patio.Queue	First In First Out	☐	☑
4	TIEMPO PUERTA ACCESO.Queue	First In First Out	☐	☑
5	DESCARGA CAMION EXPO PATIO.Queue	First In First Out	☐	☑
6	Cargar contenedor impo en camion.Queue	First In First Out	☐	☑
7	TIEMPO PUERTA ACCESO 2.Queue	First In First Out	☐	☑
8	Tiempo salida camiones.Queue	First In First Out	☐	☑
9	Rev salida contenedores importacion.Queue	First In First Out	☐	☑
10	Allocate camion_tierra.Queue	First In First Out	☐	☑
11	Hold 1. BUQUE EN DESCARGA.Queue	First In First Out	☐	☑
12	Espera_cont_transb	First In First Out	☐	☑
13	Hold 2 BUQUE EN CARGA.Queue	First In First Out	☐	☑
14	Espera_ContExpoVacios	First In First Out	☐	☑
15	Allocate 3 camion.Queue	First In First Out	☐	☑
16	Allocate CAMION_IMP.Queue	First In First Out	☐	☑
17	Process carga cont a camion.Queue	First In First Out	☐	☑
18	Espera_ContExpoLlenos	First In First Out	☐	☑
19	Hold 2 BUQUE EN 3.Queue	First In First Out	☐	☑
20	Hold. BUQUE 4.Queue	First In First Out	☐	☑
21	Tomar muelle.Queue	First In First Out	☐	☑
22	Process. AUTORIZACION INICIO OPERACIONES 1.Queue	First In First Out	☐	☑
23	Tomar grua muelle p descarga 2.Queue	First In First Out	☐	☑
24	Tomar grua muelle p descarga 1.Queue	First In First Out	☐	☑
25	Process cargar conttransb a buque1.Queue	First In First Out	☐	☑
26	Process cargar conttransb a buque2.Queue	First In First Out	☐	☑
27	Hold 6.Recuperados_T_Queue	First In First Out	☐	☑
28	Hold 7.Recuperados_V_Queue	First In First Out	☐	☑
29	Hold 5. Recuperados_L_Queue	First In First Out	☐	☑
30	Leave 1. DESC BUQUE Y CARG CAMION.Queue	First In First Out	☐	☑

Figura 5.7. Queue - Basic Process modelo experimental.

Resource - Basic Process: Para el segundo escenario, dentro de la plantilla de procesos básicos uno de los elementos modificados fueron los *recursos*. En la terminal marítima y en cada uno de los cuatro subsistemas, los procesos son desarrollados por maquinaria o personal. En simulación los procesos operativos se realizan por medio de *recursos*, en el segundo modelo los recursos definidos son las autoridades, verificadores, capturistas, grúas de muelle y de patio, dichos elementos desarrollan las actividades operativas, en el proceso de carga/descarga se utilizan las *grúas de muelle*, en la inspección de contenedores el recurso responsable es el *verificador*, para el subsistema de puertas de acceso/salida el recurso asignado es el *capturista*. En la figura 5.8 se muestran los recursos utilizado en la simulación experimental, los recursos más importantes son: para el proceso de carga/descarga se añadieron dos grúas de muelle, en el proceso de almacenamiento de contenedores se agregaron cuatro grúas de patio. En comparación la etapa experimental presenta un total de 18 recursos, 9 más que en el modelo original.

Resource - Basic Process

	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	Failures	Report Statistics
1	Autoridades	Fixed Capacity	8	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
2	VERIFICADOR GRUA DE MUELLE	Fixed Capacity	8	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
3	Muelle_2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
4	Capturista_Entrada	Fixed Capacity	6	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
5	capturista_salida	Fixed Capacity	4	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
6	Grua_patio1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
7	Grua_patio2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
8	Grua_patio3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
9	Grua_patio4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
10	Grua_patio5	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
11	Grua_patio6	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
12	Grua_patio7	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
13	Grua_patio8	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
14	Grua_muelle1	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
15	Grua_muelle2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
16	Grua_muelle3	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
17	Grua_muelle4	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑
18	Muelle_2_2	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0	0 rows	☑

Figura 5.8. Resource - Basic Process modelo experimental.

Schedule - Basic Process: Tanto el arribo como la salida de mercancías vía terrestre en la terminal se rige bajo un horario de trabajo, siendo: de 7 - 21 horas de lunes a viernes y de 7 - 14 horas los días sábados. Se utiliza un *calendario* dentro de los procesos básicos para representar las llegadas de mercancías de exportación y la salida de contenedores de importación para el subsistema de puertas terrestres. Para desarrollar el calendario de trabajo del segundo escenario experimental se toma como base el calendario del modelo original,

aumentando su capacidad de arribos y salida de contenedores. Para representar un mayor número de llegadas y salidas de mercancía terrestre para el modelo experimental, el factor multiplicador para los valores del calendario de llegada terrestre fue aumentado al doble de la capacidad. En la figura 4.12 se muestra la ventana Schedule - Basic Process en la que se define el programa de entradas y salidas vía terrestre para un año, es importante mencionar que los resultados fueron los esperados (ambos modelos). En la figura 5.9 se presenta el calendario para seis días semanales durante un año, generado para el modelo experimental.

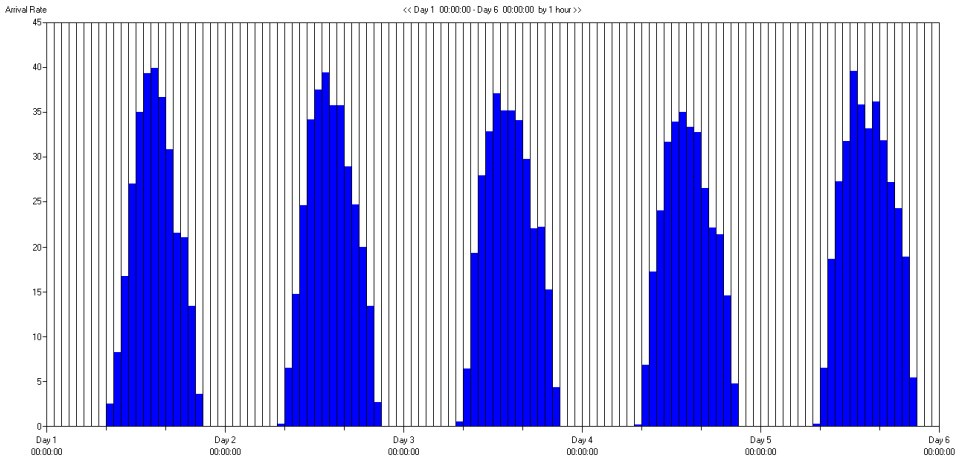


Figura 5.9. Calendario de arribo de mercancías de exportación y salida de importación, modelo experimental.

Set - Basic Process: Para el segundo escenario se crearon 15 diferentes grupos (sets) de recursos, de dos diferentes tipos: *Resource* y *Counter*. En la figura 5.10 se muestra la ventana *Set-Basic Process* en donde se visualizan tres columnas *Name*, *Type* y *Members*. En la columna *Name* se listan y nombran los 15 grupos, en la columna *Type* es seleccionado el tipo de set, en la columna *Members* se asigna la cantidad y se especifican únicos recursos incluidos en el respectivo grupo.

Set - Basic Process

	Name	Type	Members
1	Set_GruaPatio	Resource	8 rows
2	Set_GruaMuelle1	Resource	2 rows
3	Set_Muelle2	Resource	2 rows
4	No Cont A Descargar Rec	Counter	2 rows
5	Set_GruaMuelle2	Resource	2 rows
6	No cont a cargar llenos	Counter	2 rows
7	No cont a cargar transb	Counter	2 rows
8	No cont a cargar vacios	Counter	2 rows
9	cant encontro contllenos a cargar	Counter	2 rows
10	cant encontro conttrans a cargar	Counter	2 rows
11	cant encontro contVacios a cargar	Counter	2 rows
12	no cont cargados a buque	Counter	2 rows
13	Cont Trans desc buque	Counter	2 rows
14	Cont llenos desc buque	Counter	2 rows
15	Cont Vacios desc buque	Counter	2 rows

Figura 5.10. Set - Basic Process, modelo experimental.

La primera descripción corresponde a los grupos (sets) de recursos del tipo *Resource* mostrados en la figura 5.11. Cada diferente set es identificado con un número en color azul en la esquina superior izquierda que se relaciona con el listado de la figura 5.10. En el modelo experimental se utilizaron cuatro diferentes sets del tipo *resource*, estos son: (1) *Set_GruaPatio,* (2) *Set_GruaMuelle1*, (3) *Set_Muelle2* y (5) *Set_GruaMuelle2*. Los recursos específicos incluidos en cada uno de los sets se identifican en la figura 5.11.

(1)	Resource Name
1	Grua_patio1
2	Grua_patio2
3	Grua_patio3
4	Grua_patio4
5	Grua_patio5
6	Grua_patio6
7	Grua_patio7
8	Grua_patio8

(2)	Resource Name
1	Grua_muelle1
2	Grua_muelle2

(3)	Resource Name
1	Muelle_2
2	Muelle_2_2

(5)	Resource Name
1	Grua_muelle3
2	Grua_muelle4

Figura 5.11. Sets del tipo *Resource*, Set - Basic Process, modelo experimental.

La segunda descripción corresponde a los sets del tipo *Counter* mostrados en la figura 5.12. Cada diferente set es identificado con un número en color azul en la esquina superior izquierda, que se relaciona con el listado de la figura 5.10. En el modelo experimental se utilizaron once diferentes sets del tipo *Counter*, estos son: (4) *No Cont A Descargar Rec*, (6) *No cont a cargar llenos*, (7) *No cont a cargar transb*, (8) *No cont a cargar vacios*, (9) *cant encontro contllenos a cargar*, (10) *cant encontro conttrans a cargar*, (11) *cant encontro contVacios a cargar*, (12) *no cont cargados a buque*, (13) *Cont Trans desc buque*, (14) *Cont llenos desc buque*, (15) *Cont Vacios desc buque*. Los contadores específicos incluidos en cada uno de los sets se identifican en la figura 5.12.

(4)	Counter Name
1	1NoContADes
2	2NoContADes

(6)	Counter Name
1	1Nocontacargarllenos
2	2Nocontacargarllenos

(7)	Counter Name
1	1Nocontacargartransb
2	2Nocontacargartransb

(8)	Counter Name
1	1Nocontacargarvacios
2	2Nocontacargarvacios

(9)	Counter Name
1	1cantencontrocontllenosacargar
2	2cantencontrocontllenosacargar

(10)	Counter Name
1	1cantencontroconttransacargar
2	21cantencontroconttransacargar

(11)	Counter Name
1	1cantencontrocontVaciosacargar
2	2cantencontrocontVaciosacargar

(12)	Counter Name
1	1nocontcargadosabuque
2	2nocontcargadosabuque

(13)	Counter Name
1	1ContTransdescbuque
2	2ContTransdescbuque

(14)	Counter Name
1	1ContLlenosdescbuque
2	2ContLlenosdescbuque

(15)	Counter Name
1	1ContVaciosdescbuque
2	2ContVaciosdescbuque

Figura 5.12. Sets de recursos del tipo *Counter*, Set - Basic Process, modelo experimental.

Distance - Advanced Transfer: La plantilla *Distancia – Advanced Transfer* se utiliza para asignar distancias a los tres diferentes transportes definidos en el modelo de simulación experimental, estos son:

Para cada uno de los diferentes transportes se definió una distancia de recorrido específica, las cuales comienzan en una estación inicial (posición) y terminan en una estación final. En la parte superior de la figura 5.13 se muestra la ventanilla *Distance - Advanced Transfer*, en la cual se observan los tres diferentes transportes. En la parte inferior se visualizan los recorridos realizados para cada transporte y se relacionan por medio de flechas en color azul. Comparando ambos modelos de simulación, el modelo experimental presentó 50 distancias más que el modelo original, es decir el transporte *Camion* realiza un mayor número de recorridos, debido al aumento de la capacidad portuaria.

Distance - Advanced Transfer

	Name	Stations
1	CAMION_TIERRA.Distance	14 rows
2	CAMION_IMP.Distance	20 rows
3	CAMION.Distance	92 rows

(1)

	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	sPuerta_EntradaExpo	station2A	323
2	sPuerta_EntradaExpo	station2B	481
3	sPuerta_EntradaExpo	station1C	800
4	sPuerta_EntradaExpo	station2C	742
5	sPuerta_EntradaExpo	station5C	100
6	sPuerta_EntradaExpo	station6C	900
7	station2A	sPuerta_SalidaExpo	154
8	station2B	sPuerta_SalidaExpo	296
9	station1C	sPuerta_SalidaExpo	475
10	station2C	sPuerta_SalidaExpo	470
11	station5C	sPuerta_SalidaExpo	600
12	station6C	sPuerta_SalidaExpo	550
13	sPuerta_EntradaExpo	sPuerta_SalidaExpo	50
14	sPuerta_SalidaExpo	sPuerta_EntradaExpo	50

(2)

	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	sPuerta_EntradaImpo	station3A	295
2	sPuerta_EntradaImpo	station3B	453
3	sPuerta_EntradaImpo	station3C	693
4	sPuerta_EntradaImpo	station4A	266
5	sPuerta_EntradaImpo	station4B	419
6	sPuerta_EntradaImpo	station4C	670
7	station3A	sPuerta_SalidaImpo	128
8	station3B	sPuerta_SalidaImpo	271
9	station3C	sPuerta_SalidaImpo	442
10	station4A	sPuerta_SalidaImpo	118
11	station4B	sPuerta_SalidaImpo	260
12	station4C	sPuerta_SalidaImpo	430
13	sPuerta_EntradaImpo	sPuerta_SalidaImpo	50
14	sPuerta_SalidaImpo	sPuerta_EntradaImpo	50
15	sPuerta_SalidaImpo	station3A	1
16	sPuerta_SalidaImpo	station3B	1
17	sPuerta_SalidaImpo	station3C	1
18	sPuerta_SalidaImpo	station4A	1
19	sPuerta_SalidaImpo	station4B	1
20	sPuerta_SalidaImpo	station4C	1

(3)

	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	s1Muelle_Descarga	station1A	520
2	s1Muelle_Descarga	station1B	623
3	s1Muelle_Descarga	station3A	747
4	s1Muelle_Descarga	station3B	924
5	s1Muelle_Descarga	station3C	2040
6	s1Muelle_Descarga	station4A	851
7	s1Muelle_Descarga	station4B	1015
8	s1Muelle_Descarga	station4C	1805
9	station1A	s1Muelle_Descarga	870
10	station1B	s1Muelle_Descarga	1316
82	s1Muelle_Descarga	station2C	1
83	s1Muelle_Descarga	station5C	1
84	s1Muelle_Descarga	station6C	1
85	s2Muelle_Descarga	station1A	1
86	s2Muelle_Descarga	station1B	1
87	s2Muelle_Descarga	station2A	1
88	s2Muelle_Descarga	station2B	1
89	s2Muelle_Descarga	station1C	1
90	s2Muelle_Descarga	station2C	1
91	s2Muelle_Descarga	station5C	1
92	s2Muelle_Descarga	station6C	1

Figura 5.13. Distance - Advanced Transfer, modelo experimental.

Advanced Set - Advanced Process: Otro elemento en sufrir cambios en el segundo modelo de simulación fue el de *grupos avanzados* en la plantilla de *Advanced Set – Advanced Process*. Se definieron cinco grupos de almacenes para cada tipo de mercancías. Para los contenedores de importación del tipo llenos corresponde el *Set_Llenos*, para los transbordos se asignó el *Set_Transbordos* y para vacíos el *Set_Vacios*. Para los contenedores de exportación del tipo

llenos se definió el *SetExpoLlenos* y para los vacíos el *SetExpoVacios*. En la parte superior izquierda de la figura 5.14 se presenta la ventanilla *Advanced Set - Advanced Process* donde se enumeran los cinco almacenes, por medio de flechas se muestran los almacenes que corresponden a cada set.

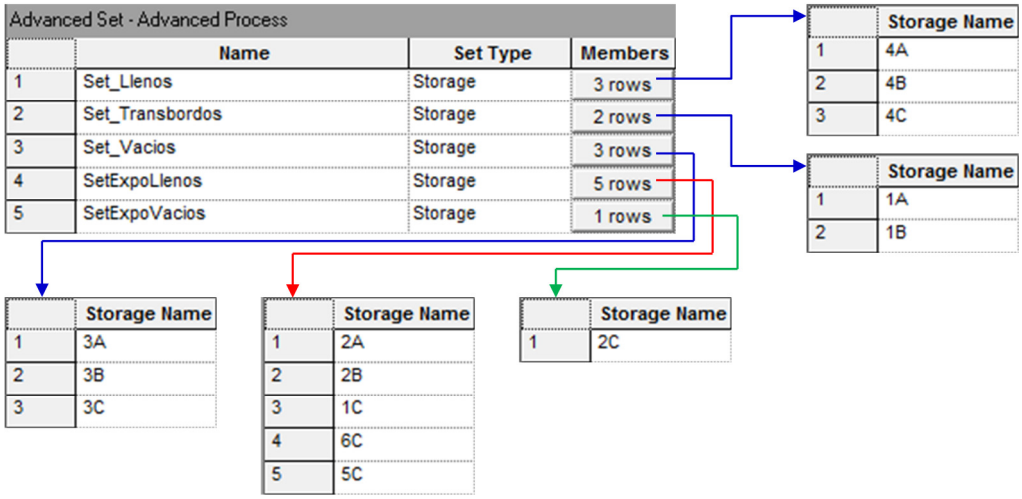


Figura 5.14. Distance - Advanced Transfer, modelo experimental.

5.3. Animación del modelo experimental de simulación

Como ya se mencionó en el punto 4.5 la animación en simulación tiene por objeto proporcionar una visión gráfica del modelo generado bajo condiciones dinámicas, con la finalidad de analizar el comportamiento de la programación lógica desde el punto de vista de la animación.

Para desarrollar el segundo escenario de simulación o modelo experimental de la terminal marítima, fue necesario adaptar el plano de las instalaciones portuarias y a las nuevas especificaciones hechas por las autoridades, su asesoría y opinión fue fundamental para lograr que la propuesta de la nueva distribución operativa fuera aceptada. El primer paso a realizar fue la adaptación del puerto a las nuevas áreas operativas, como primera etapa se incrementó en 300 metros la longitud del muelle para la atención de buques portacontenedores, dando como resultado 600 metros de frente de atraque. Como segunda etapa se aumentó la capacidad del almacenamiento de contenedores de importación y exportación en los patios de la terminal. Una vez concluido el nuevo plano, se consultó su aprobación a las autoridades del puerto obteniendo su consentimiento. En la figura 5.24 se presenta una vista superior en el programa

AutoCad de la nueva distribución operativa del puerto, en la figura 4.28 se muestra el plano real del puerto, con la finalidad de visualizar los cambios propuestos.

La etapa de animación del modelo experimental de la terminal marítima inicio con la creación en AutoCad de un nuevo ambiente operativo bajo condiciones actualmente inexistentes en el puerto, es decir, la adaptación a un segundo muelle de carga/descarga y a mayores áreas de almacenamiento de contenedores, lo que se resume como la visión del nuevo escenario de simulación denominado *aumento de capacidad operativa de la terminal marítima.*

La finalidad de su desarrollo es aumentar la capacidad de atención a embarcaciones pasando de una a dos naves atendidas y servidas en tiempos simultáneos, independientemente del tipo de buque del que se trate. Siendo una terminal de usos múltiples (TUM) proporciona servicios a embarcaciones de carga general como trigo, mineral y chatarra, siendo su principal actividad el movimiento de contenedores. Dicha situación ocasiona retrasos en la cadena de transporte internacional, eleva los costos operativos e impide el crecimiento de la organización, debido principalmente a que posee la capacidad de atención solo para un buque, siendo la terminal menos atractiva ante nuevos mercados.

Para la animación del segundo escenario se utilizó el plano propuesto, siendo exportado desde AutCad hacia Arena Rockwell por medio de la herramienta *Insert New Object*, hecho lo anterior la fase de animación comienza. Se inició asignando 14 almacenes de exportación e importación para contenedores del tipo llenos, transbordos y vacíos. Una mayor cantidad de recursos fueron animados; cuatro grúas operativas de carga/descarga en muelle, ocho grúas de patio para la segregación de mercancías. Se definieron tres tipos de trasporte, el primero para movimientos internos entre las áreas de muelle y patio, el segundo para la recogida de contenedores de importación y el tercero para la recepción de exportación. En total se definieron 126 rutas para los recorridos del transporte entre puertas de acceso/salida, muelles y áreas operativas. Se representó la atención operativa para dos buques portacontenedores, uno atendido en el actual muelle y el segundo servido en muelle ampliación. Se crearon un total de 22 estaciones operativas, dos en mar para los movimientos de traslado de buques, cuatro para las operaciones de carga/descarga en muelle siendo dos destinadas para cada embarcación,

cuatro más en puerta de acceso/salida de mercancías de exportación e importación y las 14 restantes utilizadas en la recepción de contenedores en los almacenes de patios. Se animó además una cola para representar a las embarcaciones que se encuentran fuera del puerto a espera de ser atendidas.

