

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Simulación de la operación de un terminal intermodal para el Puerto
de Valparaíso**

Por

Nicolás Andrés Pérez Reyes
Juan Andrés Prado Madariaga

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la
Ingeniería y título de Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Luis Seccatore Gómez

Enero, 2017

Dedico este trabajo de título a las mujeres que me apoyaron durante todos estos años, mis fieles amigas, acompañantes y consejeras. Mi madre Jessica, mi segunda madre mi abuela Catalina, mi tercera madre y no menos importante mi tía Julia, por su infinito amor, cariño, comprensión y confianza que colocaron en mi persona. Por soportar estos años lejos de ellas, por acompañarme en los buenos y malos momentos. Por ayudarme a que este momento tan importante de mi formación profesional llegara.

También agradecer a mi amigo Juan Andrés por darme la oportunidad de finalizar este proceso universitario junto a él.

Finalmente a todas las personas que se cruzaron en este camino y que me dieron palabras de aliento y apoyo, mi novia Valeria, mi hermano Adrián, mi compadre Claudio, mis amigos Diego, Jorge, Guillermo, Diego R., mis primos Rodrigo, Mario, Marcela y nuestro profesor guía don Luis Seccatore.

Gracias a todos por ser parte de esta etapa.

Nicolás Andrés Pérez Reyes

Quiero agradecer a todos los que me han apoyado en este proceso y en cumplir mis sueños y metas. Primero a mi familia, especialmente a mi mamá, mi papá y Tomás, sin ellos nada hubiese sido posible, gracias por la confianza y el cariño que siempre me han dado.

También dar las gracias a mi gran amigo Nicolás por ser mi compañero en este proceso final de la universidad, por tenerme tanta paciencia y por ser un amigo muy leal.

Quiero agradecer a mis amigos por estar siempre conmigo, en las buenas y en las malas, son la familia que uno elige y creo tener los mejores, no los nombro, pero saben quiénes son.

Al profesor Seccatore por encarrilarnos cuando estábamos un poco perdidos y por creer en nosotros y en nuestro proyecto.

Además, me gustaría hacer una mención especial a mi polola Javiera, que fue un pilar fundamental en estos últimos años y especialmente en este proceso.

Finalmente quiero dedicar este trabajo de título a dos personas que ya no están conmigo físicamente pero que me acompañan siempre, a tutty y a Javier.

Gracias totales

Juan Andrés Prado Madariaga

Índice

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
GLOSARIO DE TÉRMINOS	10
ABREVIATURAS.....	14
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPITULO 1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	17
1.1 Antecedentes de la empresa	17
1.1.1 <i>Datos de la Empresa.....</i>	<i>19</i>
1.1.2 <i>Estructura Organizacional</i>	<i>20</i>
1.2 Descripción Operación Portuaria	23
1.2.1 <i>Zona de Extensión y Apoyo Logístico ZEAL</i>	<i>24</i>
1.2.2 <i>Terminal Pacífico Sur TPS</i>	<i>26</i>
1.2.3 <i>Terminal Cerros de Valparaíso TCVAL.....</i>	<i>28</i>
1.2.4 <i>Valparaíso Terminal de Pasajeros VTP</i>	<i>29</i>
1.3 Descripción del modelo logístico de Puerto Valparaíso	31
1.3.1 <i>Servicio de transporte de carga terrestre</i>	<i>31</i>
1.3.2 <i>Servicio de recepción de nave y transferencia de carga</i>	<i>35</i>
1.4 Descripción del mercado	39
1.4.1 <i>Participación en el mercado.....</i>	<i>40</i>
1.5 Descripción realidad actual	43
1.6 Planteamiento del problema	46
1.7 Objetivos.....	48
1.7.1 <i>Objetivo General</i>	<i>48</i>

1.7.2	<i>Objetivos específicos</i>	48
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO		49
2.1	Simulación	49
2.2	Elección software de simulación	50
2.2.1	<i>Descripción del software Arena Rockwell</i>	50
2.2.2	<i>Paneles de software Arena</i>	51
2.2.3	<i>Panel de Procesos Básicos</i>	51
2.2.4	<i>Panel de Procesos Avanzados</i>	52
2.2.5	<i>Panel de Transferencia Avanzada</i>	53
2.2.6	<i>Comportamiento estadístico del Sistema</i>	54
CAPITULO 3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA		55
3.1	Metodología de Simulación Robert Sargent	55
3.1.1	<i>Entidad Problema</i>	55
3.1.2	<i>Modelo Conceptual</i>	61
3.1.3	<i>Modelo Computarizado</i>	67
3.1.4	<i>Diseño explicativo Terminal Intermodal Yolanda</i>	118
3.1.5	<i>Experimentación con el modelo diseñado</i>	123
CONCLUSIÓN		143
BIBLIOGRAFÍA		146
ANEXO 1		147
ANEXO 2		153
ANEXO 3		156
ANEXO 4		156
ANEXO 5		162