En la figura 5.25 se presenta una vista superior de la animación del modelo experimental de simulación. Al comparar las figuras 4.29 y 5.25 se es posible visualizar los cambios entre la animación del modelo original y experimental.

Al concluir el modelo experimental se solicitó a las autoridades portuarias su revisión, para determinar los resultados que esperan observar en el escenario *aumento de capacidad operativa*, dicho de otra manera, se consultó a los expertos de la terminal marítima para determinar la serie de valores para los diferentes indicadores operativos evaluados en vista de un futuro desarrollo del puerto, con los aumentos en longitud del muelle de carga/descarga y el incremento en capacidad del almacén de contenedores en patios. Dichos parámetros se presentan en las tablas 5.6 - 5.13, en estas se presentan los indicadores portuarios obtenidos a través del modelo experimental.

La figura 5.16 tiene correspondencia con la tabla 5.6, la figura 5.17 se relaciona con la tabla 5.7, la figura 5.18 coincide con la tabla 5.8 y la figura 5.19 con la tabla 5.9; en las figuras antes mencionadas se grafican los resultados de simulación obtenidos en el modelo experimental con la representación operativa para dos embarcaciones. En las figuras 5.16 a la 5.19 la barra en color negro de la gráfica representa a *Buque 1*, la barra en color gris claro se refiere a *Buque 2*, por último la barra en color azul significa la suma *Total* de movimientos entre *Buque 1* y *Buque 2*. El comportamiento observado en tablas como en gráficas es correspondiente a un aumento al doble de la capacidad operativa, por lo tanto los resultados son aceptados por las autoridades portuarias como por el investigador.

La figura 5.20 se relaciona con el indicador número *17* denominado *Número de buques atendidos* de la tabla 5.11; la barra en color negro de la gráfica corresponde a los resultados de *Buque 1*, la barra en color gris a *Buque 2*, en color azul se suman los valores de *Buque 1* y

Buque 2 para representar el *Total de embarcaciones atendidas en año*. La conducta entre resultados modelados es aceptada por autoridades e investigador.

La figura 5.21 corresponde a los indicadores *18*, *19*, *20*, *21*, *22* y *23* de la tabla 5.11, en todos los casos se observa un comportamiento de resultados al doble de capacidad. La figura 5.22 coincide con los datos de la tabla 5.12, se observa un comportamiento entre los indicaros de grúas con incrementos en capacidad para el modelo experimental. La figura 5.23 coincide con los datos de la tabla 5.13 la barra en color azul corresponde a los resultados obtenidos en el modelo de simulación experimental, el comportamiento de los indicadores modelados para el subsistema de puertas representa aumentos en capacidad portuaria respecto a las condiciones actuales.

Al inicio del capítulo seis son mencionadas las inquietudes de las propias autoridades portuarias al visualizar un futuro crecimiento y la poca investigación encontrada sobre puertos marítimos en México.

5.4. Determinación del factor de incremento para aumentar la demanda de buques

Como se mencionó, el objetivo de desarrollar el modelo experimental de simulación es incrementar los servicios operativos de la terminal marítima. Los resultados conseguidos en el escenario *aumento de capacidad* respecto al modelo actual, fue aumentar al doble la capacidad operativa en los procesos de:

- Llegada de buques portacontenedores a la terminal marítima.
- Descarga/carga de contendores sobre buque.
- Almacenamiento de contenedores en patio.
- Procesos de puertas de acceso y salida de mercancías.
- Servicios de carga/descarga portuarios.

Específicamente para el proceso de recepción/atención de embarcaciones, la capacidad actual de la terminal es de solo un buque atendido. Al desarrollar el modelo experimental es representado el aumento de la capacidad operativa del puerto, pasando de una a dos

embarcaciones servidas simultáneamente. En las tablas 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11 son analizados los resultados de simulación obtenidos a partir del modelo experimental.

En las actuales condiciones y como se mencionó en la tabla 4.24, la terminal marítima atendió *265* buques en el año 2011, en el modelo de simulación actual (original) fueron servidas *272.96* buques. El tiempo real de espera promedio por buque antes de recibir atención en muelle es de *1.45* horas, en el modelo actual se obtuvo un tiempo de espera por buque de *1.37* horas, contando solo con una posición de atraque.

En el modelo experimental, la expresión para el indicador *llegada de buques al puerto* fue modificado para lograr recibir un mayor número de navíos, en dicha expresión se utilizó el factor de *2.00* como denominador, obteniendo como resultado la atención de *537.69 buques servidos anualmente*, *279.59 en muelle 1* y *258.10 en muelle ampliación*. Se obtuvo un tiempo promedio de espera por buque antes de recibir atención de *0.33 horas* contando con dos posiciones de atraque.

En el modelo experimental se atiende un *97.17%* más de buques en comparación con el *servicio real proporcionado a embarcaciones en el año 2011*. Comparando los resultados entre ambos modelos de simulación *(actual y experimental)*, en el escenario experimental son atendidos un *96.98%* más de barcos que en el modelo actual. La información anterior fue obtenida al comparar las tablas 4.24 y 5.12.

Para definir el factor denominador se hicieron pruebas de simulación para el modelo experimental, este fue corrido en 19 diferentes ocasiones a 51 réplicas; para cada corrida se modificó el factor denominador, después de las distintas ejecuciones solo fue aceptado el factor denominar 2.00, siendo el único valor con el cual los diferentes procesos tanto marítimos como terrestres no son afectados, con esté se logra un ajuste al doble de capacidad en el modelo experimental, con lo anterior la demanda de buques se incrementa en un *97.17%* y el tiempo de espera de navíos para tomar muelle se reduce en un 76%.

La figura 5.15 se refiere al gráfico *Tiempo de espera de buques para tomar muelle*, en el eje *y* se considera el tiempo de espera por buque para recibir atención en muelle, el eje *x* se refiere al factor denominador con que fue corrido el modelo para determinar la demanda de buques, en la parte inferior del eje *x* se indica el comportamiento de la demanda en términos de porcentaje correspondiente al factor indicado.

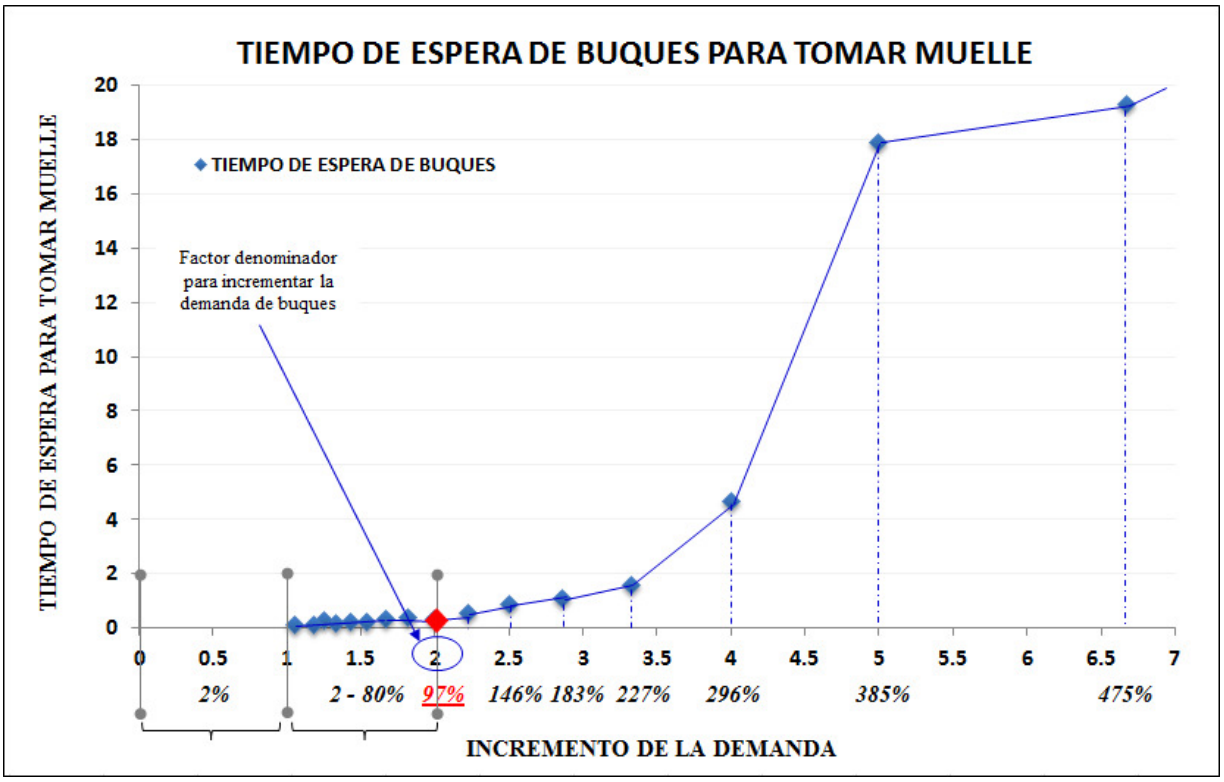


Figura 5.15. Comportamiento del tiempo de espera de buques para tomar muelle conforme a su demanda.

Tabla 5.6. Resultados proceso de descarga del modelo experimental.

RESULTADOS MODELADOS PROCESO DE DESCARGA					
			Resultados Modelo Experimental		
No	Indicador	Unidad	Buque 1	Buque 2	Total
1	Total de contenedores descargados de buque	Ud	44504.49	45104.47	89608.96
2	Contenedores llenos descargados de buque	Ud	17355.53	17587.31	34942.84
3	Contenedores transbordos descargados de buque	Ud	3550.43	3614.31	7164.74
4	Contenedores vacíos descargados de buque.	Ud	23598.53	23902.85	47501.38

Tabla 5.7. Resultados proceso de carga del modelo experimental.

RESULTADOS MODELADOS PROCESO DE CARGA					
			Resultados Modelo Experimental		
No	Indicador	Unidad	Buque 1	Buque 2	Total
5	Total de contenedores cargados a buque	Ud	42503.76	42674.59	85178.35
6	Contenedores llenos cargados a buque	Ud	32600.29	32790.36	65390.65
7	Contenedores de transbordos cargados a buque	Ud	3649.58	3623.89	7273.47
8	Contenedores vacíos cargados a buque	Ud	6253.89	6260.34	12514.23

Tabla 5.8. Resultados proceso de exportación del modelo experimental.

RESULTADOS MODELADOS PROCESO DE EXPORTACIÓN					
			Resultados Modelo Experimental		
No	Indicador	Unidad	Buque 1	Buque 2	Total
9	Total de contenedores de exportación	Ud	44647.07	41212.68	85859.75
10	Contenedores llenos de exportación	Ud	37200.98	34339.36	71540.34
11	Contenedores vacíos de exportación	Ud	7446.09	6873.32	14319.41

Tabla 5.9. Resultados proceso de importación del modelo experimental.

RESULTADOS MODELADOS PROCESO DE IMPORTACIÓN					
			Resultados Modelo Experimental		
No	Indicador	Unidad	Buque 1	Buque 2	Total
12	Total de contenedores de importación	Ud	42118.98	40305.65	82424.63
13	Contenedores de importación llenos	Ud	17849.88	17081.39	47493.65
14	Contenedores de importación vacíos	Ud	24269.26	23224.39	

Tabla 5.10. Indicadores de contenedores en patio de almacenamiento modelo experimental.

RESULTADOS MODELADOS INDICADORES PATIO				
No	**Indicador**	**Unidad**	**Resultados Modelo Experimental**	**Total**
15	Contenedores promedio en patio	Ud	7280.55	7280.55
16	Tiempo promedio de estancia de contenedores	Día	11.62	10.75

Tabla 5.11. Indicadores de buque modelo experimental.

RESULTADOS MODELADOS INDICADORES BUQUE					
			Resultados Experimentales		
No	**Indicador**	**Unidad**	**Buque 1**	**Buque 2**	**Total**
17	Número de buques atendidos	Ud	279.59	258.10	537.69
18	Tiempo de operación de buques	Hora	8.52	8.94	
19	Tiempo espera buques para ser atendidos (HRS)	Hora	0.31	0.35	
20	Tiempo de atraque de buque (MIN)	Min	35.02	35.18	
21	Tiempo de autorización de operaciones	Min	25.01	25.38	
22	Tiempo de desatraque de buque	Min	15.06	15.69	
23	Número de buques esperan atención en muelle	Ud	1.02	—	

Tabla 5.12. Indicadores de patio modelo experimental.

RESULTADOS MODELADOS INDICADORES DE PATIO				
No	**Indicador**	**Unidad**	**Resultados Modelo Experimental**	**Total**
24	Tiempo carga contenedor sobre camión en patio	Min	1.42	1.42
25	Tiempo descarga contenedor desde camión en patio	Min	1.20	1.20
26	Tiempo revisión de contenedores	Min	0.62	0.62
27	Tiempo cargar contenedores a buque	Min	2.01	2.01

Tabla 5.13. Indicadores de puertas de acceso y salida de contenedores modelo experimental.

RESULTADOS MODELADOS INDICADORES DE PUERTAS				
No	**Indicador**	**Unidad**	**Resultados Modelo Experimental**	**Total**
28	Tiempo de acceso a contenedores en puerta	Min	0.95	0.95
29	Tiempo de salida a contenedores en puerta	Min	0.60	0.60

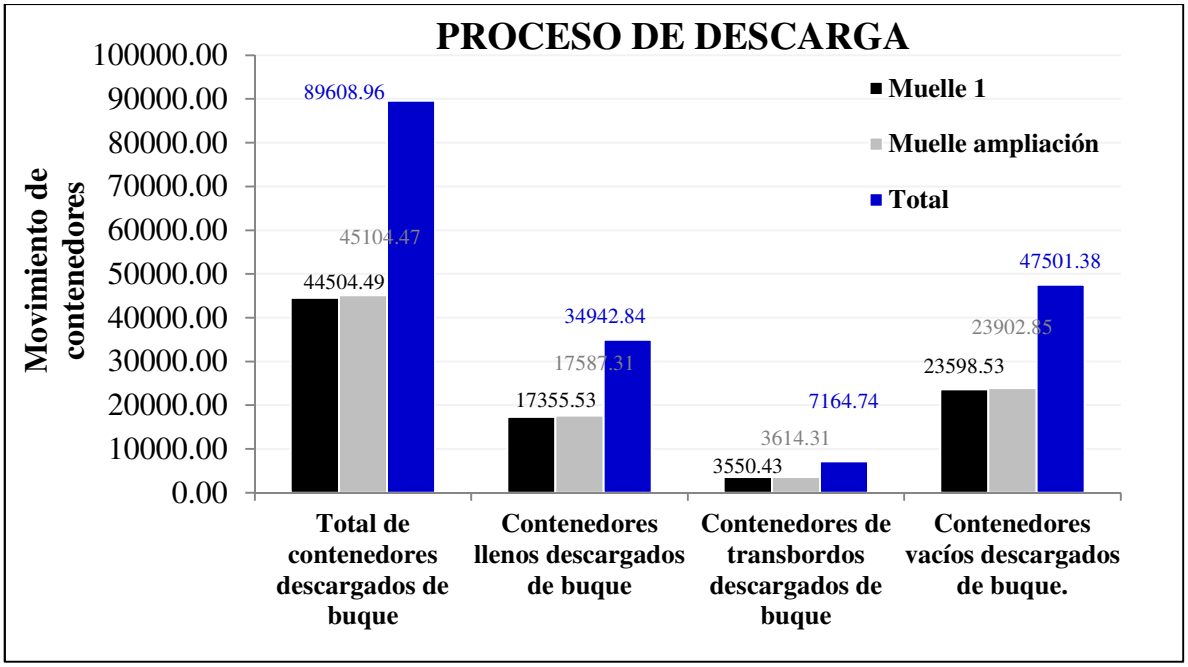


Figura 5.16. Proceso de descarga resultados experimentales.

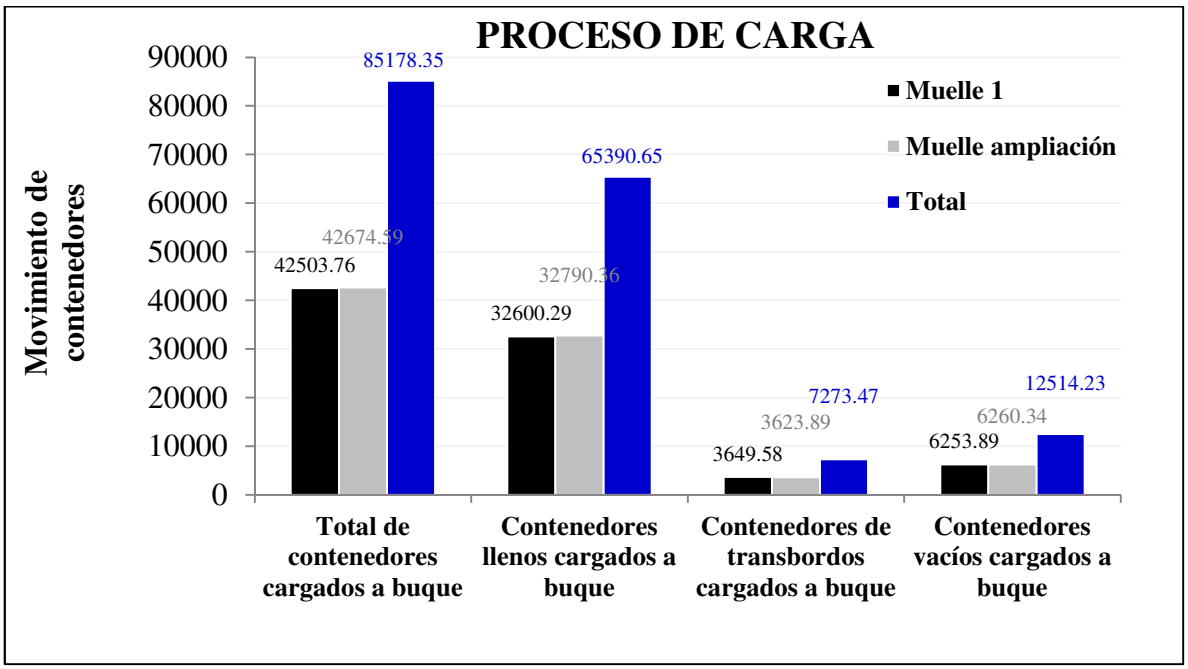


Figura 5.17. Proceso de carga resultados experimentales.

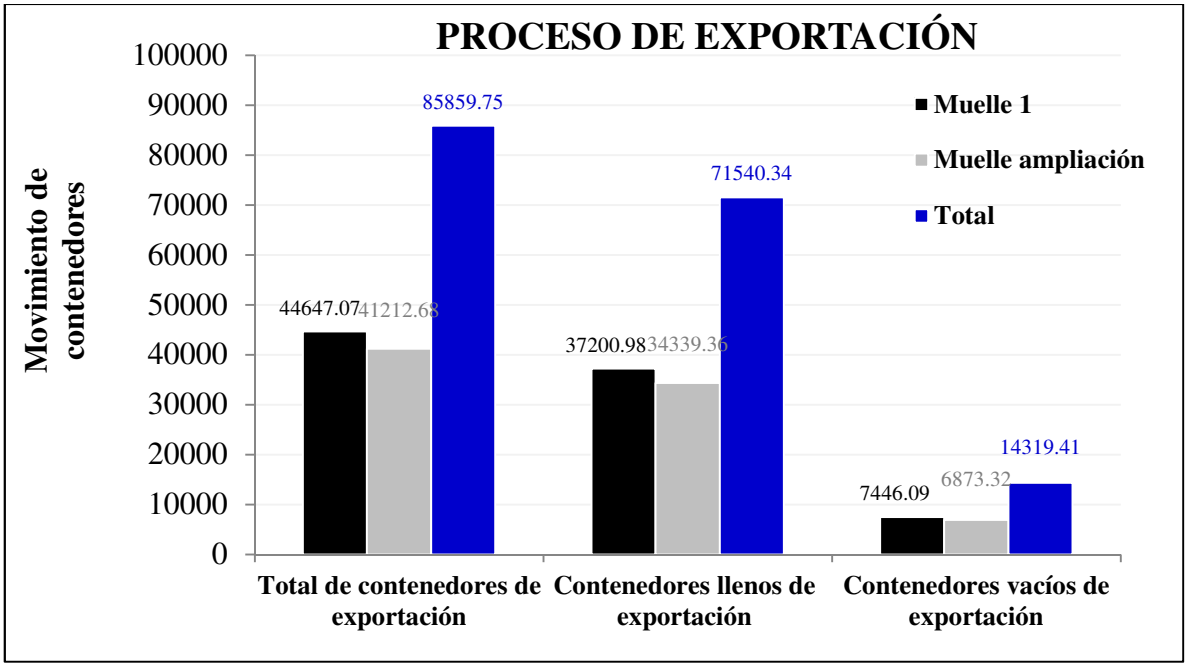


Figura 5.18. Proceso de exportación resultados experimentales.

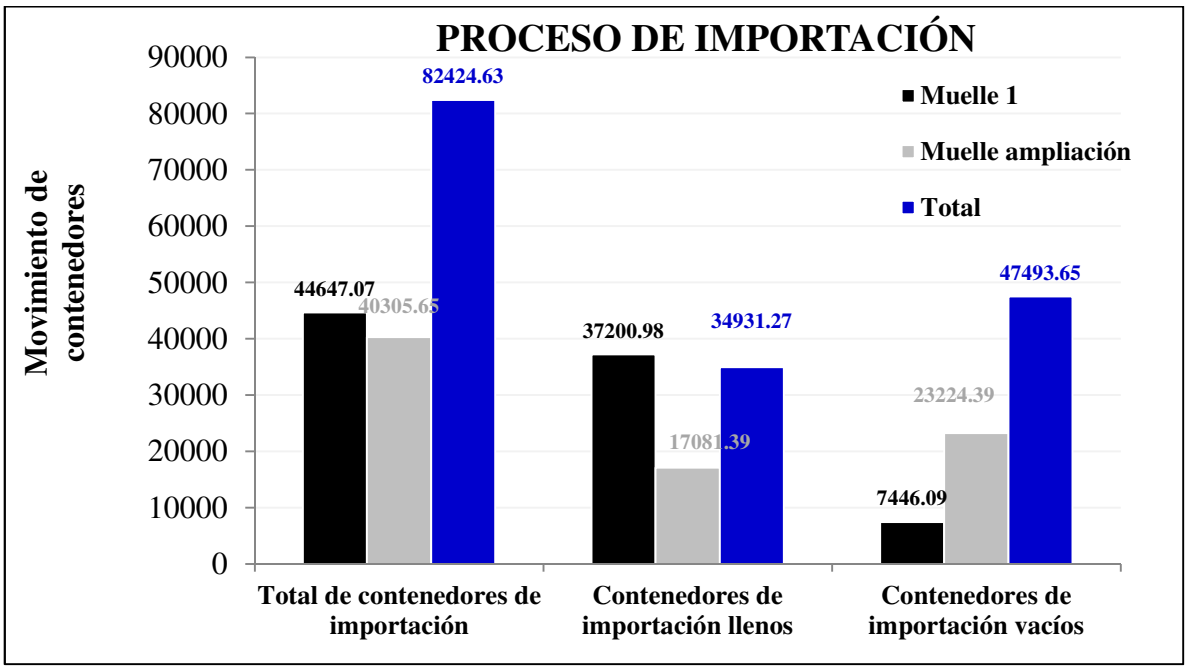


Figura 5.19. Proceso de importación resultados experimentales.

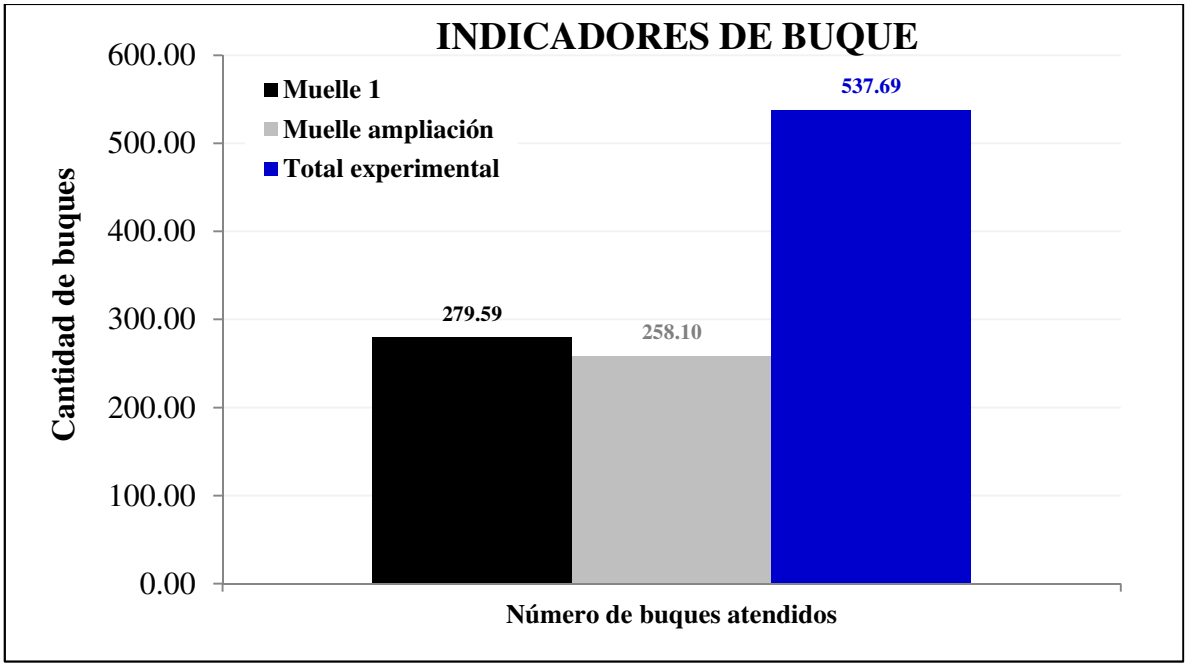


Figura 5.20. Indicadores de atención a buques modelo experimental.

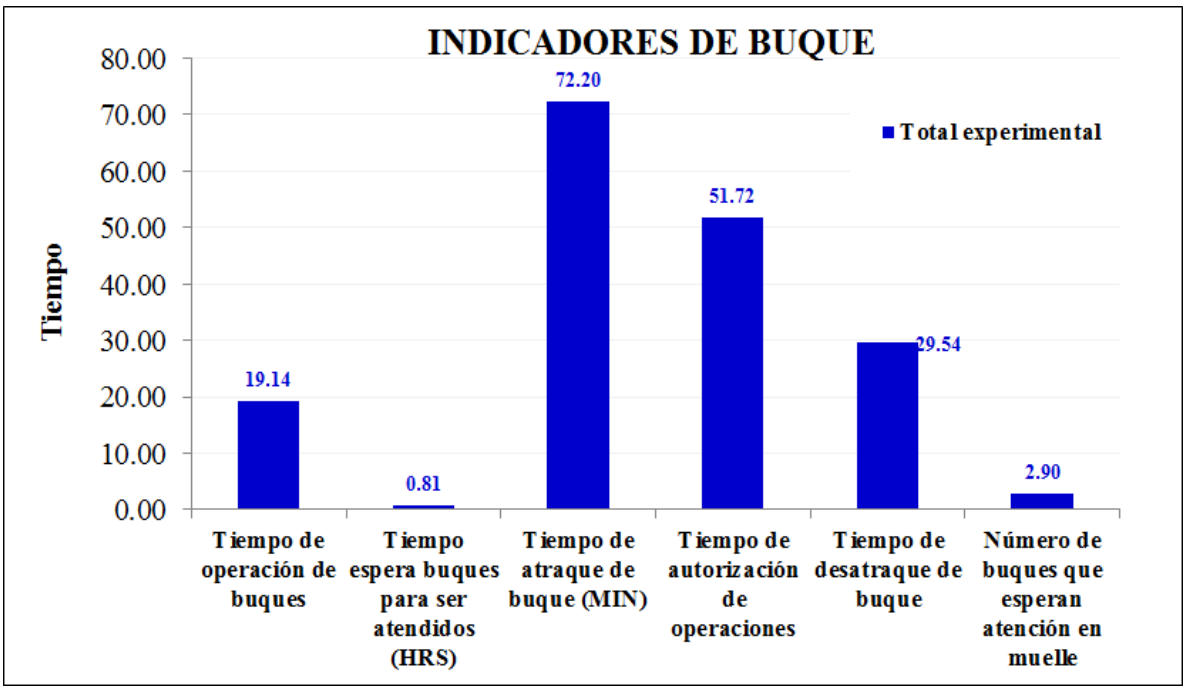


Figura 5.21. Indicadores de buque modelo experimental.

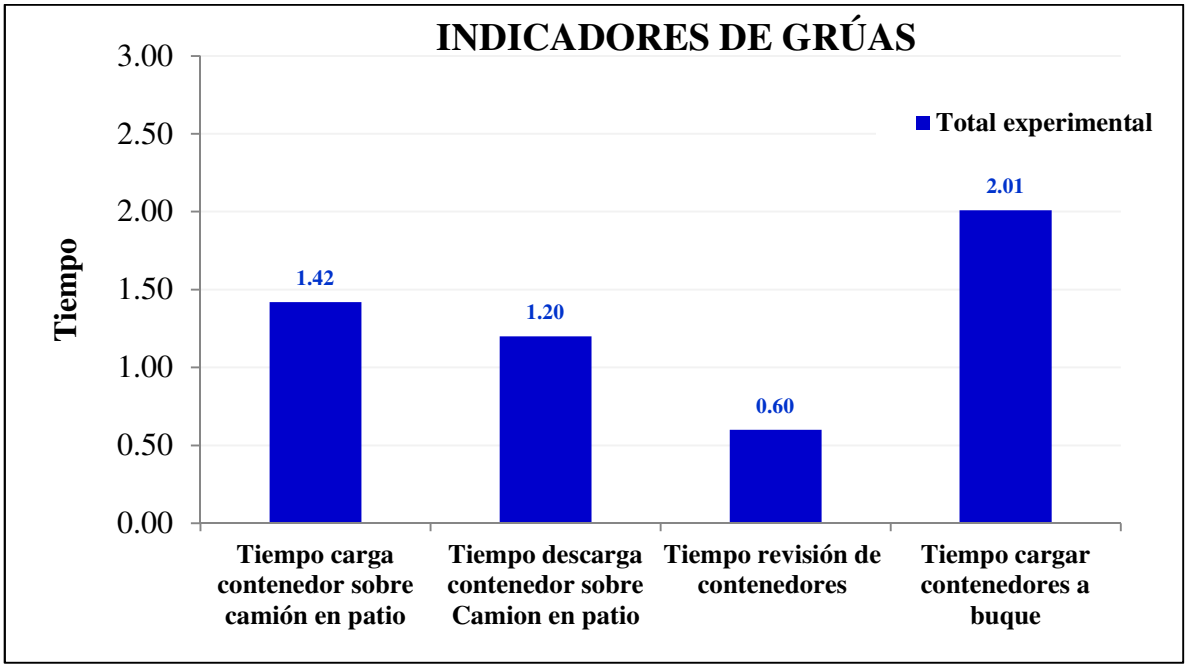


Figura 5.22. Indicadores de grúas modelo experimental.

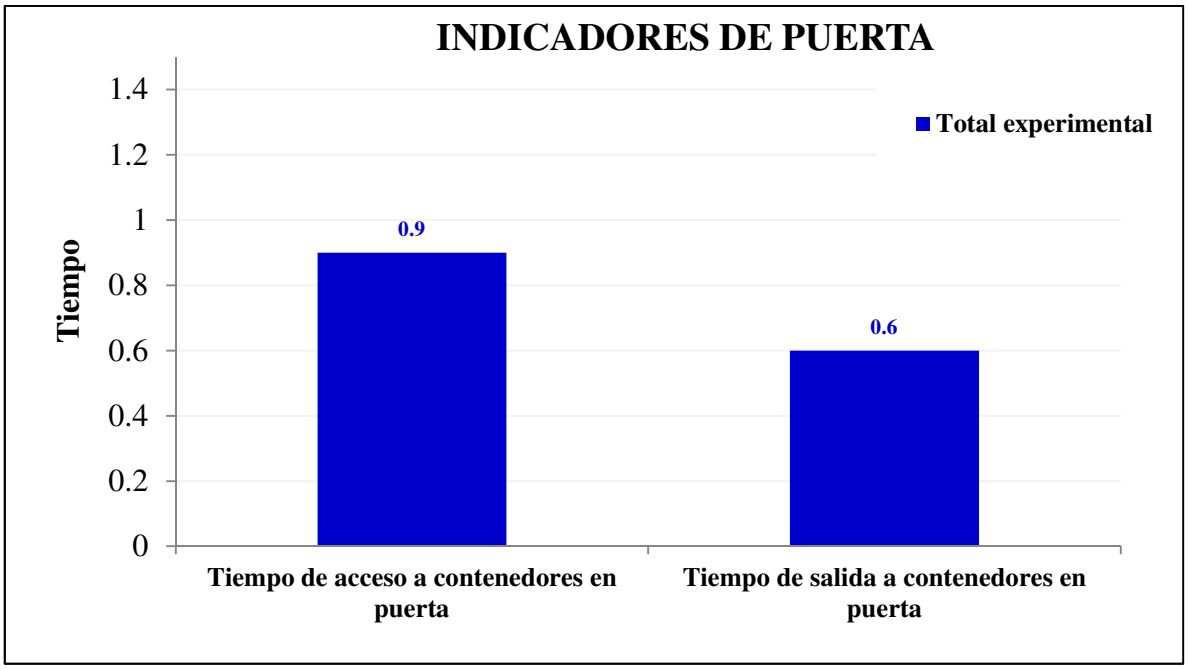


Figura 5.23. Indicadores de puerta modelo experimental.

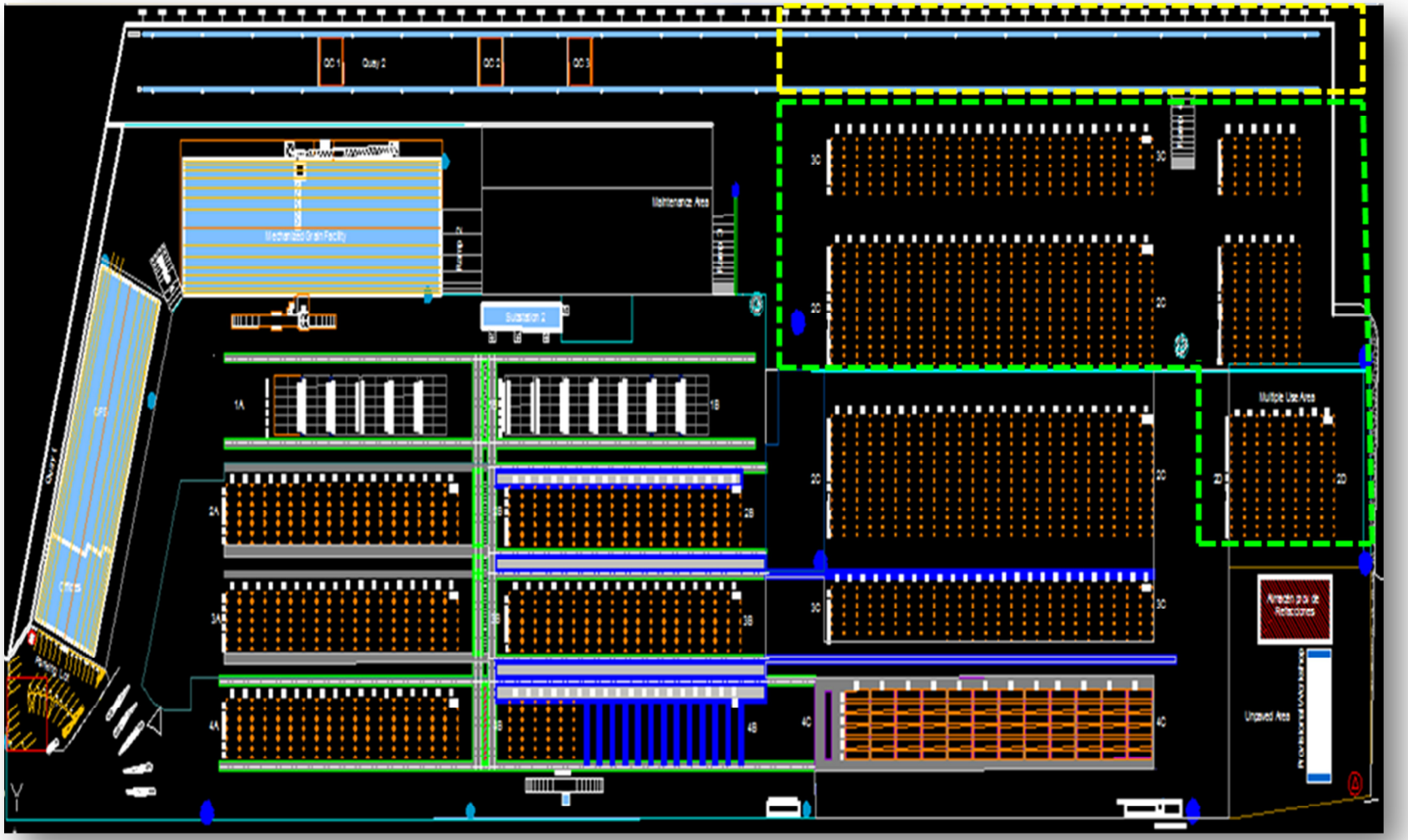


Figura 5.24. Vista superior operativa propuesta en software AutoCad.

Nota: las líneas punteadas en color amarillo representan el incremento en longitud del muelle de carga/descarga, en color verde se observa el aumento de capacidad para el área almacenamiento de contenedores en patios.

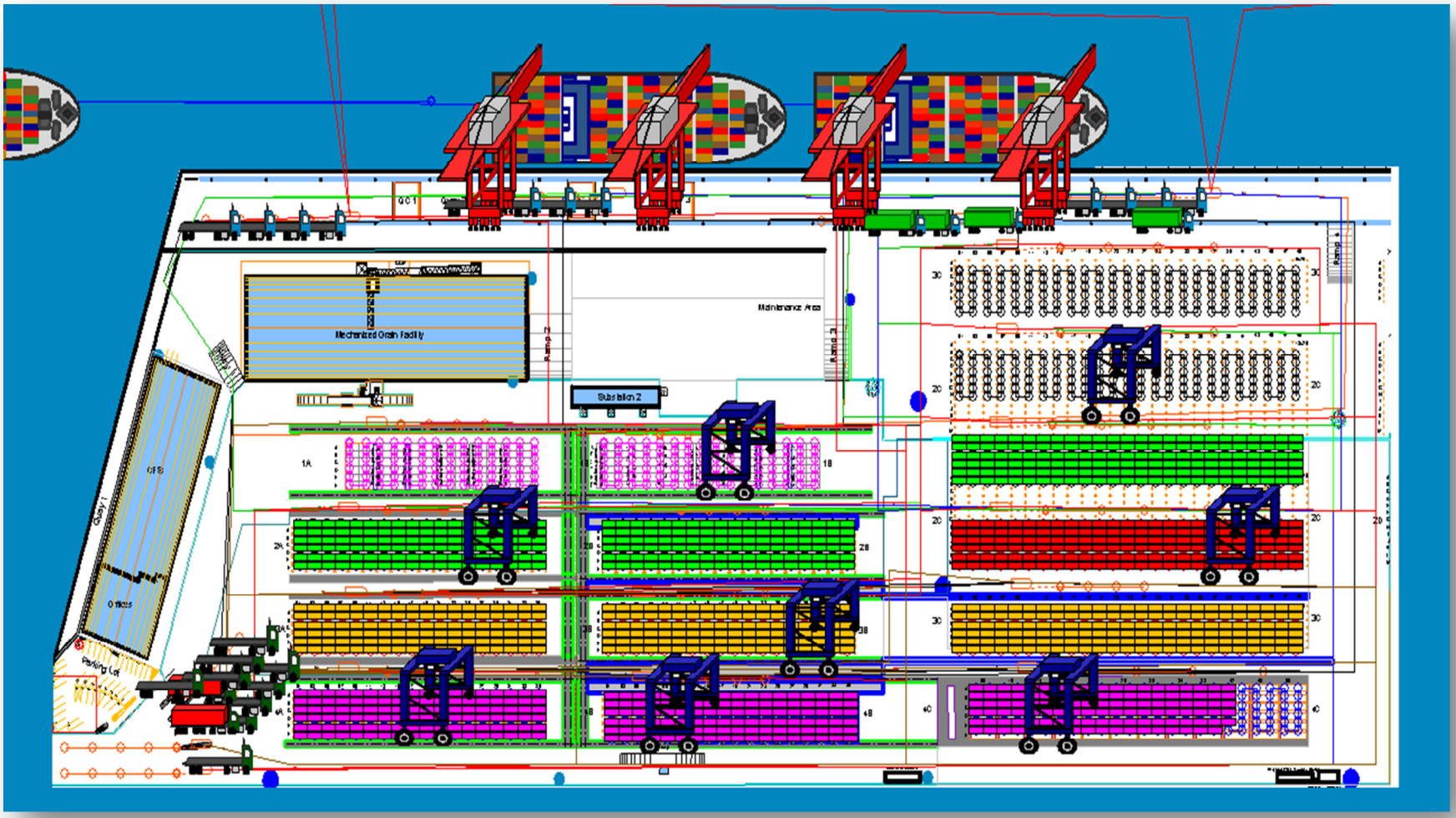


Figura 5.25. Vista de la animación del modelo experimental de simulación.