Lista de tablas

Tabla 1.1 Frente de ataque TPS	26
Tabla 1.2 Frente de Ataque TCVAL.....	28
Tabla 1.3 Transferencia de carga según tipo año 2015	42
Tabla 3.1 Datos para la simulación inicial	123
Tabla 3.2 Tiempos obtenidos en la simulación	124
Tabla 3.3 Datos para el escenario 1	128
Tabla 3.4 Tiempos obtenidos en la simulación para el escenario 1	129
Tabla 3.5 Datos para el escenario 2.....	132
Tabla 3.6 Tiempos obtenidos en la simulación para el escenario 2	133
Tabla 3.7 Datos para el escenario 3.....	136
Tabla 3.8 Tiempos obtenidos en la simulación para el escenario 3	136
Tabla 3.9 Resumen de los escenarios propuestos.....	140

Lista de figuras

Figura 1.1 Plano general de Puerto Valparaíso	18
Figura 1.2 Estructura Organizacional EPV	20
Figura 1.3 Zona de Extensión y Apoyo Logístico ZEAL.....	25
Figura 1.4 Terminal Pacífico Sur TPS.....	27
Figura 1.5 Terminal Cerros de Valparaíso TCVAl.....	29
Figura 1.6 Valparaíso Terminal de Pasajeros VTP	30
Figura 1.7 Proceso de operación transporte de carga terrestre Puerto Valparaíso	31
Figura 1.8 Diagrama del proceso de negociación.....	32
Figura 1.9 Diagrama del proceso de pre-embarque.....	33
Figura 1.10 Diagrama del proceso de control y coordinación.....	34
Figura 1.11 Diagrama del proceso de embarque	35
Figura 1.12 Proceso servicio de recepción de nave y transferencia de carga.....	36
Figura 1.13 Diagrama de procesos servicio de recepción de naves y transferencia de carga ...	38
Figura 1.14 Evolución transferencia de carga en Puerto Valparaíso.....	39
Figura 1.15 Evolución transferencia de Puerto Valparaíso por tipo de carga	40
Figura 1.16 Participación en el mercado de los Puertos Estatales el año 2015	41
Figura 1.17 Participación mercado regional terminales portuarios Región de Valparaíso	42
Figura 1.18 Vista aérea sector Yolanda. Lugar donde se realizará el proyecto TIY	47
Figura 2.1 Modelo básico basado en Arena	51
Figura 2.2 Módulo del panel de procesos básicos	52
Figura 2.3 Módulo del panel de procesos avanzados	53
Figura 2.4 Módulo del panel de transferencia avanzada	54
Figura 3.1 Plano aéreo Terminal Intermodal Yolanda	56
Figura 3.2 Diseño zona de transferencia y acopio TIY	58
Figura 3.3 Proceso y actividades terminal intermodal para exportación.....	60
Figura 3.4 Procesos y actividades del terminal intermodal para importación.....	61
Figura 3.5 Movimiento de ferrocarriles al interior del terminal multimodal	63
Figura 3.6 Operación transferencia de carga TIY	64
Figura 3.7 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución del proceso de descarga	69
Figura 3.8 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución del proceso de carga	69
Figura 3.9 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución del movimiento de grúa	70
Figura 3.10 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución enganche reach stacker	70
Figura 3.11 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución ruta importación reach stacker.....	71
Figura 3.12 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución ruta exportación reach stacker	71
Figura 3.13 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución desenganche reach stacker.....	72
Figura 3.14 Versión final modelo de simulación	74
Figura 3.15 Llegada de ferrocarriles al terminal intermodal	75