CAPÍTULO 6

Análisis entre los modelos de simulación original y experimental

En este capítulo seis se realiza un análisis comparativo entre los modelos de simulación original y experimental, al incrementar el muelle de atraque de buques portacontenedores pasando de una a dos embarcaciones atendidas simultáneamente.

En las figuras 6.1 y 6.2 se muestran las gráficas comparativas entre resultados de ambos modelos de simulación. En ambas gráficas del capítulo 6, el color azul se refiere al resultado específico que hace referencia al modelo de simulación original o actual. El color naranja en la gráfica se refiere al *modelo experimentla1*, represando el promedio del tiempo de espera de buques para ser atendidos entre *Muelle 1* y *Muelle ampliación*, los resultados obtenidos a partir del modelo de simulación experimental determinan la nueva capacidad portuaria.

En la actualidad la terminal marítima brinda servicios operativos solo a una embarcación, en la propuesta de mejora o modelo experimental del puerto, es posible atender a dos buques en un mismo instante.

6.1. Tiempo de espera de buques para ser atendidos

La figura 6.1 es generada a partir de las tablas 4.24 y 5.11, en ella se compara el indicador de muelle denominado *tiempo de espera de buques para ser atendidos*. El tiempo promedio de espera de buques para ser atendidos actual en la terminal marítima es de 1.45 horas, el tiempo obtenido a partir del modelo de simulación original es de 1.37 horas. El resultado derivado a partir de la simulación refleja que el tiempo de espera considerando dos posiciones de atraque *Muelle 1* y *Muelle ampliación* se reduce en un 76% considerando dos posiciones de atraque. Los beneficios que se conseguirían son distintos, pero el principal es el aumento de la capacidad operativa de la terminal marítima, convirtiéndose en un puerto más atractivo ante nuevos mercados al obtener *incrementar en un 100% la capacidad de atención a embarcaciones* y al *disminuir en más de un 70% el tiempo de retraso en la cadena de transporte internacional* ocasionado por la espera de buques para ser atendidos.

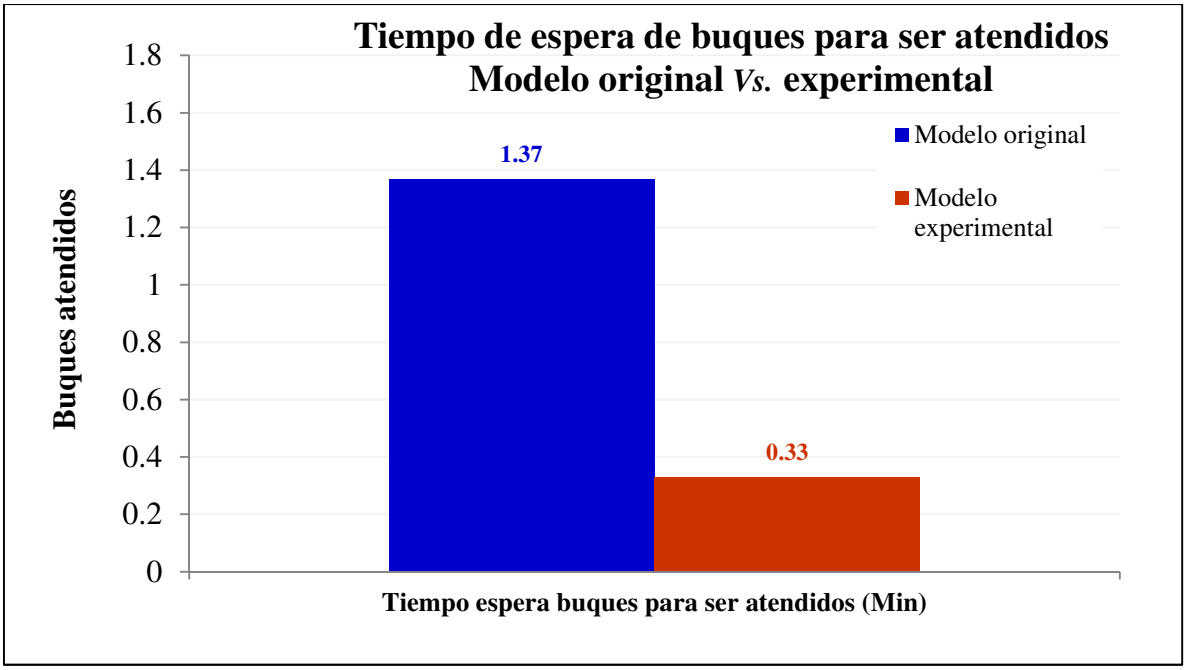


Figura 6.1. Tiempo de espera de buques paras ser atendidos, comparativa entre modelo original y experimental.

6.2. Tiempo de operación de buque

La figura 6.2 es generada a partir de las tablas 4.24 y 5.11, en ella se compara el indicador de buque llamado *tiempo de operación de buques*. Para el *modelo original* el tiempo promedio de un buque en operación es de *9.54 horas*. Para el modelo experimental se obtuvo un promedio de operación por embarcación de *8.73 horas*. A través de la simulación podemos determinar que el comportamiento para el tiempo de atención a buques disminuye, lo que beneficia en tiempos y capacidad de atención a embarcaciones.

6.3. Capacidad de atención a buques

En la figura 6.3 se demuestra la capacidad de atención a buques ofrecida en el año 2011, la capacidad real en dicho periodo fue de *265 embarcaciones atendidas*, la capacidad generada a partir de del modelo simulación original fue de *272.96 naves servidas*. En el modelo experimental se representa atención a *537.69 barcos*, *279.59 en muelle 1* y *258.10 en muelle ampliación*. Para el escenario experimental respecto a la realidad se obtiene un *97% más de embarcaciones atendidas en comparación con el modelo original*.

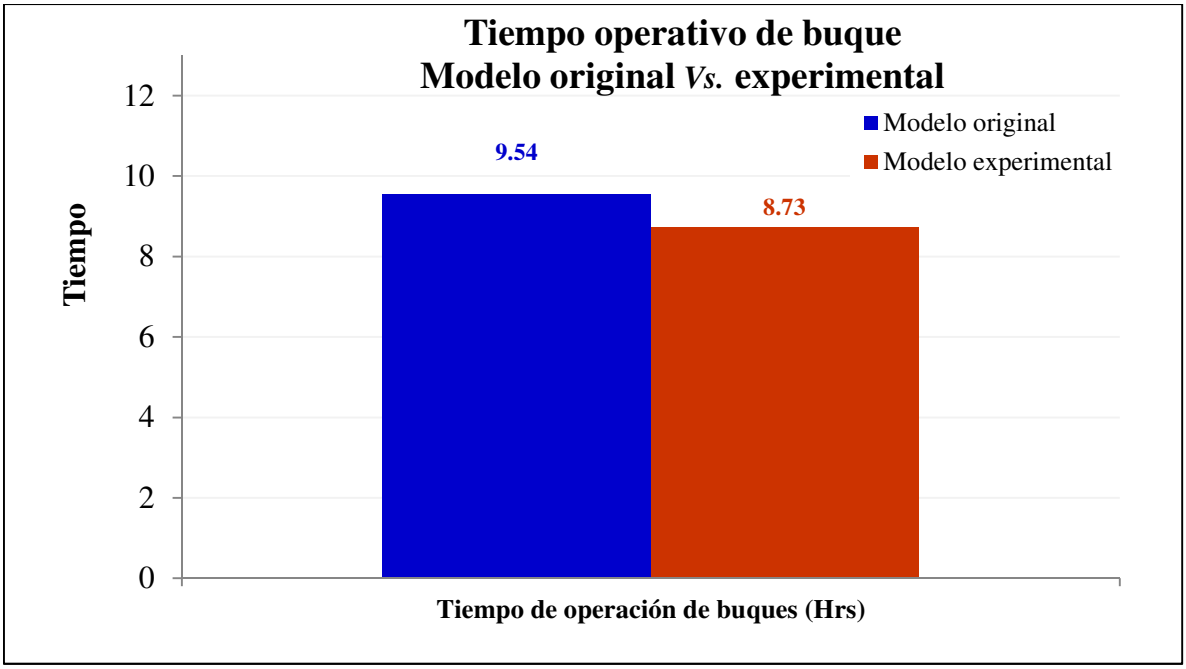


Figura 6.2. Indicadores de buque, comparativa entre modelo original y experimental.

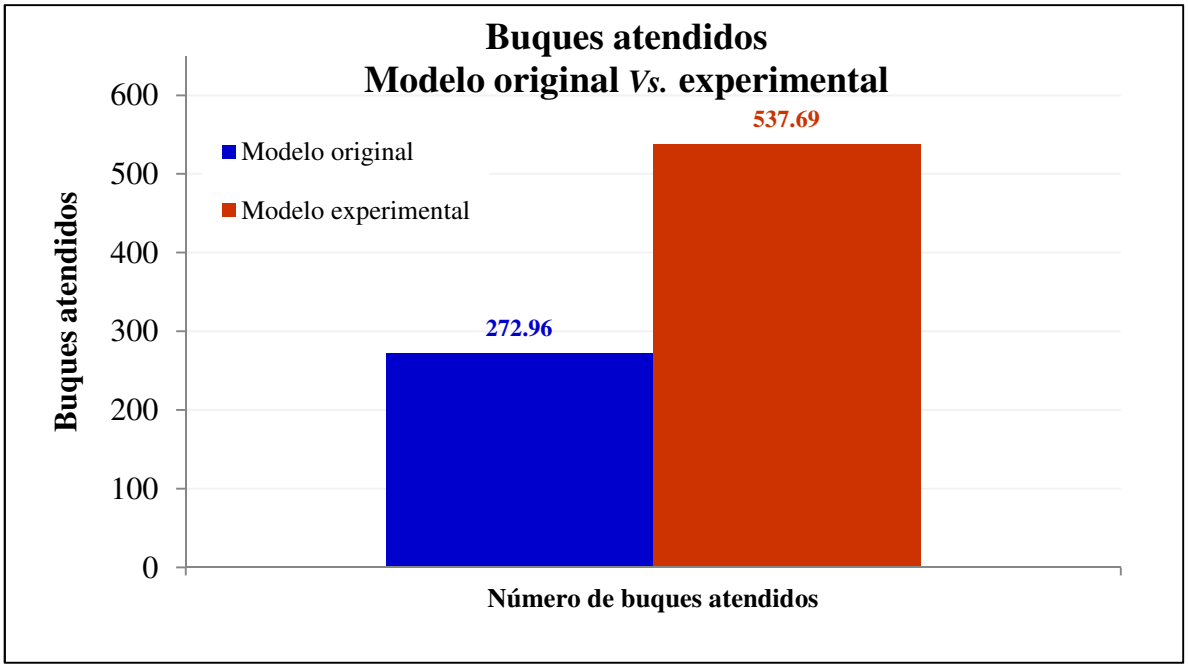


Figura 6.3. Capacidad de atención a buques portacontenedores para el modelo original y experimental.

CAPÍTULO 7

Conclusiones

La investigación desarrollada en este proyecto se enfoca en la aplicación de las técnicas de simulación y modelado a una *terminal marítima de contenedores (TMC)* mexicana. Las TMC son centros logísticos e intermodales donde se realiza el intercambio de mercancía contenerizada entre el transporte marítimo y terrestre. Las principales actividades que se ejecutan en las terminales son: prestar servicios operativos de carga y descarga de contenedores, almacenamiento de los mismos, entrega y recepción de mercancías de exportación e importación a diferentes medios de transporte, teniendo por finalidad desarrollarlas de una manera económica, rápida, y segura. La especialidad de las terminales marítimas es, proporcionar atención operativa a grandes buques portacontenedores, estos son el principal medio de transporte a nivel mundial utilizado para movilizar mercancía contenerizada, más del 85% del comercio internacional se transporta vía marítima, en México más del 80% de las mercancías son manipuladas en puertos marítimos. Por lo anterior, las terminales de contenedores son un importante eslabón en la cadena logística de países desarrollados y subdesarrollados, son fundamentales para el desarrollo del comercio internacional y presentan un factor de crecimiento operativo anual del 9.8%.

El gobierno mexicano considera a los puertos marítimos como pilares del desarrollo comercial por su amplia conexión con los mayores centros de consumo en América y resto del mundo. México es un amplio territorio costero, posee una ubicación geoestratégica privilegiada dentro de los océanos pacífico y atlántico, al situarse en las rutas marítimas comerciales más importantes. A pesar de todas las ventajas comerciales y geográficas los puertos mexicanos no figuran entre los más importantes del mundo, el puerto de Manzanillo en el estado de Colima durante años registra el índice más alto en tráfico nacional de mercancías, pero se ubica muy por debajo de los mayores puertos a nivel internacional, debido a que el comercio en el país presenta un crecimiento moderado, además el desarrollo portuario nacional es poco a falta de inversiones públicas y privadas.

Aplicar las técnicas de simulación en terminales marítimas no es una tarea sencilla, su desarrollo requiere una gran cantidad de tiempo dedicado, la forma de abordar un problema es muy diferente en cada proyecto, no sigue una metodología estándar ya que los diversos autores presentan su propios métodos, ellos concluyen que la simulación es más cercana a un arte que una ciencia. Para los trabajos de investigación en puertos marítimos con vinculación educativa es de vital importancia que las autoridades muestren interés durante el proceso de aplicación, de lo contrario, es muy difícil establecer un acercamiento. Poseer conocimientos y experiencia sobre las operativas portuarias facilita la investigación y permite hacer inferencias durante el desarrollo del estudio.

El objetivo del estudio de simulación fue representar el comportamiento operativo y experimental de la TUM a través del software Arena Rockwell, el desarrollo del proyecto sigue una serie de pasos metodológicos, gracias a ello es posible concluir las etapas más importantes de la investigación, estas son:

Modelado conceptual. Se definieron los objetivos y problemática del proyecto de simulación aplicado a la terminal marítima de contenedores del puerto de Ensenada, México. Se prosiguió con la construcción del diseño conceptual, fue una etapa complicada debido a la inexistencia de guías metodológicas para su desarrollo. El modelo conceptual del proyecto se considera óptimo ya que la información recabada fue un respaldo durante todo el proceso de programación del modelo de simulación portuario a través del software Arena Rockwell.

En específico el modelo conceptual de la investigación fue relevante para construir el modelo de simulación, ya que al describir sus procesos, desarrollar diagramas de flujo operativos, diagramas globales y definir los elementos de simulación, facilitó la comprensión de las actividades portuarias y el desarrollo del modelo. En la etapa conceptual se establecieron por escrito los elementos que se utilizaron durante la construcción de la simulación, como son: entidades, atributos, variables globales, recursos, colas de espera, eventos, expresiones, entradas y salidas del modelo.

Se concluye que la etapa de diseño conceptual desarrollada para este proyecto, es considerada una fiel representación documental sobre el comportamiento operativo de la terminal marítima de contenedores. Es una base importante y se consolida como una guía relevante durante la construcción del modelo de simulación por computadora, además de proporcionar una constante orientación sin permitir que el objetivo de la investigación se pierda.

Colección y tratamientos de los datos. La obtención de un buen modelo conceptual y la comprensión de las actividades portuarias desarrolladas facilitaron la colección de los datos de entrada . Para este proyecto, la etapa de colección y tratamiento de los datos fue la etapa que presentó mayor complicación y la cual requirió la mayor cantidad de tiempo invertido para su conclusión. Inició convenciendo a los responsables de la empresa para que los datos identificados en registros históricos de las distintas áreas operativas fueran facilitados, se concluye; inclusive a que los datos entrada encontrados en registros históricos son escasos, estos fueron valiosos y relevantes.

Finalizado el primer paso, se realizó una investigación de campo para obtener los datos no identificados en registros históricos, esta etapa tuvo una duración de catorce meses, fueron analizados los procesos de carga/descarga, almacenamiento de contenedores, transporte externo/interno y puertas acceso/salida de contenedores. Se utilizaron distintos métodos de colección como la observación directa, medición de tiempos, ayudas visuales y entre otros, se diseñaron instrumentos que facilitaron la colección datos para un posterior tratamiento.

Al término de la colección de datos de entrada inicia una etapa de tratamiento estadístico de la información, se concluye que los datos recabados para construir y diseñar el modelo de simulación son veraces.

Construcción del modelo. La guía para construir el modelo de simulación en el software Arena Rockwell fue el diseño conceptual, la retroalimentación de las autoridades y la experiencia propia del investigador. Si bien, no es la etapa que presenta la mayor cantidad de tiempo consumido, pero, es la más delicada. Requiere una gran atención a los detalles, como repetidos intentos para programar el comportamiento operativo del puerto. La simulación de la

terminal se divide en cinco secciones que logran facilitar la comprensión del modelo, denominadas: recepción/partida de buques, descarga/almacenamiento de contenedores, recepción/almacenamiento de mercancías de exportación, despacho de mercancías de importación y carga de contenedores sobre buque. La construcción inicio con la formulación de un pequeño modelo comprobando en cada paso el funcionamiento de las instrucciones, con el pasar del tiempo y al agregar condicionantes el modelo fue de mayor volumen y requirió mucho más detalle. Se desarrolla además la animación de la terminal marítima, siendo satisfactoria para los fines del estudio y para las autoridades portuarias.

Verificación y validación. Una vez que la construcción preliminar del modelo concluyó inicia la etapa de verificación, en ella se comprobó que la simulación se comporta conforme a las especificaciones del modelo conceptual, del modelador y de las autoridades. Para verificar su correcto funcionamiento se analizó mediante la revisión de los reportes de simulación generados por Arena Rockwell, inicialmente la información arrojada no se ajustó a los parámetros previos establecidos, por lo que fue necesario revisar la programación del modelo en búsqueda de errores para corregirlos. Comprobado lo anterior, se analizó la animación del modelo, se concluye que esta última se comporta conforme al sistema real.

Después de la verificación, continua la etapa de validación, esta consiste en comprobar estadísticamente que el modelo de simulación se comporta de igual forma que al sistema real, para ello se compararon los reportes de simulación en contra de los indicadores reales de la terminal marítima. Se estableció un porcentaje de error permitido $\leq$ 10%. En el modelo original los resultados son considerados satisfactorios, debido a que en todos los indicadores analizados el porcentaje de error fue inferior al 10%.

Análisis. Se concluye que el modelo de simulación original es una representación valida y real del sistema portuario de la terminal marítima de contenedores. La etapa de análisis consistió en experimentar con el modelo inicial obtenido, en el experimento se ajustan los cambios necesarios para desarrollar el segundo escenario de simulación denominado *aumento de capacidad operativa*, basado en las necesidades expresadas por las autoridades.

Para cada una de las etapas anteriores, como son, el diseño conceptual, colección - tratamiento de los datos y programación del modelo; estas consumieron tiempos considerables y requirieron dedicación para su culminación. Los resultados obtenidos para el modelo original de la terminal marítima son tanto relevantes como satisfactorios, con ello se comprueba que la herramienta de simulación de procesos es versátil en su aplicación. Inclusive, al hecho de no encontrar trabajos de investigación implementados en otras terminales marítimas de contenedores mexicanas, por lo tanto se concluye que la simulación es una nueva técnica favorable para el progreso portuario.

Como se mencionó anteriormente el objetivo de construir el primer modelo de simulación portuario u original fue representar el comportamiento operativo de la terminal marítima través del software Arena Rockwell. Con el modelo de simulación original obtenido fue posible identificar y desarrollar propuestas de mejora a los procesos logísticos de la terminal marítima antes de iniciar la etapa experimental, propiciando soluciones a problemas de congestión previo a una futura expansión operativa.

Etapa experimental. Se construyó un segundo modelo se simulación experimental , en el cual la capacidad de recepción de buques portacontenedores en la terminal marítima es incrementada en un *96%* respecto a las condiciones reales, pasando de una a dos embarcaciones atendidas simultáneamente, el tiempo de espera de buques disminuyo en un *76%,* dichas actividades se desarrollan en un muelle de carga/descarga de *600 metros de longitud*. Por regla general portuaria, al crecer el área de atraque (muelle) la capacidad de almacenamiento de contenedores en patios aumenta.

Para los procesos portuarios terrestres la capacidad fue incrementada para la etapa experimental en un orden del *100%*. Se definieron nuevas áreas de segregación de mercancías, debido al crecimiento en capacidad operativa, fue necesario simular un mayor número de maquinaria y equipo para lograr satisfacer la nueva demanda operativa. Se concluye, al término de la etapa experimental es posible proponer mejoras en diversos procesos logísticos, para el transporte portuario interno – externo, distribución de áreas, estrategias de almacenamiento, solución a problemas de congestión, todas ellas podrán ser evaluadas mediante la simulación experimental.

Por lo anterior, se concluye, que es relevante activar los puertos nacionales existentes con tecnología moderna, ampliaciones, corredores viales y con nuevas construcciones, siendo la simulación de procesos una poderosa herramienta que facilita la medición del impacto de nuevos proyectos.

Se considera que es importante aplicar las técnicas de simulación y modelado a procesos portuarios debido principalmente a que en México no se ha encontrado evidencia bibliográfica de estudios implementados, solo se han identificado trabajos exitosos aplicados en el extranjero, demostrando que su estudio aporta muchos beneficios en el desarrollo de los puertos.

Posiblemente transcurrirá un largo tiempo para que otro proyecto de simulación de procesos sobre terminales marítimas de contenedores nacionales sea aplicado y publicado, debido principalmente a que los puertos son celosos de sus procesos operativos, un proyecto de este tipo requiere mucha información sobre los métodos de trabajo portuarios, además de ser costoso.

Referencias bibliográficas

[1] Matthew E.H. Petering. Transportation Research. Part E. 47. 2011. 85–103.

[2] Panagiotis Angeloudis. Michael G.H. Bell. Transportation Research Part E. 46. 2010. 354–366.

[3] Wenjuan Zhao. Anne V. Goodchild. Transportation Research Part E. 46. 2010. 327–343.

[4] Etsuko Nishimura. Akio Ima. Stratos Papadimitriou. Transportation Research Part E. 41. 2005. 53–76.

[5] Jing-Xin Dong. Dong-Ping Song. Transportation Research Part E. 45. 2009. 860–877.

[6] Raghav Pant. Kash Barker. Hank Grant. Thomas Landers. Transportation Research Part E. 47. 2011. 722-737.

[7] Byung Kwon Lee. Kap Hwan Kim. Transportation Research Part E. 46. 2010. 120–135.

[8] Hossein Jula. Anastasios Chassiakos. Petros Ioannou. Transportation Research Part E. 42. 2006. 43–60.

[9] S. Saurí. E. Martín. Transportation Research Part E. 47. 2011. 1038–1057.

[10] Nils Boysen. Malte Fliedner. Michael Kellner. Transportation Research Part E. 46. 2010. 1005 – 1016.

[11] Junliang He. Daofang Chang. Weijian Mi. Wei Yan. Transportation Research Part E. 46. 2010. 136–155.

[12] Pierre Arnold. Dominique Peeters. Isabelle Thomas. Transportation Research Part E. 40. 2004. 255–270.

[13] Morteza Pourakbar. Andrei Sleptchenko. Rommert Dekker. Transportation Research Part E. 45. 2009. 39–49.

[14] Matthew E.H. Petering. Transportation Research Part E. 45. 2009. 591–610.

[15] Sönke Hartmann. Transportation Research Part E. 51. 2013. 17–27.

[16] Garro A. Russo W. Simulation Modelling Practice and Theory. 18. 2010. 1453–1467.

[17] Fernández Ledesma, J. D. Ceballos Castillos, J. A. y Restrepo, E. D. Aplicación de una propuesta de guía metodológica para un caso de simulación discreta en el sector del servicio automotriz, caso específico: Euro autos Ltda.-Renault Minuto", en Revista Memorias, 9. 15. 2011. 41-54.

[18] Shyshou A. European Journal of Operational Research. 203. 2010. 230 – 240.

[19] Cortes P. Simulation Modelling Practice and Theory. 15. 2007. 256–271.

[20] Zhuo Sun. Loo H. Ek P. Kok C. Advanced Engineering Informatics. 26. 2012. 80–89.

[21] Parola P. Sciomachen A. International Journal of Production Economics. 97. 2005. 75–88.

[22] Matthew P. Transportation Research Part E. 45. 2009. 591–610.

[23] Won Y. Yong S. International Journal of Production Economics. 59. 1999. 221–230.

[24] Bielli M. European Journal of Operational Research. 175. 2006. 1731–1751.

[25] Longo F. International Journal of Production Economics. 125. 2010. 272–283.

[26] Kwon L. Hwan K. OR Spectrum. 35. 2001. 636 – 398.

[27] Kleijnen J. European Journal of Operational Research. 82. 1995. 145–162.

[28] Douglas L. Transportation Research Part E. 47. 2011. 669-680.

[29] Stewart Robinson. Simulation: The Practice of Model Development and Use. John Wiley & Sons Ltd. Primera edición. Chichester, Inglaterra. 316. 2004.

[30] Hamdy Taha. Investigación de operaciones, una introducción. Representaciones y servicios de ingeniería, S.A. Segunda edición. México D.F. 647. 1981.

[31] Stewart Robinson. Journal of the Operational Research Society. 59. 2008. 278 –290.

[32] Kathy Kotiadis. Stewart Robinson. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference. 2008. 951 – 958.

[33] Pace DK. Ideas about simulation conceptual model development. Johns Hopkins APL technical digest. 21. 2000. 327-336.

[34] Stewart Robinson. Journal of the Operational Research Society. 59. 2008. 291 – 304.

[35] David Kelton. Randall Sadowski. David Sturrock. Simulación con software Arena. Mc Graw Hill Interamericana. Cuarta edición. México D.F. 631. 2008.

[36] Eduardo García Dunna. Heriberto García Reyes. Leopoldo Eduardo Cárdenas Barrón. Simulación y análisis de sistemas con ProModel. Pearson Educación de México. S.A. de C.V. Primera edición. México. 270. 2006.

[37] Osman Balci. Proceedings of the Winter Simulation Conference. 1997. 135 – 141.

[38] Robert G. Sargent. Proceedings of the Winter Simulation Conference. 2001. 106 – 114.

[39] Antoni Guasch. Miquel Ángel Piera. Josep Casanavas. Juame Figueroas. Modelado y simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios. Alfaomega grupo editor S.A. de C.V. Primera edición. México D.F. 358. 2005.

[40] http://www.enseit.com/ES/ES.html. Ensenada International Terminal S.A, de C.V.visitado en octubre 2013.

[41] Cuauhtémoc Anda Gutiérrez. Nuevos puertos mexicanos. Grupo Noriega editores. Primera edición. México D.F. 364. 1999.

[42] W. Dave Kelton. Randall P. Sadowski. David T. Sturrock. Simulación con software Arena. McGraw-Hill/Interamericana editores S.A. de C.V. Cuarta edición. México D.F. 633. 2008.

[43] Lawrence Henesey, Paul Davidsson, and Jan A. Persson. Agent based simulation architecture for evaluating operational policies in transshipping containers. Springer-Verlag. Berlín Heidelberg. LNAI4196. 2006. 73-85.

[44] López A. Medina S.V. et. al. Congreso Internacional de Investigación Academia Journal. Chiapas México. Volumen 4, No. 2. 2012. Pg.1642 - 1647. ISSN 1946-5351.

[45] Iris F.A. Vis, Rene de Koster. Transshipment of containers at a container terminal: An overview. European Journal of Operational Research. 147. 2003. 1–16.

[46] Shannon, R.E. (1975) *Systems Simulation: the Art and Science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

[47] S. C. Ward. Arguments for Constructively Simple Models. The Journal of the Operational Research Society. Published by: Palgrave Macmillan Journals on behalf of the Operational Research Society. Vol. 40, No. 2 (Feb., 1989), pp. 141-153.

[48] Shannon, R. E. Introduction to the art and science of simulation. Winter simulation conference. 1998. pp. 7–14.

[49] Michael Pidd. Just Modeling Through: A Rough Guide to Modeling. Institute for Operations Research and the Management Sciences. 0092-2102/99/2902/0118. 1999. 118-132.

[50] Indicadores de productividad para la industria portuaria, aplicación en América Latina y el Caribe. Publicación de las Naciones Unidas. Primera edición. Santiago de Chile. 2006. pp. 76.

[51] Michael Pidd. Tools for Thinking: Modelling in Management Science. John Wiley and Sons Segunda edición. Ltd. Chichester England. 332. 2003.

[52] Niebel W. Benjamin. Frievals Andri. Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. McGraw-Hill/Interamericana editores S.A. de C.V. Duodécima edición. México D.F. 586. 2009.

[53] Jerry Banks. Handbook of Simulation: Principles, methodology, advances, applications and practice. Jhon Wiley & sons. 1st edition. United States of America. 849. 1998.

[54] W. David Kelton. Randall P. Sadowski. David T. Sturrock. Simulation con arena. McGraw-Hill Interamericana. Cuarta edición. México, D.F. 631. 2008.

[55] Banks J. Carson S. Jhon. Nelson R. B. Nicol M. David. Discrete – Event system simulation. Prentice – Hall, Inc. Third Edition. New Jersey USA. 594. 2001.

[56] Programa Maestro de Desarrollo Portuario. 2006 – 2011. Administración Portuaria Integral S.A. de C.V.

[57] Programa Maestro de Desarrollo Portuario. 2012 – 2017. Administración Portuaria Integral S.A. de C.V.

[58] Plan Nacional de Infraestructura y Desarrollo. 2007 – 2012. Presidencia de la República. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos 2007. ISBN 978-970-734-184-5.

[59] Carlos Martner. Puertos pivotes en México: límites y posibilidades. Revista de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2002.

[60] Alejandro Guerrero. César Rivera. México: cambio en la productividad total de los principales puertos de contenedores. Revista de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2009.

[61] Padilla y Sotelo, Lilia Susana. Puertos de México geoestratégicos y espacios clave. Una aproximación desde la perspectiva geográfica. Revista Transporte y Territorio, Nº 3. Universidad de Buenos Aires. pp. 124-144. 2010.

ANEXO 1

LISTADOS DE DATOS DE ENTRADA Y MÉTRICOS

1.1. Listado de datos de entrada a recolectar para subsistemas portuarios

Tabla 1.1. Datos de entrada en el proceso de arribos de buques portacontenedores.

TIEMPO DE ARRIBO DE BUQUES A PUERTO			
No	**DATOS**	**EXPLICACIÓN**	**UNIDAD**
1	Fecha de arribo y hora de atraque al puerto.	Menciona el día, mes y año en que un buque arriba al puerto y la hora en que es atracado en muelle.	horas, día/mes/año
2	Hora de inicio de operaciones de buque.	Una vez que un buque fue atracado en muelle, se autoriza orden para iniciar las operaciones.	horas
3	Hora de fin de operaciones.	Hora en que concluyen las operaciones de buque.	horas
4	Fecha y hora de zarpe de buque.	Se refiere a la fecha y hora en que un buque parte del puerto.	horas, día/mes/año

Tabla 1.2. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de muelle.

SUBSISTEMA DE CARGA Y DESCARGA (MUELLE)			
No	**DATOS**	**EXPLICACIÓN**	**UNIDAD**
1	Tiempo de operaciones de buque.	Es el tiempo que transcurre desde el inicio al final de las operaciones de carga y descarga de buque.	horas
2	Tiempos de espera por grúa.	Se refiere al tiempo que una grúa espera camiones para continuar con las operaciones.	Minutos
3	Número de movimientos de descarga por grúa.	Es el número de movimientos de descarga (contenedores) que realizó una grúa de muelle durante las operaciones de buque.	Cantidad
4	Tiempo entre movimientos de descarga por grúa.	Es el tiempo que tarda una grúa en tomar un contenedor de buque y depositarlo en un camión.	Minutos
5	Tiempo total de descarga por grúa.	Es el tiempo que demora una grúa en realizar todos los movimientos de descarga.	Horas
6	Número de movimientos de carga por grúa.	Es el número de movimientos de carga que realizó una grúa de muelle durante las operaciones de buque.	Cantidad
7	Tiempo entre movimientos de carga por grúa.	Es el tiempo que tarda una grúa en tomar un contenedor de un camión y depositarlo sobre buque.	Minutos
8	Tiempo total de carga por grúa.	Es el tiempo que le toma a una grúa realizar todos los movimientos de carga.	Minutos
9	Tiempo de revisión de contenedores descargados.	Una vez que una grúa retiro un contenedor de buque y es depositado en un camión sobre muelle, es el tiempo que toma revisar y capturar el contenedor en el sistema.	Minutos

Tabla 1.3. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de transporte interno.

DATOS DE ENTRADA SUBSISTEMA DE TRANSPORTE INTERNO			
No	**DATOS**	**EXPLICACIÓN**	**UNIDAD**
1	Número de camiones en operación por buque.	Se refiere al número de camiones asignados para cubrir las operaciones de un buque portacontenedores.	Cantidad
2	Tiempo de trabajo por camión.	Se refiere al tiempo que cada camión trabajó en una operativa de buque.	Minutos
3	Tiempo de cola en muelle.	Es el tiempo que un camión espera en una cola formada en muelle para ser atendido por una grúa.	Minutos
4	Tiempo entre llegadas para atención en muelle.	Es el tiempo en que un camión espera atención por servicio de carga o descarga, una vez que este se posiciona debajo de una grúa de muelle.	Minutos
5	Tiempo de cola en patio.	Es el tiempo que un camión espera en una cola formada en patio para ser atendido por una grúa.	Minutos
6	Tiempo entre llegadas para atención en patio.	Es el tiempo en que un camión espera atención por servicio de carga o descarga, una vez que este se posiciona debajo de una grúa de patio.	Minutos
7	Tiempo de recorrido muelle hacia patio.	Una vez que un camión parte de muelle, se refiere al tiempo que le toma llegar a patio y colocarse en cola para ser atendido por una grúa.	Minutos
8	Tiempo de recorrido patio hacia muelle.	Una vez que un camión parte de patio, se refiere al tiempo que demora en llegar a muelle y colocarse en cola para ser atendido por una grúa.	Minutos

Tabla 1.4. Datos de entrada a recolectar en el subsistema de patio.

DATOS DE ENTRADA SUBSISTEMA DE PATIO			
No	**DATOS**	**EXPLICACIÓN**	**UNIDAD**
1	Tiempos de espera por grúa.	Se refiere al tiempo que una grúa espera camiones para continuar con las operaciones.	Minutos
2	Número de contenedores de descarga almacenados por grúa.	Es el número de movimientos de descarga que realizó una grúa de patio durante las operaciones de buque.	Cantidad
3	Tiempo entre movimientos de descarga por grúa.	Es el tiempo que tarda una grúa en tomar un contenedor de un camión y almacenarlo en patio.	Minutos
4	Tiempo total de descarga por grúa.	Es el tiempo que le toma a una grúa realizar todos los movimientos de descarga (contenedores almacenados).	Minutos
5	Numero de movimientos de carga por grúa.	Es el número de movimientos de carga que realizó una grúa de patio durante las operaciones de buque (contenedores almacenados enviados a muelle).	Cantidad
6	Tiempo entre	Es el tiempo que tarda una grúa en tomar un	Minutos

	movimientos de carga por grúa.	contenedor almacenado en patio y colocarlo sobre un camión.	
7	Tiempo total de carga por grúa.	Es el tiempo que le toma a una grúa realizar todos los movimientos de carga (enviar contenedores a muelle).	Minutos
8	Tiempo de captura de contenedor en patio.	Una vez que el contenedor fue depositado en patio, es el tiempo que le toma a un controlador capturar el contenedor en el sistema.	Minutos

1.2. Listado de métricos para los distintos subsistemas

Tabla 1.5. **Métricos de los subsistemas de muelle y patio.**

MÉTRICOS PARA LOS SUBSISTEMAS DE MUELLE Y PATIO			
No	**MÉTRICOS**	**EXPLICACIÓN**	**UNIDAD**
1	Tiempo bruto de buque.	El tiempo total en que un buque se encuentra atracado en muelle. Corresponde al tiempo entre el inicio y fin del atraque en muelle.	00:00 horas
2	Tiempo neto de buque.	Corresponde al tiempo total desde que la nave inicia las operaciones de carga y descarga hasta que concluyen. Se excluyen los tiempos de retrasos no operacionales.	00:00 horas
3	Utilización de muelle.	Se refiere al grado de uso de un muelle medido en porcentaje. Es el porcentaje del tiempo bruto total que un buque utiliza un muelle respecto del tiempo total disponible en el muelle (mensual y anual).	% en horas
4	Utilización del muelle durante operación.	Se refiere al grado de uso de un muelle medido en porcentaje. Es el tiempo de operación de un buque entre el tiempo total que permanece atracado en muelle.	% en horas
5	Tiempo de utilización de grúas de muelle.	El número total de las horas de uso por grúa de muelle.	Horas
6			
7	Producción neta por grúa de muelle.	Es el número total de contendores movidos por hora durante las operaciones de buques.	Contenedores/ hora
8	Tiempo de espera de camiones para ser atendido en muelle.	Es el tiempo que un camión espera en muelle para ser cargado o descargado, es la suma de las esperas totales divido entre el total de camiones atendidos. Demuestra en tiempo promedio que tarda un camión en cola.	00:00 horas promedio
9	Tiempo de espera de camiones para ser atendido en patio.	Es el tiempo que un camión espera en patio para ser cargado o descargo, es la suma de las esperas totales divido entre el total de camiones atendidos. Demuestra en tiempo promedio que tarda un camión en cola..	00:00 horas promedio
10	Tiempo de camiones de ruta federal.	El tiempo que toma un camión desde que ingresa al puerto hasta que se sale de las instalaciones para dejar o retirar un contenedor.	Minutos

Tabla 1.6. Métricos área de carga/descarga.

MÉTRICOS DE PRODUCTIVIDAD MUELLE Y PATIO			
No	**MÉTRICOS**	**EXPLICACIÓN**	**UNIDAD**
1	Productividad de muelles	El número total de TEU's movilizados en muelle por año dividido por el número de muelles	TEU's por año/muelles
2	Productividad de patio	El número total de TEU's movilizados en patio por año dividido por el número de muelles	TEU's por año/muelles
3	Productividad global	El número total de TEU's movilizados en la terminal.	TEU's por año/muelles

Tabla 1.7. Métricos productividad de las grúas portuarias.

MÉTRICOS PARA LA PRODUCTIVIDAD POR GRÚA			
No	**MÉTRICOS**	**EXPLICACIÓN**	**UNIDAD**
1	Transferencia anual por grúa	El número total de movimientos al año dividido por el número de grúas utilizadas	Movimientos año/grúas utilizadas
2	Tiempo ocioso de grúas de muelle	Es el tiempo durante una operativa en que no se efectúa ningún movimiento, ocasionado por esperas	Minutos
3	Tiempo ocioso de grúas de patio	Es el tiempo durante una operativa en que no se efectúa ningún movimiento, ocasionado por esperas	Minutos

Tabla 1.8. **Métricos capacidad del área de almacenamiento.**

MÉTRICO PARA EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO			
No	**MÉTRICOS**	**EXPLICACIÓN**	**UNIDAD**
1	Utilización de patio	El número total de TEU movilizados en la terminal dividido por la superficie en hectáreas disponible para almacenamiento y acopio.	TEUs movilizados/espacio disponible
2	Capacidad del área de depósito	Capacidad de depósito de contenedores en patios (TEU) dividido por la superficie en hectáreas disponible para almacenamiento y acopio	Capacidad de patio

ANEXO 2

COLECCIÓN DE DATOS EN REGISTROS HISTÓRICOS

2.1. Itinerario de arribo de buques

Tabla 2.1. Itinerario de arribos de buques al puerto de Ensenada.