Figura 3.16 Módulo Create: Ingreso tren 1	76
Figura 3.17 Módulo Hold: Espera para ingresar a vía 1	77
Figura 3.18 Módulo Batch: Agrupar 1	77
Figura 3.19 Módulo Record: Tiempo entre llegadas 1	78
Figura 3.20 Módulo station: Estación ingreso terminal intermodal 1	79
Figura 3.21 Módulo Request: Requerimiento transporte tren 1	80
Figura 3.22 Módulo Assign: Cambio ícono a tren expo.....	81
Figura 3.23 Módulo Route: Ruta entrada al terminal / zona de transferencia.....	82
Figura 3.24 Módulo station: Estación zona de transferencia vía 1	82
Figura 3.25 Módulo free: Liberación de tren 1	83
Figura 3.26 Módulo separate: Separación de contenedores	84
Figura 3.27 Operación de transferencia mediante grúa RMG.....	85
Figura 3.28 Módulo Match: Condición 3 trenes en posición	85
Figura 3.29 Módulo Batch: Agrupar entidades para operación de transferencia	86
Figura 3.30 Módulo Hold: Espera de entidades para transferencia.....	87
Figura 3.31 Módulo Separate: Separar por tipo de proceso	88
Figura 3.32 Módulo Process: Proceso de descarga del tren	89
Figura 3.33 Módulo Process: Proceso de carga del tren.....	90
Figura 3.34 Módulo Batch: Agrupar entidades luego de la transferencia	91
Figura 3.35 Módulo Process: Proceso de cambio de fila por parte de la grúa RMG	92
Figura 3.36 Módulo Dispose: Salida de contenedores	93
Figura 3.37 Porteo interno entre zona de almacenaje y zona de transferencia.....	94
Figura 3.38 Módulo Create: Creación contenedores de importación en zona de almacenaje...95	
Figura 3.39 Módulo Station: Estación zona de almacenaje importación	96
Figura 3.40 Módulo Hold: Espera para traslado hacia la zona de transferencia contenedores de importación.....	97
Figura 3.41 Módulo Request: Requerimiento de grúa reach stacker	98
Figura 3.42 Módulo Delay: Proceso de enganche contenedor las grúas reach-stacker.....99	
Figura 3.43 Módulo Route: Ruta entre zona de almacenaje y zona de transferencia para importación.....	100
Figura 3.44 Módulo Station: Estación zona de transferencia para carga de importación.	100
Figura 3.45 Módulo Delay: Proceso de desenganche por parte de la grúa reach-stacker	101
Figura 3.46 Módulo Free: Liberación de la grúa reach-stacker.	101
Figura 3.47 Módulo Dispose: Fin proceso de traslado mediante grúas reach stacker.....	102
Figura 3.48 Salida ferrocarriles del terminal intermodal.....	103
Figura 3.49 Módulo Create salida primer tren terminal intermodal.....	104
Figura 3.50 Módulo Station: Estación zona transferencia vía 1	104
Figura 3.51 Módulo Hold: Espera salida 1	105
Figura 3.52 Módulo Request: Transporte tren importación 1	106
Figura 3.53 Módulo Route: Ruta vía 1	107

Figura 3.54 Módulo Station: Estación salida terminal intermodal 1	107
Figura 3.55 Módulo Free: Liberación tren 1	108
Figura 3.56 Módulo Dispose: Salida terminal 1	109
Figura 3.57 Módulo Transporter: Transportes a utilizar en el modelo	110
Figura 3.58 Módulo Distance: Distancias que recorren los transportes	110
Figura 3.59 Configuración corrida del modelo	111
Figura 3.60 Ingreso de trenes cargados al terminal intermodal y espera de grúas reach stacker	113
Figura 3.61 Grafica de ingreso de trenes al TIY	114
Figura 3.62 Proceso de transferencia terminal intermodal Yolanda	115
Figura 3.63 Grafica 2D de la transferencia de contenedores en el TIY	116
Figura 3.64 Salida ferrocarriles TIY	117
Figura 3.65 Grafica 2D salida de trenes TIY	117
Figura 3.66 Terminal intermodal Yolanda vista aérea	119
Figura 3.67 Entrada terminal intermodal yolanda y zona fiscalización	120
Figura 3.68 Zona de almacenamiento terminal intermodal Yolanda	120
Figura 3.69 Zona de transferencia contenedores importación terminal intermodal yolanda ..	121
Figura 3.70 Zona de Transferencia terminal intermodal yolanda	121
Figura 3.71 Zona de transferencia contenedores exportación terminal intermodal yolanda ...	122
Figura 3.72 Salida ferrocarril terminal intermodal Yolanda	122
Figura 3.73 Gráfico dispersión de excel: Tiempo total por simulación escenario 0	125
Figura 3.74 Histograma: Distribución de las frecuencias escenario 0	126
Figura 3.75 Distribución de probabilidad escenario 0	127
Figura 3.76 Tiempo total simulación por réplica escenario 1	130
Figura 3.77 Histograma: Distribución de las frecuencias escenario 1	130
Figura 3.78 Distribución de probabilidad escenario 1	131
Figura 3.79 Tiempo total simulación por réplica escenario 2	133
Figura 3.80 Histograma: Distribución de frecuencias escenario 2	134
Figura 3.81 Distribución de probabilidad escenario 2	135
Figura 3.82 Tiempo total simulación por réplica escenario 3	137
Figura 3.83 Histograma: Distribución de frecuencias escenario 3	138
Figura 3.84 Distribución de probabilidad escenario 3	139
Figura 3.85 Histograma: Comparación de las distribuciones escenarios propuestos	141

Glosario de términos

Para los efectos de la presente Memoria de Título, todas las referencias, palabras y frases que se encuentran contenidas en su texto tienen el significado siguiente:

- 1) **Agente Marítimo:** Es la persona, natural o jurídica chilena, que actúa, sea en nombre del armador, del dueño o del Capitán de una nave y en representación de ellos para todos los actos o gestiones concernientes a la atención de la nave en el puerto de su consignación (Fuente: Decreto Supremo (M) N° 374, Reglamento de Agentes de Naves).
- 2) **Agente Responsable o AR:** Es aquella Persona jurídica o natural, o sus dependientes, que prestan Servicios o que representan al armador, al consignatario de la carga o al dueño de la carga ante EPV y ante los Organismos Fiscalizadores del Estado, en todas las gestiones, operaciones, trámites y actuaciones de aquéllos al interior del recinto portuario y en los recintos periféricos. Es un Agente Responsable, entre otros, el Agente de Aduanas, el Agente de Naves, la Empresa de Muellaje, el Concesionario de Frente de Atraque y el Concesionario de otra especie.
- 3) **Cargar:** Poner un peso sobre una persona, animal o vehículo para transportarlo.
- 4) **Carga Contenedorizada:** Es la carga ingresada al interior de los recintos portuarios en Contenedores y almacenada en los mismos módulos.
- 5) **Carga General:** Es cualquier tipo de carga no líquida o sólida a granel, cuya naturaleza, forma, envase o condición de estandarización, determina su modo de manipulación, almacenamiento y transporte.
- 6) **Carga Fraccionada:** Es toda la carga general, con excepción de la carga en contenedores.
- 7) **Concesión:** Es el contrato solemne, otorgado por escritura pública, a través del cual EPV concede en forma exclusiva a la Empresa el área de concesión, para que la Empresa

ejecute obras, preste servicios, desarrolle, mantenga y explote de acuerdo a los términos especificados en el contrato.

8) Contenedor: Artefacto de transporte (caja de embalaje, cisterna amovible u otro artefacto análogo):

- a) Que constituye un compartimiento total o parcialmente cerrado, destinado a contener mercancías;
- b) Que tiene el carácter permanente y que es suficientemente resistente para permitir su uso repetido;
- c) Especialmente concebido para facilitar el transporte de mercaderías, sin ruptura de carga, por uno o varios modos de transporte;
- d) Concebido de manera de ser fácilmente manipulado, especialmente con ocasión de su trasbordo de un medio de transporte a otro;
- e) Concebido de manera de ser fácil para llenar y vaciar; y
- f) De un volumen interior de, por lo menos un metro cúbico.

9) Descargar: Quitar la carga de un transporte para posicionarlo en un lugar establecido.

10) Exportación: Es la salida legal de mercancías nacionales o nacionalizadas para su uso o consumo en el exterior y lo definido en la Ordenanza General de Aduanas.

11) Grúa Montada sobre rieles (RMG): Es la grúa tipo pórtico que operará en la transferencia de carga contenedorizada al interior del terminal intermodal. Su tarea es transportar contenedores entre los ferrocarriles y el terminal en la zona de transferencia. Este tipo de grúas puede transportar simultáneamente 2 contenedores de 20 pies, o 1 de 40 pies.

12) Grúa Reach Stacker: Es una grúa portac contenedores que estará encargada de transportar la carga contenedorizada dentro del mismo terminal portuario, trasladando la carga entre la

zona de almacenaje y la zona de transferencia. Este tipo de grúa puede transportar sólo una unidad de 20 o 40 pies.

13) Importación: La introducción legal de mercancía extranjera para su uso o consumo en el país y lo definido en la Ordenanza General de Aduanas.

14) Logística: Es el proceso de planificar, implementar y controlar eficientemente el flujo de materias primas, productos en curso, productos terminados y la información relacionada con ellos, desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente.

15) Organismos Fiscalizadores: Son, entre otros, los siguientes Servicios de la Administración del Estado que tienen facultades fiscalizadoras:

- a) Servicio Nacional de Aduanas SNA
- b) Servicio Agrícola y Manual de Servicios ZEAL
- c) Servicios de Salud y sus órganos o institutos relacionados, en especial, el Instituto de Salud Pública ISP
- d) Servicio Nacional de Pesca SERNAPESCA
- e) Comisión Chilena de Energía Nuclear CCHEN
- f) Policía de Investigaciones de Chile, en particular la BRIDERPO
- g) Ministerio de Defensa Nacional

16) Planificación Logística: Es el resultado de la reunión diaria de coordinación de operaciones logísticas que realiza la EPV con la participación de los actores involucrados en los procesos de importación y exportación de mercancías por Puerto Valparaíso. Esta reunión de coordinación de operaciones logística permite que la Empresa y cada usuario identifiquen y programe sus recursos y actividades a desarrollar.

17) Transporte Intermodal: Es la articulación entre diferentes modos de transporte utilizando una única medida de carga (generalmente contenedores), a fin de realizar más rápida y

eficazmente las operaciones de trasbordo de materiales y mercancías. Las subdivisiones del transporte terrestre (camión y ferrocarril) y las subdivisiones del transporte por agua (transporte marítimo y transporte en vías navegables interiores), se consideran como modos diferentes.