CONFORME A LOS ITINERARIOS DE LOS BUQUES PROGRAMADOS POR LAS LINEAS NAVIERAS SE EMITE EL SIGUIENTE

PROGRAMA DE ARRIBOS

ATENCION: A TODOS LOS DEPARTAMENTOS
FECHA: 1 de marzo de 2012

TEUS ACUMULADOS MES: 8,341
TEUS ACUMULADOS AÑO: 28,581

	BUQUES DE CONTENEDORES	ETA/arribo ENSENADA	LINEA NAVIERA	AGENTE MARITIMO	ESLORA (LOA)	MOVTOS APROX	MOVTOS REALES	TEUS MOVIDOS	DIF. MOVTOS +/-	TIEMPO ESTIMADO HRS	CANTIDAD GRUAS
1	LONGAVI	01/03 13:00	CMA CGM	CMA CGM	269	80	222	311	142	1.8	2
2	E.R. CALAIS	04/03 07:00	MAE	MAE	211	100	226	431	126	2.3	2
3	AUSTRALIA EXPRESS	04/03 14:00	HLCL	HLCL	210	100	104	178	4	2.3	2
4	DRESDEN EXPRESS	05/03 06:00	HLCL	HLCL	294	260	298	474	38	5.9	2
5	LEVERKUSEN EXPRESS	06/03 14:00	HLCL	HLCL	294	300	782	1,520	482	13.6	1
6	MEREDA	07/03 12:00	CSV	EIT	261	80	29	41	-51	1.8	2
7	HANJIN COLOMBO	07/03 13:00	HJN	OJEDA	290	300	406	786	106	6.8	2
8	RIO VERDE	11/03 07:00	MAE	MAE	209	100	130	228	30	2.3	2
9	DRESDEN EXPRESS	13/03 14:00	HLCL	HLCL	294	300	1,256	2,244	956	6.8	2
10	JAPAN	15/03 01:00	HLCL	HLCL	277	260	285	472	25	5.9	2
11	CMA CGM CHATEAU D'IF	15/03 07:00	CMA CGM	CMA CGM	295	80	153	212	73	3.6	1
12	HANJIN OSAKA	17/03 02:30	HJN	OJEDA	290	300	255	488	-45	6.8	2
13	HELENE S	18/03 06:00	MAE	MAE	200	100	130	231	30	2.3	2
14	CAPE MAAS	18/03 18:00	9+	HLCL	213	100	148	264	48	2.3	2
15	HANJIN WILMINGTON	19/03 18:00	HJN	OJEDA	290	300	250	461	-50	6.8	2
16	CSAV LICANTEN	22/03 17:00	CSV	EIT	261	80			-80	1.8	2
17	JAPAN	23/03 06:00	HLCL	HLCL	277	260	Cancelado Ajuste Itiner		0	0.0	2
18	SEOUL EXPRESS	23/03 15:00	HLCL	HLCL	294	260					
19	ATLANTIC VOYAGER	25/03 06:00	MAE	MAE	208	100			-100	2.3	2
20	SINGAPORE EXPRESS	25/03 22:00	HLCL	HLCL	294	260			-260	5.9	2
21	HANJIN NAGOYA	26/03 14:00	HJN	OJEDA	290	300			-300	6.8	2
22	SEOUL EXPRESS	27/03 14:00	HLCL	HLCL	294	300	Cancelado Ajuste Itiner		0	0.0	2
23	CMA CGM BLUE WHALE	28/03 20:00	CMA CGM	CMA CGM	295	80			-80	3.6	1
				TOTALES		4,400	4,674	8,341	1,094		
					NUEVO PROGRAMADO			4,674			

TONELADAS ACUMULADOS MES: 1,895.882
TONELADAS ACUMULADOS AÑO: N/A

	BUQUES DE CARGA GENERAL Y GRANEL	ETA/arribo ENSENADA	TIPO MERCANCIA	LINEA AGENTE M.	ESLORA (LOA)	TONS. APROX	TONS REALES	DIF. TONELAJE +/-
1	KEN GOH	12/02 06:00	BOBINA	ORTIZ	172	1,978.000	1,895.882	-82.118
								0.000
						1,978	1,895.882	-82
						TONELAJE TOTAL		1,895.882

PASAJEROS ACUMULADOS MES: N/A
PASAJEROS ACUMULADOS AÑO: N/A

CRUISEPORT	ETA/arribo ENSENADA	LINEA AGENTE M.	ESLORA (LOA)	PASAJ. APROX	PASAJ. REALES	DIF. PASAJEROS +/-
ZAANDAM	06/12 07:00	OJEDA	240	2200	1406	-794
GOLDEN PRINCESS	09/12 07:00	OJEDA	240	2200	2632	432
CARNIVAL ELATION	12/12 07:00	OJEDA	228	2200	2231	31
CARNIVAL PARADISE	17/12 07:00	OJEDA	228	2200	2252	52
				8,800	8,521	-279
			TOTAL DE PASAJEROS			

C.C.P.: C. P. JAVIER RODRIGUEZ MIRANDA - GERENTE GENERAL
C.C.P.: JORGE CAMPOS PINEDA - GERENTE DE OPERACIONES
C.C.P. ING. ROGELIO VALENZUELA.-GERENTE DE COMERCIALIZACIÓN
C.C.P. C. P.. JOSE RENTERIA.-GERENTE DE ADMON. Y FINANZAS

ING. RENE GALVAN BELMONTE
SUBGERENCIA DE OPERACIONES EIT

2.2. Terminal Performance Report

Tabla 2.2. Terminal Performance Report.

TERMINAL PERFORMANCE REPORT

Fecha: Línea:

Puerto: *Ensenada* Terminal: Buque: Viaje:

Referencia: Eslora:

TIEMPOS DE ARRIBO ZARPE Y OPERACIÓN

	FECHA/HORA
Fondeo	
Atraque	
Inicio de operaciones	
Fin de operaciones	
Zarpe	

MOTIVO DE DEMORAS	HORA

Atraque/Zarpe
Inicio/Fin Operaciones

PRODUCTIVIDADES

GRÚAS	HITACHI 1	PACECO 2	HITACHI 3	TOTAL GRÚAS	PRODUCTIVIDAD TOTAL POR BUQUE
Total Movimientos					
Tiempo Operado Bruto					
Demoras Aplicables					
Tiempo Operado Neto					
Productividad bruta					
Productividad neta					

MOVIMIENTOS DESGLOZADOS POR TIPO

	20'		40'		UNIDADES TOTALES	MOV. TOTALES	Observaciones
	Llenos	Vacíos	Llenos	Vacíos			
Contenedores descargados					Contenedor		
Contenedores cargados					Contenedor		
Contenedores movidos					Contenedor		
Canastillas/Pin boxes					Caja		
				Tapas	Pieza		
				TOTAL MOVIMIENTOS			

2.3. Indicadores operativos subsistema de carga y descarga (muelle)

Tabla 2.3. Indicadores operativos muelle contenedores.

No. B/M	Buque	Inicio de Operaciones	Término de Operaciones	Carga				Trasbordos				Descarga				Trasbordos				Carga y Descarga	Reacomodos Celda/Muelle/Celda				Reacomodos Celda/Celda				Contenedores Movidos	Movimientos Totales (Incl. Tapas)	PROD. NETA (Cont./hr neta por buque)	Tiempo de Operación	Tiempo de Estadía	Tiempo Espera Muelle	Horas Grúas	Ponderación Ocupación Muelle	TEU's/Buque Movilizados	Total de Grías Trabajadas
				20' LL	20' V	40' LL	40' V	20' LL	20' V	40' LL	40' V	20' LL	20' V	40' LL	40' V	20' LL	20' V	40' LL	40' V		20' LL	20' V	40' LL	40' V	20' LL	20' V	40' LL	40' V										

LL: Llenos V: Vacíos

Indicadores HPH

Mov. Cont. Carga y desc.	Prod. Bruta Grua (mph)	Movimiento cont. buque	% Buq. + de 2 hrs espera (hrs)
Teu's Mov. Carga y desc.	Prod. Bruta Buque (mph)	% Ocup. Muelle	Buque > prod. bruta(mph)
Buques operados	Prod. Bruta Muelle (mph)	Tiempo espera buques (hrs)	

2.4. Distribución física Terminal Marítima de Contenedores

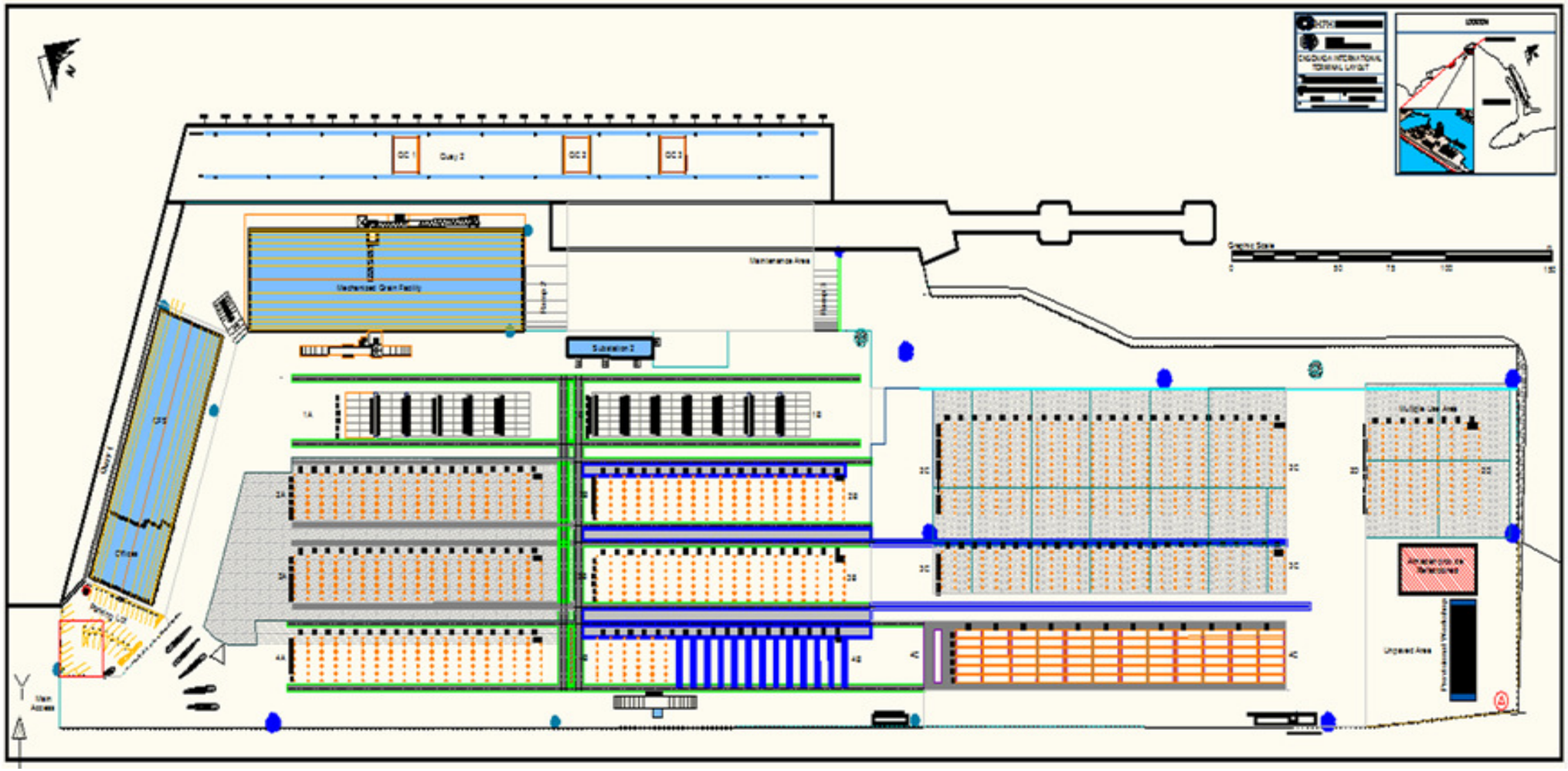
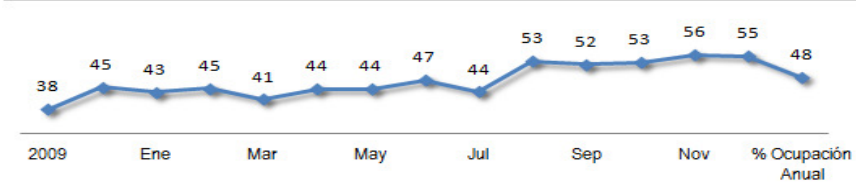


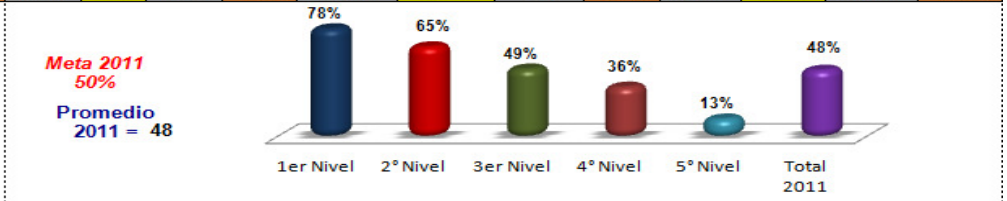
Figura 2.4. Layout terminal marítima de contenedores.

2.5. Indicadores operativos subsistema de almacenamiento de contenedores (patio)

Tabla 2.4. Indicadores operativos subsistema de almacenamiento de contenedores (patio), documento oficial E.I.T.

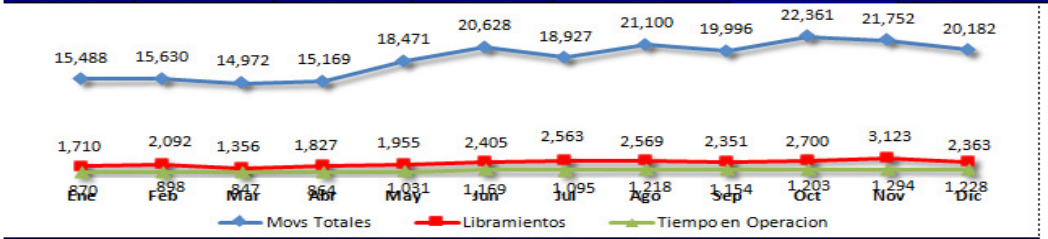
Primer Nivel				Segundo Nivel				Tercer Nivel				Cuarto Nivel				Quinto Nivel				Gran Total			
Total	Used	Avdl	%	Total	Used	Avdl	%	Total	Used	Avdl	%	Total	Used	Avdl	%	Total	Used	Avdl	%	Total	Used	Avdl	%
1,489	1,174	315	79%	1,429	974	455	68%	1,429	875	554	61%	1,429	698	731	49%	1,045	446	599	43%	6,821	4,167	2,654	61%

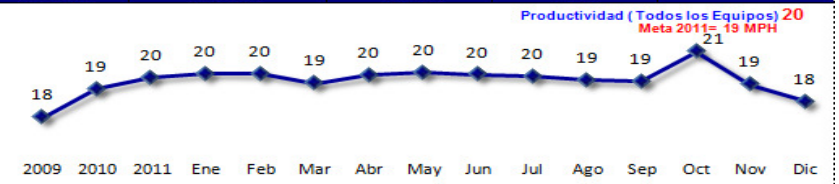




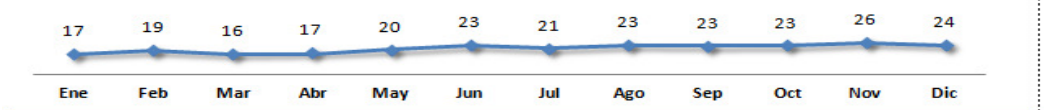
Concentrado de Utilización de Equipo

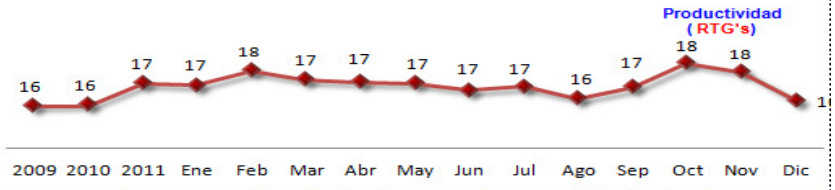
Horas del mes	Tiempo sin Operación	Tiempo en Operación	Tiempo en Averia	Mantenimiento		Porcentajes por rubro	Movimientos Importación	Movimientos Exportación	Reacomodos	Total de Movimientos	Productividad Copnt/hr
				Hrs horometro	Mantto						
5,208	3,219	1,228	0	0	761		11,602	8,580	2,363	22,545	18.36
100%	61.8%	23.6%	0.0%	0.0%	14.6%		51.46%	38.06%	10.48%	100%	



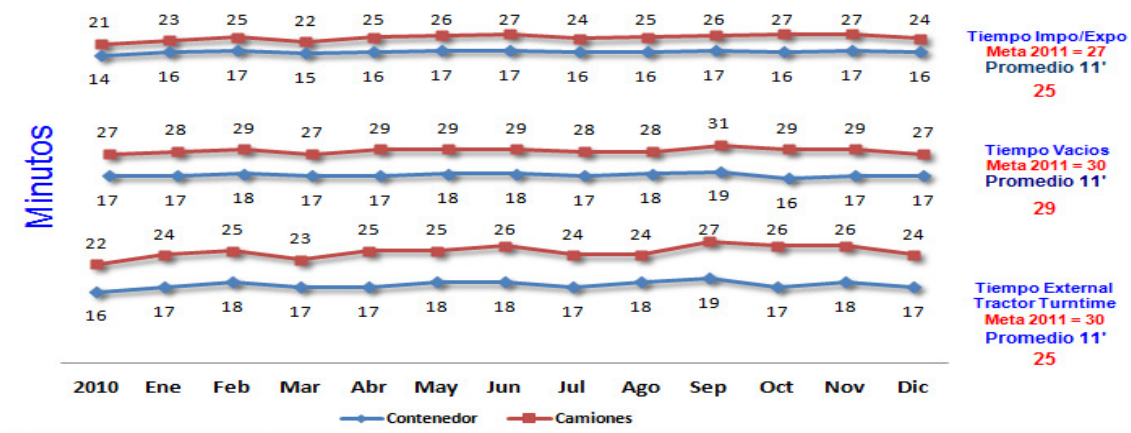


% de Utilizacion de las Gruas de Patio



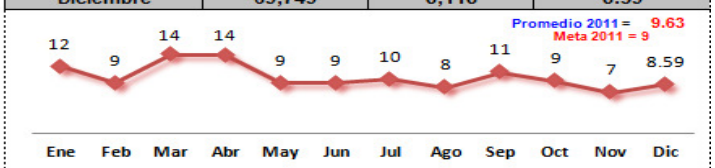


Tiempo Promedio de Camiones y Entrega de Contenedores a Ruta Federal

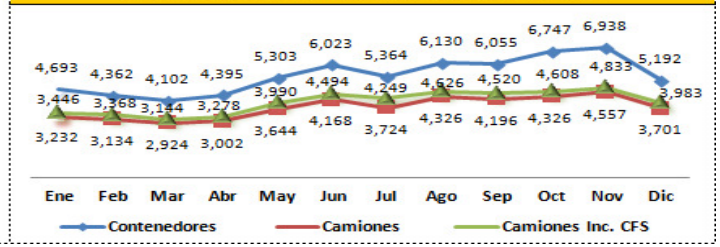


Estadía de Contenedores en la Terminal

Mes	Total de Dias	Cant.de Conts.	Promedio
Diciembre	69,749	8,118	8.59



Total de Camiones Ingresados Vs. Contenedores



ANEXO 3

COLECCIÓN DE DATOS EN INVESTIGACIÓN DE CAMPO

3.1. Recolección de datos subsistema muelle (descarga)

Tabla 3.1. **Recolección de datos, subsistema de muelle.**

TABLA PARA MUESTREO EN MUELLE

Imagen del proceso: Muelle para la carga y descarga de contenedores **Marzo 19, 2012**

Responsable: **Aurelio López González**
Empresa: **Ensenada International Terminal S.A. de C.V.**
Buque: **Helenes Maersk**
Grúa: **Hitachi 3**
Hora de inicio y fin de operaciones: **09:30 y 01:00**
Hora de inicio y fin de descarga: **09:36 y 10:08** Numero de movimientos descargados: **41**
Hora de inicio y fin del carga **10:12 y 12:51** Numero de movimientos cargados: **90**

No	Inicio espera	Fin espera	Inicio de un movimiento de descarga	Fin de un movimiento de descarga	Tiempo movimiento de descarga (min)	Inicia revisión de contenedor	Fin revisión de contenedor	Tiempo de revisión (min)
1	0	0	09:36.07”	09:38.22”	***2.25***	09:38.25”	09:39.35”	***1.16***
2	0	0	09:38.15”	09:40.33”	***2.30***	09:40.33”	09:41.22”	***0.81***
3	0	0	09:40.45”	09:41.56”	***1.18***	09:41.56”	09:42.40”	***0.73***
4	0	0	09:42.00”	09:43.22”	***1.36***	09:43.23”	09:44.15”	***0.86***
5	0	0	09:43.31”	09:45.30”	***1.98***	09:45.30”	09:46.20”	***0.83***
6	0	0	09:45.30”	09:47.25”	***1.91***	09:47.25”	09:47.42”	***0.28***
7	0	0	09:47.25”	09:49.10”	***1.75***	09:49.10”	09:49.40”	***0.50***
8	0	0	09:49.13”	09:50.30”	***1.28***	09:50.30”	09:51.13”	***0.71***
9	0	0	09:50.31”	09:51.45”	***1.23***	09:51.45”	09:52.25”	***0.66***
10	0	0	09:51.47”	09:53.15”	***1.46***	09:53.15”	09:53.45”	***0.50***
16	0	0	10:05.50”	10:08.05”	***2.25***	10:08.05”	10:08.48”	***0.71***

3.2. Recolección de datos subsistema muelle (carga)

Tabla 3.2. Recolección de datos subsistema de muelle.