- 18) Terminal Portuario:** Conjunto de instalaciones portuarias que constituyen la interface entre el modo de transporte marítimo y los demás modos de transporte.
- 19) Transporte Terrestre:** Es el transporte que se realiza sobre la superficie terrestre. La gran mayoría de transportes terrestres se realizan sobre ruedas que podrían ser automóviles, autobuses, motos, ferrocarriles.
- 20) Usuario o Usuarios:** Corresponde a cualquier Persona, natural o jurídica, que utiliza algún Servicio Básico o Servicio Especial.
- 21) Vehículo Liberado:** Vehículo que transporta carga que ya fue fiscalizada por los organismos pertinentes, según el tipo y condición de la mercancía.
- 22) Zona de Extensión de Apoyo Logístico (ZEAL):** Es el recinto periférico al Recinto Portuario de EPV, donde se desarrollan las actividades de fiscalización a los contenedores, que está ubicada en el Camino la Pólvora S/N en el cruce Valparaíso a Laguna Verde.
- 23) Zona Primaria:** El espacio de mar o tierra en el cual se efectúan las operaciones materiales marítimas y terrestres de la movilización de las mercancías el que, para los efectos de la jurisdicción del Servicio Nacional de Aduanas, es recinto aduanero y en el cual han de cargarse, descargarse, recibirse o revisarse las mercancías para su introducción o salida del territorio nacional. Corresponderá al Director Nacional de Aduanas fijar y modificar los límites de la zona primaria.

Abreviaturas

EFE: Empresas de Ferrocarriles del Estado

EPV: Empresa Portuaria Valparaíso

ETA: Fecha estimada de arribo (*Estimated date of arrival*)

INECON: Ingenieros y Economistas Consultores

MOP: Ministerio de Obras Públicas

MTT: Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones

NOR: Carta de alistamiento (*Enlistment letter*)

RM: Región Metropolitana

RMG: Grúas de pórtico montaje en carril (*Rail Mounted Gantry*)

RTG: Grúas pórtico de patio (*Rubber Tyred Gantry*)

TCVAL: Terminal Cerros de Valparaíso

TEU: Unidad de contenedor equivalente a veinte pies (*Twenty equivalent unit*)

TIY: Terminal Intermodal Yolanda

TPS: Terminal Pacífico Sur

VTP: Valparaíso Terminal de Pasajeros

ZEAL: Zona Extraportuaria de Apoyo Logístico

Resumen

El presente trabajo de título tiene como objetivo principal construir un modelo de simulación que represente el funcionamiento del terminal intermodal Yolanda con el propósito de validar y verificar el estudio propuesto por la empresa INECON S.A sobre el desarrollo del modo ferroviario de carga para el Puerto de Valparaíso

En la actualidad, la operación del transporte ferroviario se encuentra en desuso, la empresa portuaria de Valparaíso con el fin de satisfacer la demanda del ingreso y salida de cargas e incrementar la capacidad de transferencia del puerto en el mediano plazo es que proponen el proyecto terminal intermodal en el sector de Yolanda que se utilizará como estación de transferencia de carga contenedorizada entre el puerto y el transporte ferroviario, teniendo un patio de almacenaje y una zona de inspección y fiscalización de la carga.

Mediante la aplicación de metodologías como la simulación, se ha desarrollado un modelo que representa la operación del terminal propuesto por la empresa consultora utilizando el Software Rockwell Arena.

Se evaluaron 4 posibles escenarios, uno de estos fue el sugerido por la empresa, al comprobar con nuestro estudio que la propuesta de INECON S.A no cumple con las restricciones mínimas requeridas por la empresa, se entregan 3 posibles escenarios que respetan las restricciones establecidas. Llevarlos a cabo requieren de mayor inversión y generan distintos beneficios a largo plazo, EPV con las propuestas entregadas por nosotros podrán tomar una decisión final sobre el proyecto que se adecue a sus pretensiones a futuro.

Esta memoria se enfoca exclusivamente en la operación de transferencia entre el terminal y los ferrocarriles, además del porteo interno entre la zona de transferencia y la zona de almacenaje. Involucra la cantidad de trenes a operar diariamente y la dotación necesaria de grúas para el traslado de los contenedores respectivos.

Introducción

En la actualidad, cada día es más difícil para las regiones del país, mantenerse vigentes, lograr sobrevivir a los cambios y sobresalir económicamente. Para Valparaíso esto no ha sido novedad, gracias a su puerto, la ciudad es un importante centro comercial, financiero y turístico, ya que éste, ha sido durante muchas décadas el principal puerto de Chile, y lo sigue siendo como referencia, pero actualmente es superado por el Puerto de San Antonio en cuanto a movimiento de cargas. Por otra parte, Puerto de Valparaíso, es uno de los puertos más emblemáticos de Chile. Anualmente transfiere más de 10 millones de toneladas de carga general y por sus terminales pasan sobre el 25% de todo el comercio exterior del país. Asimismo, por temporada, atiende a cerca de 40 cruceros y 150 mil visitantes, sin nombrar que es uno de los más eficientes de la costa Oeste del Pacífico, por eso es trascendental analizar su desarrollo en los próximos años, considerando que el comercio exterior de Chile se moviliza en un 95% aproximadamente a través de la vía marítima y muchas mercancías de todo el país se embarcan por el puerto de Valparaíso.

El puerto de Valparaíso cuenta con un modelo logístico y de procesos que permite administrar los flujos actuales de carga hacia cada uno de los dos terminales que posee, sin embargo, dadas las proyecciones de crecimiento es que se han establecidos implementar diversos proyectos de desarrollo para el puerto que prevén un aumento considerable en los flujos de carga en la zona logística que satisface todos los servicios de carga del puerto de Valparaíso.

Por lo anterior es que se pretende estudiar en este trabajo, el desarrollo del modo ferroviario de carga a través de un terminal intermodal para el Puerto de Valparaíso con la creación de un modelo de simulación enfocado en la propuesta de operación entregada por la empresa consultora INECON S.A. que busca corroborar si es factible ejecutar el estudio de los privados. Esto, a través de herramientas de Ingeniería y de análisis, como: diagramación de procesos, depuración de datos, análisis de escenarios, para finalmente concluir con simulaciones y entregar nuevas propuestas que ayuden a la empresa portuaria de Valparaíso a la solución del problema o mejora de los procesos.

CAPITULO 1 Descripción de la empresa

1.1 Antecedentes de la empresa

La Empresa Portuaria Valparaíso (EPV) se constituyó el 31 de enero del año 1998 por la ley N° 19.542 (Sector Portuario Estatal). Este cuerpo legal establece su marco regulatorio que se rige por las normas de las sociedades anónimas abiertas.

El Puerto de Valparaíso entrega servicios relacionados con el puerto, la infraestructura logística de apoyo, redes de conectividad, sistemas de información y tecnológicos, procesos, conocimiento y el capital humano.

Sus áreas de negocio son concesión portuaria, terminal multioperado, concesión de la zona extraportuaria de Apoyo Logístico (ZEAL).

EPV es la encargada de administrar y fiscalizar a toda aquella entidad que haga uso del puerto de Valparaíso. Como todos los puertos estatales en Chile, éstos entregan la infraestructura para realizar la operación de transferencia de carga dando a concesión la operación a empresas privadas que desarrollan el servicio de transferencia y traslado de carga y pasajeros.

Puerto Valparaíso cuenta actualmente con 2 terminales portuarios, Terminal Pacífico Sur (TPS), el cual posee 5 sitios de atraque y Terminal Cerros de Valparaíso (TCVAL) que posee 3 sitios de atraque de naves y un terminal de pasajeros (VTP), éstos son los encargados de realizar la operación de embarque y desembarque en el puerto, invirtiendo en activos fijos para la eficiente realización de la operación junto con EPV.

Además del terreno donde están los terminales, EPV es dueño y administrador de un importante espacio público de Valparaíso, como lo es el paseo del Muelle Prat, que es utilizado por pequeñas embarcaciones para paseos turísticos.

Las zonas de acopio y la zona de extensión de apoyo logístico ZEAL ubicada en la periferia de Valparaíso también pertenecen a EPV.

La coordinación logística en el puerto es efectuada entre todas las empresas que hacen uso de él, siendo éstas organizaciones fiscalizadoras, agencias marítimas, terminales portuarias, la autoridad marítima correspondiente y comandada por EPV. El plano general del Puerto de Valparaíso se muestra en la figura 1.1