TABLA PARA MUESTREO EN MUELLE

Imagen del proceso: Muelle para la carga y descarga de contenedores

Marzo 19, 2012

Responsable: **Aurelio López González**
Empresa: **Ensenada International Terminal S.A. de C.V.**
Buque: **Helenes Maersk**
Grúa: **Hitachi 3**
Hora de inicio y fin de operaciones: **09:30 y 01:00**
Hora de inicio y fin de descarga: **09:36 y 10:08** Numero de movimientos descargados: **41**
Hora de inicio y fin del carga **10:12 y 12:51** Numero de movimientos cargados: **90**

No	Inicio espera	Fin espera	Tiempo espera (min)	Inicia movimiento de carga	Fin movimiento de carga	Tiempo de carga (min)	Inicia revisión contenedor de carga	Fin revisión contenedor de carga	Tiempo de revisión
1	00:00:00	00:00:00	0.00	10:24:55	10:26:15	1.33	00:00:00	00:00:00	0.00
2	00:00:00	00:00:00	0.00	10:26:15	10:28:35	2.33	00:00:00	00:00:00	0.00
3	00:00:00	00:00:00	0.00	10:28:35	10:30:15	1.67	00:00:00	00:00:00	0.00
4	00:00:00	00:00:00	0.00	10:30:15	10:31:08	0.88	00:00:00	00:00:00	0.00
5	00:00:00	00:00:00	0.00	10:31:08	10:32:00	0.87	00:00:00	00:00:00	0.00
6	00:00:00	00:00:00	0.00	10:32:00	10:34:35	2.58	00:00:00	00:00:00	0.00
7	00:00:00	00:00:00	0.00	10:34:35	10:36:14	1.65	00:00:00	00:00:00	0.00
8	00:00:00	00:00:00	0.00	10:36:14	10:37:31	1.28	00:00:00	00:00:00	0.00
9	00:00:00	00:00:00	0.00	10:37:31	10:39:28	1.95	00:00:00	00:00:00	0.00
10	00:00:00	00:00:00	0.00	10:39:28	10:41:55	2.45	00:00:00	00:00:00	0.00
11	00:00:00	00:00:00	0.00	10:41:55	10:43:45	1.83	00:00:00	00:00:00	0.00
12	00:00:00	00:00:00	0.00	10:43:45	10:45:16	1.52	00:00:00	00:00:00	0.00
13	00:00:00	00:00:00	0.00	10:45:16	10:46:45	1.48	00:00:00	00:00:00	0.00
14	00:00:00	00:00:00	0.00	10:46:45	10:48:15	1.50	00:00:00	00:00:00	0.00
15	00:00:00	00:00:00	0.00	10:48:15	10:49:41	1.43	00:00:00	00:00:00	0.00
16	00:00:00	00:00:00	0.00	10:49:41	10:50:58	1.28	00:00:00	00:00:00	0.00
79	00:00:00	00:00:00	0.00	12:47:52	12:51:48	3.93	00:00:00	00:00:00	0.00

3.3. Recolección de datos subsistema de almacenamiento (descarga)

Tabla 3.3. Recolección de datos subsistema de patio.

TABLA PARA MUESTREO EN EL SUBSISTEMA DE PATIO

Imagen del proceso: Almacenamiento de contenedores de descarga **Abril 8, 2012**

Responsable: **Aurelio López González**
Empresa: **Ensenada International Terminal**
Buque: **Rio Verde Monrovia**
Grúa: **ZPMC – 06**
Hora de inicio y fin de operaciones: **9:35 pm y 7:38 pm**
Hora de inicio y fin de descarga: **9:40 pm y 3:45 pm** Numero de movimientos descargados: **158**

No	Inicio espera	Fin espera	Tiempo espera	Inicio movimiento almacenamiento (descarga)	Fin movimiento almacenamiento (descarga)	Tiempo movimiento almacenamiento (descarga)	Inicia captura contenedor (descarga)	Fin captura contenedor (descarga)	Tiempo captura (descarga)
1	00:00:00	00:00:00	0.00	09:42:34	09:44:51	2.28	00:00:00	00:00:00	0.00
2	00:00:00	00:00:00	0.00	09:44:51	09:46:55	2.07	00:00:00	00:00:00	0.00
3	00:00:00	00:00:00	0.00	09:46:55	09:48:17	1.37	00:00:00	00:00:00	0.00
4	09:48:17	09:49:08	0.85	09:49:08	09:49:45	0.62	00:00:00	00:00:00	0.00
5	09:49:45	09:50:24	0.65	09:50:24	09:51:37	1.22	00:00:00	00:00:00	0.00
6	09:53:13	09:55:20	2.12	09:55:20	09:56:37	1.28	00:00:00	00:00:00	0.00
7	09:56:37	09:57:58	1.35	09:57:58	09:58:48	0.83	00:00:00	00:00:00	0.00
8	09:58:48	10:00:16	0.42	10:00:16	10:01:21	1.08	00:00:00	00:00:00	0.00
9	10:01:21	10:03:34	2.22	10:03:34	10:04:16	0.70	00:00:00	00:00:00	0.00
10	10:04:16	10:05:54	1.63	10:05:54	10:07:07	1.22	00:00:00	00:00:00	0.00
11	00:00:00	00:00:00	0.00	10:07:07	10:08:19	1.20	00:00:00	00:00:00	0.00
12	00:00:00	00:00:00	0.00	10:08:19	10:09:16	0.95	00:00:00	00:00:00	0.00
13	10:09:16	10:12:11	2.92	10:12:11	10:13:00	0.82	00:00:00	00:00:00	0.00
14	10:13:00	10:17:33	4.55	10:17:33	10:18:37	1.07	00:00:00	00:00:00	0.00
15	10:18:37	10:19:24	0.78	10:19:24	10:20:20	0.93	00:00:00	00:00:00	0.00
16	10:20:20	10:23:19	2.98	10:23:19	10:25:03	1.73	00:00:00	00:00:00	0.00
17	00:00:00	00:00:00	0.00	10:25:03	10:26:17	1.23	00:00:00	00:00:00	0.00
87	00:00:00	00:00:00	0.00	01:43:49	01:44:37	0.80	00:00:00	00:00:00	0.00

3.4. Recolección de datos subsistema de almacenamiento (carga)

Tabla 3.4. Recolección de datos subsistema de patio.

TABLA PARA MUESTREO EN EL SUBSISTEMA DE PATIO

Imagen del proceso: Envió de contenedores carga

Abril 8, 2012

Responsable: **Aurelio López González**
Empresa: **Ensenada International Terminal**
Buque: **Rio Verde Monrovia**
Grúa: **ZPMC – 06**
Hora de inicio y fin de operaciones: **9:35 pm y 7:38 pm**
Hora de inicio y fin de descarga: **9:40 pm y 3:45 pm** Numero de movimientos descargados: **158**

No	Inicio espera	Fin espera	Tiempo espera	Inicio movimiento almacenamiento (carga)	Fin movimiento almacenamiento (carga)	Tiempo movimiento almacenamiento (carga)	Inicia captura contenedor (carga)	Fin captura contenedor (carga)	Tiempo captura (carga)
1	00:00:00	00:00:00	0.00	10:52:14	10:53:03	0.82	00:00:00	00:00:00	0.00
2	10:53:03	10:55:35	2.53	10:53:03	10:55:35	2.53	00:00:00	00:00:00	0.00
3	10:55:35	10:57:28	1.88		TRASLADO		00:00:00	00:00:00	0.00
4	10:57:28	10:58:27	0.98	10:58:27	11:01:03	2.60	00:00:00	00:00:00	0.00
5	00:00:00	00:00:00	0.00	11:01:03	11:05:06	4.05	00:00:00	00:00:00	0.00
6	11:05:06	11:14:40	9.57		TRASLADO		00:00:00	00:00:00	0.00
7	00:00:00	00:00:00	0.00	12:40:06	12:40:48	0.70	00:00:00	00:00:00	0.00
8	12:40:48	12:44:29	3.68		TRASLADO		00:00:00	00:00:00	0.00
9	12:44:29	12:47:17	2.80	12:47:17	12:47:44	0.45	00:00:00	00:00:00	0.00
10	12:47:44	12:49:30	1.77		TRASLADO		00:00:00	00:00:00	0.00
11	12:49:30	12:58:58	9.47		DESTAPAR BODEGA DE BUQUE EN MUELLE				
12	00:00:00	00:00:00	0.00	12:58:58	12:59:40	0.70	00:00:00	00:00:00	0.00
13	00:00:00	00:00:00	0.00	12:59:40	1:00:38	0.97	00:00:00	00:00:00	0.00
14	00:00:00	00:00:00	0.00	01:10:35	01:12:03	1.47	00:00:00	00:00:00	0.00
15	00:00:00	00:00:00	0.00	01:12:03	01:13:54	1.85	00:00:00	00:00:00	0.00
16	00:00:00	00:00:00	0.00	01:13:54	01:15:48	1.90	00:00:00	00:00:00	0.00
17	00:00:00	00:00:00	0.00	01:15:48	01:16:53	1.08	00:00:00	00:00:00	0.00
79	00:00:00	00:00:00	0.00	03:36:55	03:39:03	2.13	03:39:03	03:39:39	0.60

ANEXO 4

TRATAMIENTO A DATOS RECOLECTADOS

4.1. Arribos entre buques

Datos: Datos: %EP = 10%, α = 5%, n = 297, $\overline{X}$ = 32.649, S = 28.667

1. Cálculo de Error = **3.260** 4.1
2. Cálculo del % de error = **9.98%** 4.2
3. El intervalo de confianza → IC = (0.5796, 0.6713) 4.5

Se prosigue comprobando la independencia de los datos de la muestra con técnicas heurísticas, construyendo gráficos de dispersión, auto correlación y de proporción de llegadas.

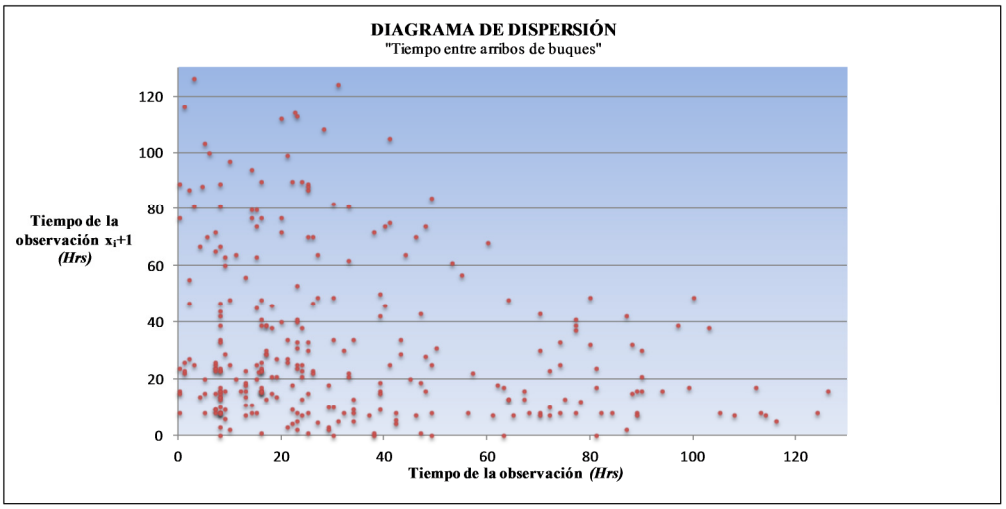


Figura 4.1. Diagrama de dispersión, proceso arribos entre buques.

En el diagrama de dispersión anterior se observan los puntos dispersos en el plano, estos no siguen un patrón o tendencia *(línea o pendiente)*. Por lo tanto se concluye que los datos son independientes y se encuentran distribuidos aleatoriamente en el plano. El eje horizontal se refiere al tiempo entre buques portacontenedores en horas.

4.1.1. Gráfico de autocorrelación proceso arribos entre buques

Datos: n = 297, S^2 = 821.7954, $\overline{X}$ = 32.6397

Para $k = 1$:	C_k = -182.2302564	4.6
	R_k = -0.221746491	4.7
$k = 2$:	C_k = -122.9553542	4.6
	R_k = -0.149617955	4.7
$k = 3$:	C_k = 813.5101193	4.6
	R_k = 0.989918021	4.7
$k = 4$:	C_k = -63. 51178105	4.6
	R_k = -0.077284172	4.7
$k = 5$:	C_k = 120.4118409	4.6

	$R_k = 0.146522887$	4.7
$k = 6$:	$C_k = 28.86644266$	4.6
	$R_k = 0.039692372$	4.7
$k = 7$:	$C_k = -22.863208$	4.6
	$R_k = -0.027821045$	4.7
$k = 8$:	$C_k = -76.0147749$	4.6
	$R_k = -0.092498413$	4.7
$k = 9$:	$C_k = -116.739722$	4.6
	$R_k = -0.142054477$	4.7
$k = 10$:	$C_k = 173.7730289$	4.6
	$R_k = 0.211455332$	4.7

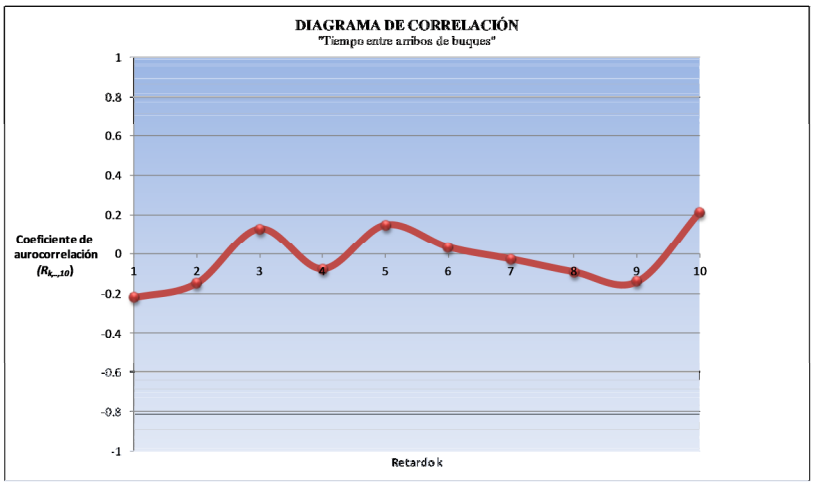


Figura 4.2. Gráfico de auto correlación, proceso arribos entre buques.

El diagrama de auto correlación se utiliza para comprobar la aleatoriedad de los datos, en la figura D.2 se observa que los datos son independientes y se encuentran aleatoriamente distribuidos debido a que los puntos en el gráfico son cercanos al cero en el eje x. Es decir se observa similitud de los datos en función que transcurre el tiempo. El eje vertical se refiere al coeficiente de auto correlación R_k, el eje horizontal muestra retardos en función del tiempo.

4.1.2. Gráfico de proporción de llegadas proceso arribos entre buques

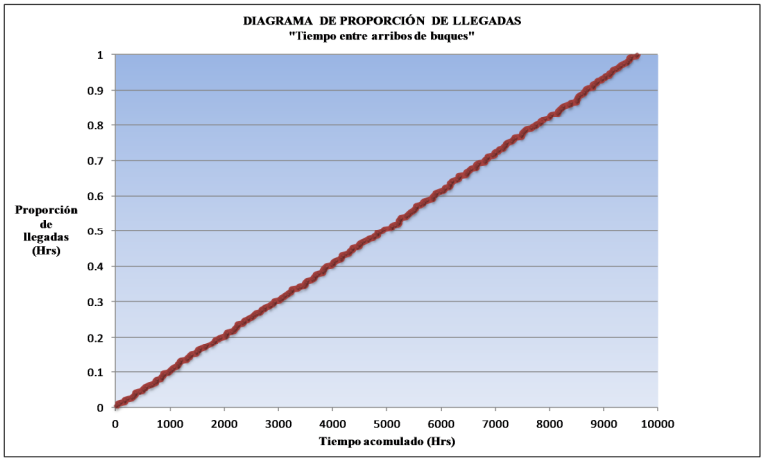


Figura 4.3. Gráfico de proporción de llegadas, proceso arribos entre buques.

En simulación la gráfica de proporción de llegadas se utiliza para demostrar la inestabilidad en las distribuciones de probabilidad. El diagrama de la figura D.3 demuestra que la frecuencia de llegadas entre buques es constante y por lo tanto es aproximadamente lineal. Se concluye que los datos son independientes e idénticamente distribuidos, todos se ajustan a una misma distribución de probabilidad.

4.1.3. Datos del proceso arribos entre buques ajustados con input analyzer

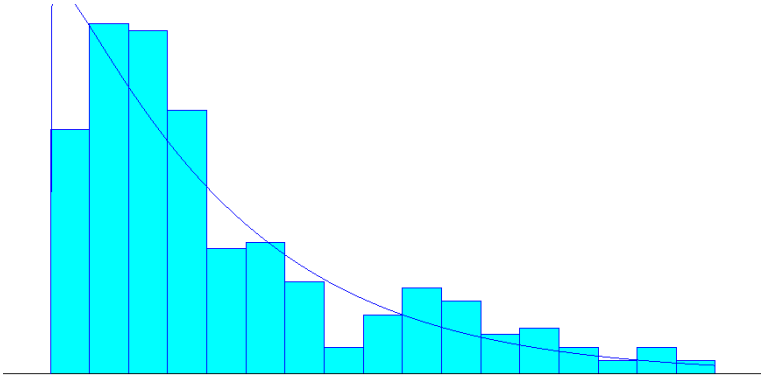


Figura 4.4. El proceso de arribos entre buques se ajusta a una distribución de probabilidad Weibull.

Resumen input analyzer

Distribution: Weibull
Expression: -0.001 + WEIB (33.1, 1.04)
Square Error: 0.009226

Kolmogorov-Smirnov Test
Test Statistic = 0.0919
Corresponding p-value = 0.0134

Hipótesis:

$\mathbf{H_o}$: Los datos se ajustan a una distribución Weibull.

$\mathbf{H_1}$: Los datos no se ajustan a una distribución Weibull.

Se utiliza un nivel de significancia de 1% *(α = 0.01)* para verificar los datos del proceso *arribos entre buques*, estos datos de entrada fueron analizados con la herramienta Input Analyzer del software Arena. Se comparó el valor $\boldsymbol{p}$ de la prueba *Kolmogorov-Smirnov* contra el valor de significancia $\boldsymbol{\alpha}$ obteniendo que el valor $\boldsymbol{p} > \boldsymbol{\alpha}$, por lo tanto se acepta la $\mathbf{H_o}$ y se rechaza la $\mathbf{H_1}$. Se concluye que los datos se ajustan a una distribución de probabilidad tipo Weibull.

4.2. Proceso descarga de contenedores

Datos: %EP = 10%, α = 5%, n = 261, $\overline{\mathbf{X}}$ = 1.868, S = 1.0239

4. Cálculo de Error = 0.1242 4.1
5. Cálculo del % de error = 6.649**%** 4.2
6. El intervalo de confianza → IC = (1.9922, 1.7438) 4.5

Basados en los cálculos anteriores se concluye que él **%EP > %E** de la muestra, por lo tanto se valida estadísticamente el uso de un tamaño de muestra ***n = 261*** para el procesos de descarga de contenedores. Se prosigue comprobando la independencia de los valores de la muestra con técnicas heurísticas, construyendo gráficos de dispersión.

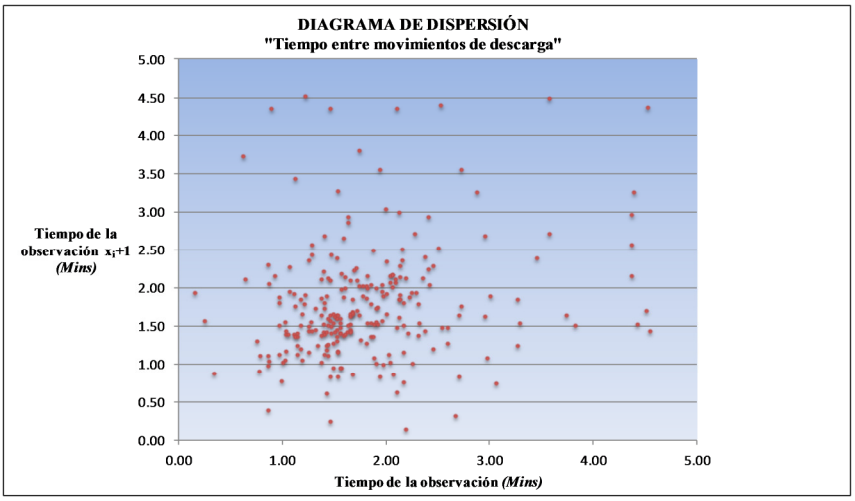


Figura 4.5. Diagrama de dispersión, proceso descarga de contenedores.

En el diagrama de dispersión anterior se observan los puntos dispersos en el plano, estos no siguen un patrón o tendencia *(línea o pendiente)*. Por lo tanto se concluye que los datos son independientes y se encuentran distribuidos aleatoriamente en el plano.

4.2.1. Datos del proceso descarga de contenedores ajustados con input analyzer

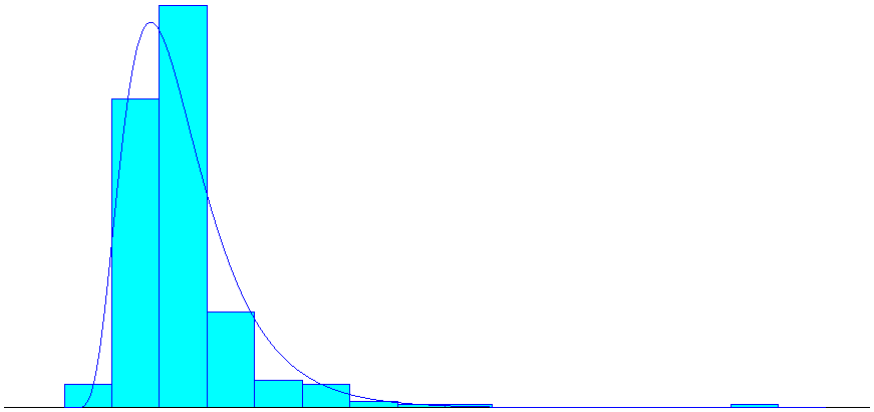


Figura 4.6. El proceso de descarga de contenedores se ajusta a una distribución de probabilidad Lognormal.