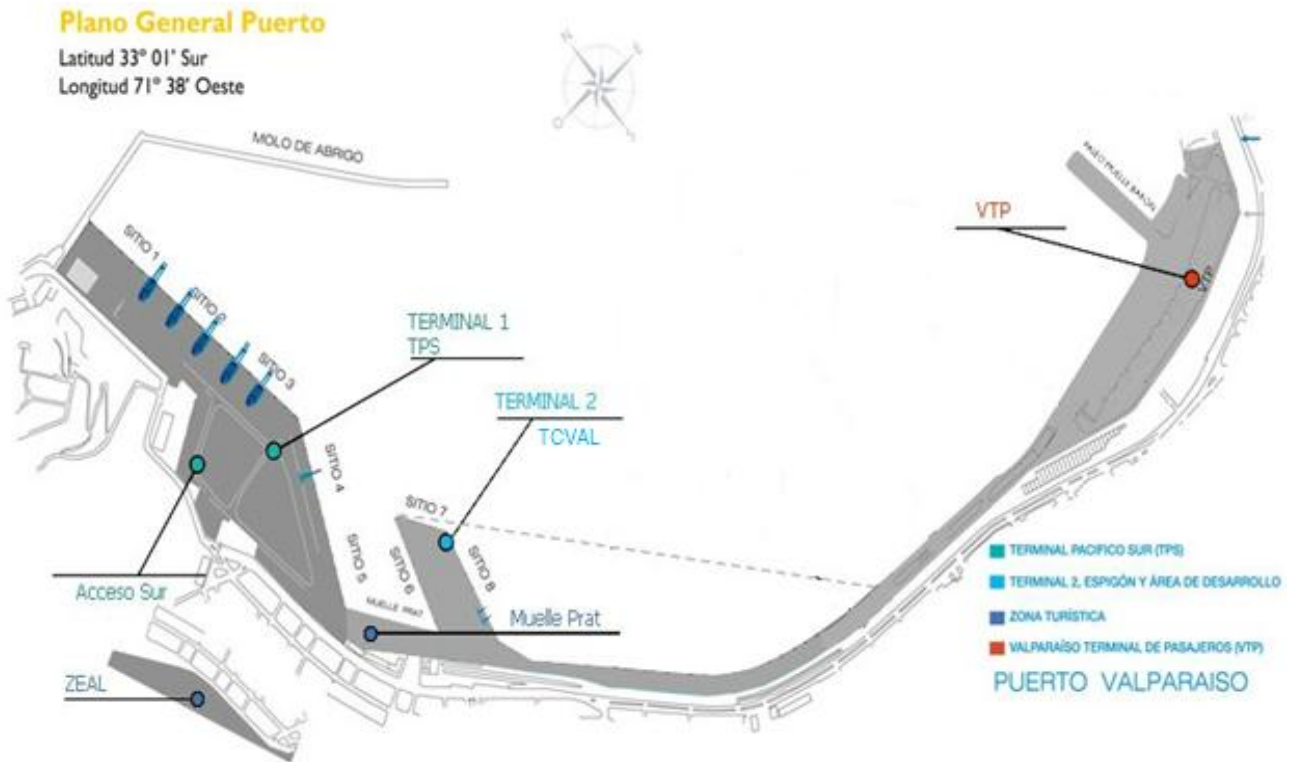


Figura 1.1 Plano general de Puerto Valparaíso

Fuente: Puerto Valparaíso

Actualmente Valparaíso es el principal puerto de pasajeros a nivel nacional y el segundo en transferencia de contenedores, además de ser uno de los puertos con mayor actividad de Sudamérica en la costa del Pacífico. Anualmente transfiere más de 10 millones de toneladas de carga general y por sus terminales se atiende sobre el 25% de todo el comercio exterior del país. Asimismo, por temporada, recibe cerca de 40 cruceros y 100 mil visitantes. [MAPV2015]

Visión

“Referente en desarrollo portuario con innovación tecnológica sostenible, en armonía con la ciudad y su patrimonio”

Misión

“Asegurar servicios de calidad a la cadena logística, contribuyendo con innovación permanente al desarrollo y competitividad del país, generando valor compartido en la relación ciudad - puerto, basado en el profesionalismo y compromiso de sus trabajadores”

1.1.1 Datos de la Empresa

Nombre: Empresa Portuaria Valparaíso (EPV)

Razón Social: Empresa Portuaria Valparaíso

RUT: 61.952.700-3

Dirección: Errázuriz 25, Valparaíso

Teléfono: (56-32) 2448800

Correo electrónico: puertovalparaiso@puertovalparaiso.cl

Sitio Web: www.puertovalparaiso.cl

Zona: Central

Dotación: 94 trabajadores

1.1.2 Estructura Organizacional

En la figura 1.2 se muestra la estructura organizacional de EPV.