Resumen input analyzer

Distribution: Lognormal
Expression: LOGN (1.87, 0.913)

Kolmogorov-Smirnov Test
Corresponding p-value < 0.0127

Hipótesis:
$\mathbf{H_o}$: Los datos se ajustan a una distribución Lognormal.
$\mathbf{H_1}$: Los datos no se ajustan a una distribución Lognormal.

Se utiliza un nivel de significancia de 1% *(α = 0.01)* para verificar los datos del proceso *descarga de contenedores*, estos datos de entrada fueron analizados con la herramienta Input Analyzer del software Arena. Se comparó el valor ***p*** de la prueba *Kolmogorov-Smirnov* contra el valor de significancia ***α*** se observa que ***p > α*** por lo tanto se acepta la $\mathbf{H_o}$ y se rechaza la $\mathbf{H_1}$. Se concluye que los datos se ajustan a una distribución de probabilidad tipo Lognormal.

4.3. Tiempo de revisión de contenedores descargados

Datos: %EP = 10%, α = 5%, n = 242, $\overline{\mathbf{X}}$ = 0.6254, S = 0.3616

1. Cálculo del Error → E = 0.0458 4.1
2. Cálculo de % Error → %E = 7.3281 % 4.2
3. El intervalo de confianza → IC = **(0.5796, 0.6713)** 4.5

Se concluye que él ***%EP > %E*** de la muestra, por lo tanto se valida estadísticamente el uso de un tamaño de muestra ***n = 242*** para el proceso de revisión de contenedores descargados. Se prosigue comprobando la independencia de los valores de la muestra con técnicas heurísticas, construyendo gráficos de dispersión.

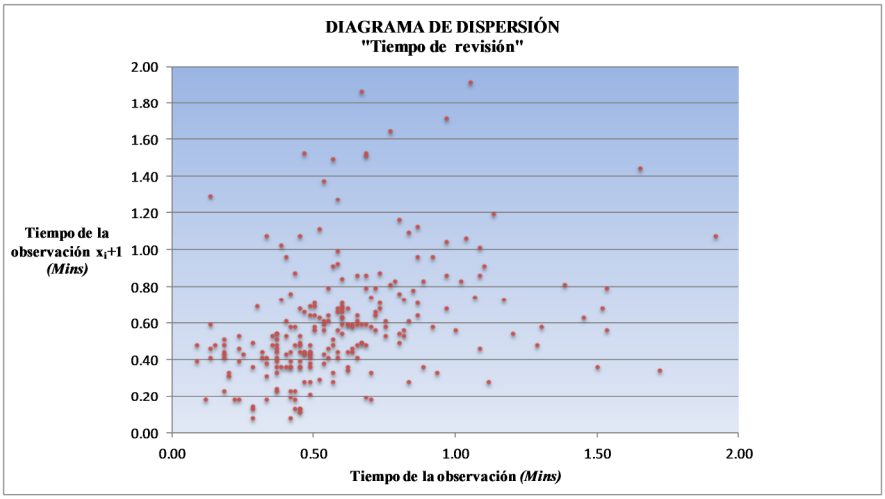


Figura 4.7. Diagrama de dispersión, proceso revisión de contenedores.

En el diagrama de dispersión anterior se observan los puntos dispersos en el plano, estos no siguen un patrón o tendencia *(línea o pendiente)*. Por lo tanto se concluye que los datos son independientes y se encuentran distribuidos aleatoriamente en el plano.

4.3.1. Datos del proceso revisión de contenedores ajustados input analyzer

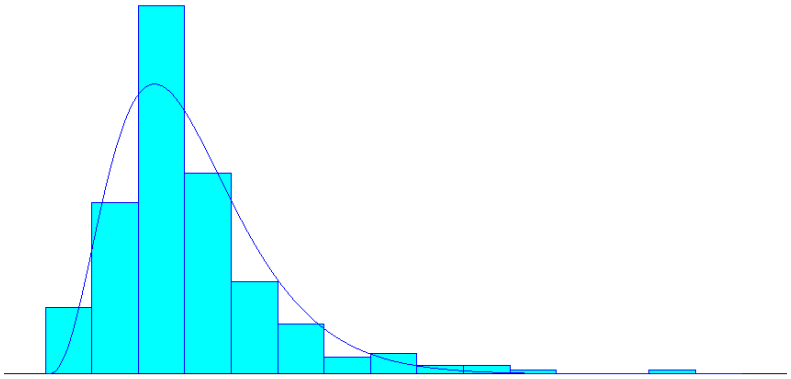


Figura 4.8. El proceso de revisión de contenedores se ajusta a una distribución probabilidad *Erlang*.

Resumen input analyzer

Distribution: Erlang
Expression: ERLA (0.156, 4)

Kolmogorov-Smirnov Test
Corresponding p-value > 0.15

Hipótesis:
$\mathbf{H_o}$: Los datos se ajustan a una distribución Erlang.
$\mathbf{H_1}$: Los datos no se ajustan a una distribución Erlang.

Se utiliza un nivel de significancia de 1% *(α = 0.01)* para verificar los datos del proceso de *revisión de contenedores en el subsistema de muelle*, estos datos de entrada fueron analizados con la herramienta Input Analyzer del software Arena. Se comparó el valor ***p*** de la prueba Kolmogorov-Smirnov contra el valor de significancia ***α*** y se observa que el ***p > α*** .por lo tanto se acepta la $\mathbf{H_o}$.

4.4. Carga de contenedores

Datos: %EP = 10%, α = 5%, n = 134, $\bar{X}$ = 2.0275, S = 1.1057

1. Cálculo de Error → $E = 0.1872$ 4.1
2. Cálculo del % de error → $\%E = 9.2343\%$ 4.2
3. El intervalo de confianza → IC = (0.5796, 0.6713) 4.5

Se concluye que él **%EP > %E** de la muestra, por lo tanto se valida estadísticamente el uso de un tamaño de muestra ***n = 134*** para el proceso de carga de contenedores. Se prosigue comprobando la independencia de los valores de la muestra con técnicas heurísticas, construyendo gráficos de dispersión.

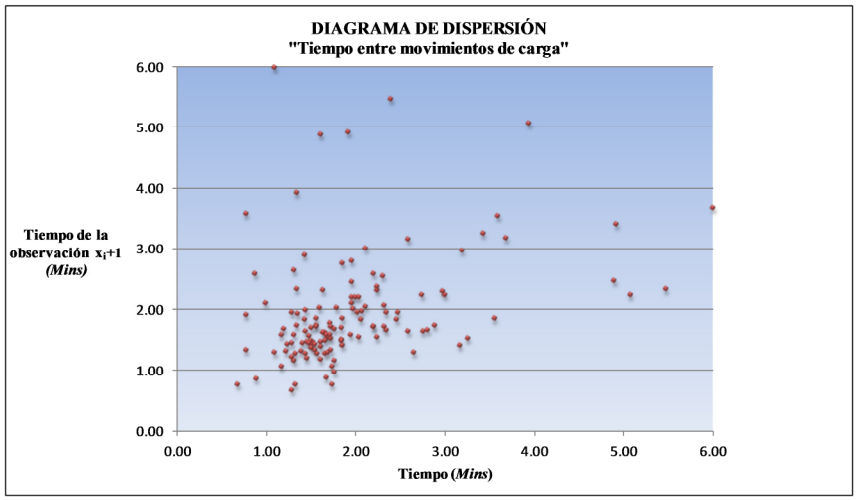


Figura 4.9. Diagrama de dispersión, proceso carga de contenedores.

En el diagrama de dispersión anterior se observan los puntos dispersos en el plano, estos no siguen un patrón o tendencia *(línea o pendiente)*. Por lo tanto se concluye que los datos son independientes y se encuentran distribuidos aleatoriamente en el plano.

4.4.1. Datos del proceso carga de contenedores ajustados con input analyzer

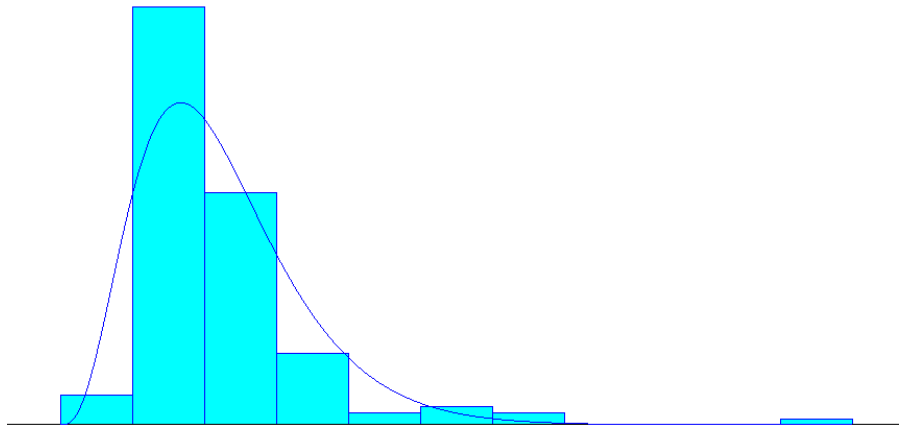


Figura 4.10. El proceso de carga de contenedores se ajusta a una distribución probabilidad *Erlang*.

Resumen input analyzer

Distribution: Erlang
Expression: -0.001 + ERLA (0.505, 4)

Kolmogorov-Smirnov Test
Corresponding p-value < 0.0148

Hipótesis:
H_o: Los datos se ajustan a una distribución Erlang.
H_1: Los datos no se ajustan a una distribución Erlang.

Se utiliza un nivel de significancia de 1% *(α = 0.01)* para verificar los datos del proceso *carga de contenedores*, estos datos de entrada fueron analizados con la herramienta Input Analyzer

del software Arena. Se comparó el valor $\boldsymbol{p}$ de la prueba *Kolmogorov-Smirnov* contra el valor de significancia $\boldsymbol{\alpha}$ se observa que $\boldsymbol{p > \alpha}$ por lo tanto se acepta la $\mathbf{H_o}$ y se rechaza la $\mathbf{H_1}$. Se concluye que los datos se ajustan a una distribución de probabilidad del tipo Erlang.

4.5. Almacenamiento de contenedores de descarga

Datos: **%EP** = 10%, **α** = 5%, **n** = 229, $\overline{\mathbf{X}}$ = 1.2096, **S** = 0.4352

1. Cálculo de Error → $E = 0.0567$ 4.1
2. Cálculo del % de error → $E = 4.6891\%$ 4.2
3. El intervalo de confianza → IC = (1.2663, 1.1528) 4.5

Se concluye que él **%EP > %E** de la muestra, por lo tanto se valida estadísticamente el uso de un tamaño de muestra ***n = 229*** para el proceso de *almacenamiento de contenedores descargados*. Se prosigue comprobando la independencia de los valores de la muestra con técnicas heurísticas, construyendo gráficos de dispersión.

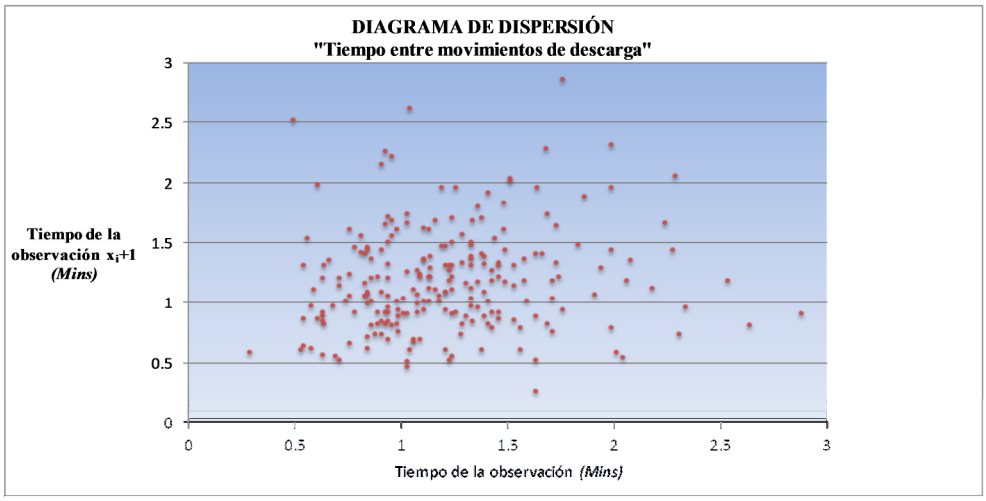


Figura 4.11. Diagrama de dispersión, proceso almacenamiento de contenedores.

En el diagrama de dispersión anterior se observan los puntos dispersos en el plano, estos no siguen un patrón o tendencia *(línea o pendiente)*. Por lo tanto se concluye que los datos son independientes y se encuentran distribuidos aleatoriamente en el plano.

4.5.1. Datos del proceso almacenamiento de contenedores ajustados con input analyzer

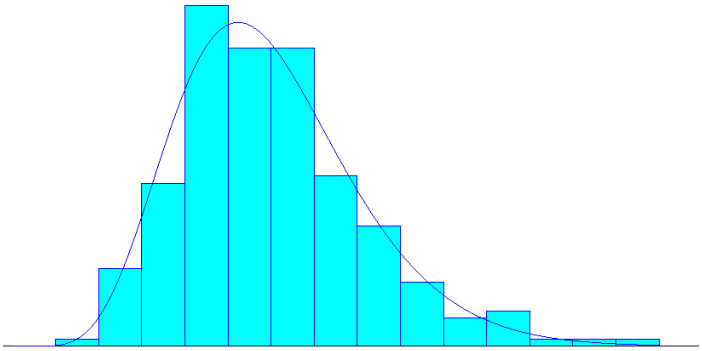


Figura 4.12. El proceso de almacenamiento de contenedores descargados se ajusta a una distribución *Erlang*.

Resumen input analyzer

Distribution: Erlang
Expression: 0.02 + ERLA (0.148, 8)

Chi Square Test
Corresponding p-value = 0.69
Kolmogorov-Smirnov Test
Corresponding p-value > 0.15

Hipótesis:

H_o: Se acepta que los datos se ajustan a una distribución teórica.
H_1: No se acepta que datos se ajustan a una distribución teórica.

Se utiliza un nivel de significancia de 1% *(α = 0.01)* para verificar los datos del proceso *carga de contenedores*, estos datos de entrada fueron analizados con la herramienta Input Analyzer del software Arena. Se comparó el valor ***p*** de la prueba *Chi-square* contra el valor de significancia ***α*** y se observa que ***p > α*** por lo tanto se acepta la **H_o** y se rechaza la **H_1**.

4.6. Envió a muelle de contenedores almacenados para carga

Datos: %EP = 10%, **α** = 5%, **n** = 179, $\bar{\mathbf{X}}$ = 1.4293, **S** = 0.6288

1. Cálculo del Error → E = 0.0470 4.1
2. Cálculo del % de Error → E = 3.2882 4.2
3. El intervalo de confianza → IC = (1.4763, 1.3823) 4.5

Se concluye que él **%EP > %E** de la muestra, por lo tanto se valida estadísticamente el uso de un tamaño de muestra ***n = 179*** para el proceso de de *carga de contenedores almacenados*. Se prosigue comprobando la independencia de los valores de la muestra con técnicas heurísticas, construyendo gráficos de dispersión.

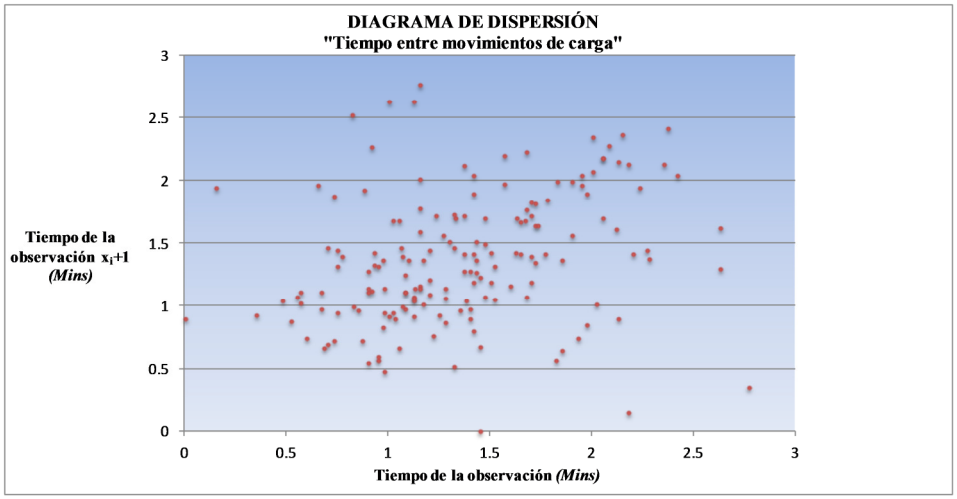


Figura 4.13. Diagrama de dispersión, proceso carga de contenedores almacenados.

En el diagrama de dispersión anterior se observan los puntos dispersos en el plano, estos no siguen un patrón o tendencia *(línea o pendiente)*. Por lo tanto se concluye que los datos son independientes y se encuentran distribuidos aleatoriamente en el plano.

4.6.1. Datos del proceso envió contenedores para carga ajustados con input analyzer

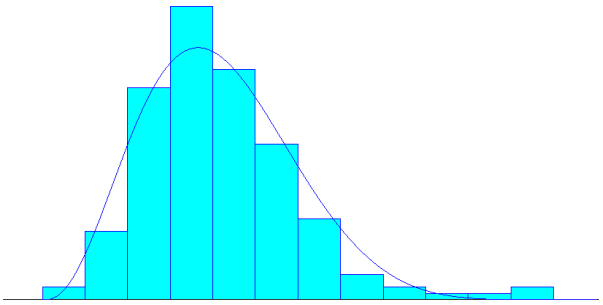


Figura 4.14. El proceso de carga de contenedores almacenados se ajusta a una distribución *Beta*.

Resumen input analyzer

Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: -0.001 + 4.46 * BETA (3.6, 7.67)

Chi Square Test

Corresponding p-value = 0.216

Kolmogorov-Smirnov Test

Corresponding p-value > 0.15

Hipótesis:

$\mathbf{H_o}$: Los datos se ajustan a una distribución Beta.

$\mathbf{H_1}$: Los datos no ajustan a una distribución Beta.

Se utiliza un nivel de significancia de 1% *(α = 0.01)* para verificar los datos del proceso *carga de contenedores*, estos datos de entrada fueron analizados con la herramienta Input Analyzer del software Arena. Se comparó el valor $\boldsymbol{p}$ de la prueba *Chi-square* contra el valor de significancia $\boldsymbol{\alpha}$ y se observa que $\boldsymbol{p > \alpha}$ por lo tanto se acepta la $\mathbf{H_o}$ y se rechaza la $\mathbf{H_1}$.

4.7. Datos proceso descarga total contenedores en un año ajustados con input analyzer

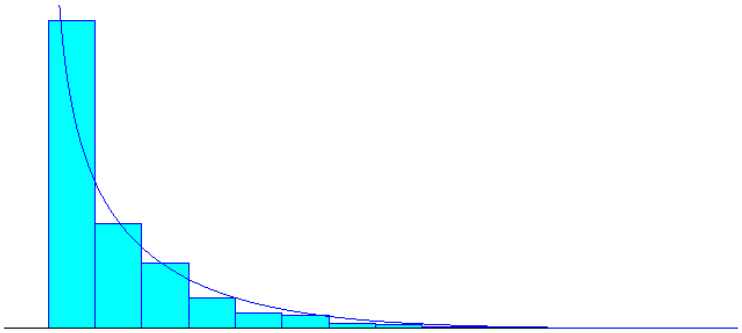


Figura 4.15. Proceso descarga total de contenedores en un año, ajustado a distribución de probabilidad tipo beta.

Resumen input analyzer
Distribution: Beta
Expression: 0.999 + 999 * BETA (0, 0)
Square Error: 0.001696

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0546
Corresponding p-value = 0.0207
Hipótesis:
$\mathbf{H_o}$: Los datos se ajustan a una distribución Beta.
$\mathbf{H_1}$: Los datos no ajustan a una distribución Beta.

Se utiliza un nivel de significancia de 1% *(α = 0.01)* para verificar los datos del proceso *Descarga total de contenedores en una año*, estos datos de entrada fueron analizados con la herramienta Input Analyzer del software Arena. Se comparó el valor $\boldsymbol{p}$ de la prueba *Kolmogorov-Smirnov* contra el valor de significancia $\boldsymbol{\alpha}$ se observa que $\boldsymbol{p > \alpha}$ por lo tanto se acepta la $\mathbf{H_o}$ y se rechaza la $\mathbf{H_1}$. Se concluye que los datos se ajustan a una distribución de probabilidad del tipo Beta.