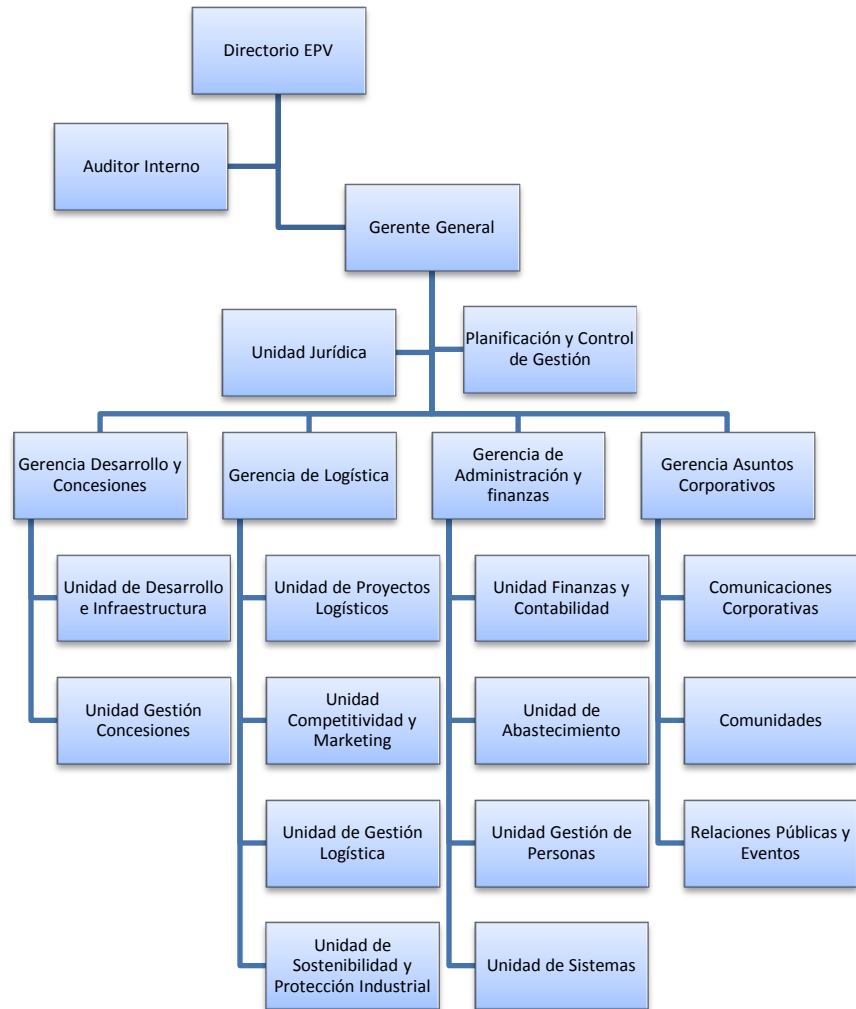


Figura 1.2 Estructura Organizacional EPV

Fuente: Puerto Valparaíso

Auditor interno: Supervisa y vela por el cumplimiento del control interno de la empresa, evitando situaciones que puedan afectar negativamente la imagen, la situación patrimonial y externalidades a la sociedad y medioambiente. Asesora al Directorio para implementar un eficaz control interno y los cursos de acción correctivos para la debida gestión administrativa, financiera y contable.

Gerente General: Lidera el diseño de propuesta al directorio, la actualización y la ejecución del Plan Estratégico de desarrollo de Puerto Valparaíso. Asimismo dirige la administración eficiente y sustentable de los factores productivos de la empresa, entre los que se cuentan los recursos humanos y financieros, bienes de capital e información.

Unidad Jurídica: Lidera la unidad jurídica de la Empresa Portuaria Valparaíso siendo el responsable del asesoramiento legal del cumplimiento en forma oportuna de las normas jurídicas, reglamentarias y estatutarias que afecten a EPV. Asesora a la gerencia general y a las gerencias y sus áreas funcionales, tanto en la interpretación y aplicación de principios y normas jurídicas como en la solución de problemas que surgen en este campo y defiende los intereses de la empresa, asumiendo la representación de ella en todo tipo de litigios o asuntos judiciales o extrajudiciales.

Planificación y Control de Gestión: Cautelar la calidad y oportunidad de la información ligada a la gestión de las áreas de la empresa, colaborando con la plataforma de antecedentes para la toma de decisiones estratégicas en Puerto Valparaíso. Planificar, coordinar y verificar la calidad sobre la información de gestión generada en las diferentes gerencias y/o áreas de la Empresa, disponiendo de la elaboración oportuna de los informes requeridos tanto para uso interno de la gerencia como para informar a organismos e instituciones externas, contralores de la actividad económica de la Empresa.

Actualizar la planificación estratégica y realizar la proyección de flujos futuros estratégicos de la empresa. Ejecutar estudios de la industria relacionadas para alimentar proceso de toma decisiones de la empresa. Administrar sistema de control de metas de la empresa y de la administración y eventual negociación de seguros generales

Gerencia Desarrollo y Concesiones: En cuanto al desarrollo físico del Puerto: Gestiona procesos para la identificación, evaluación de negocios, diseño e implementación de iniciativas para el desarrollo, explotación y conservación de infraestructura, a través de las modalidades que consagran los estatutos de EPV.

Respecto a la vinculación con terceros (concesiones, arriendos, asociaciones, consultores o contratistas) para el efecto de obras de expansión de capacidad: Diseña los modelos de negocios y de concesión o términos de referencia, la licitación de estos y ejerce su control y administración.

Gerencia Logística: Gestiona procesos para el eficiente desempeño y desarrollo de la cadena logística del puerto, asegurando una relación fluida y armónica con todos los stakeholders, identificando e impulsando el desarrollo de los procesos y de los sistemas de información logística de comercio exterior y de apoyo a la fiscalización; la protección industrial, la prevención de riesgos y la salud ocupacional dentro de la instalación portuaria y vías de acceso vial ferroviario.

Administra los espacios físicos bajo la administración de EPV, para efectos logísticos, de pasajeros y usos por ciudadanos y turistas. Le corresponde además desarrollar negocios logísticos, la promoción comercial del puerto, la coordinación de la comunidad portuaria velando por la satisfacción de clientes directos e indirectos del puerto.

Gerencia Administración y Finanzas: Lidera los procesos del Área de Administración y Finanzas, cautelando la correcta gestión sobre los recursos financieros de EPV y las personas. Gestiona los recursos financieros, procesos contables, presupuestos, administrativos, planificación estratégica y Control de Gestión. Dirige las gestiones financieras con sujeción a las normas de la SVS, Ministerio de Hacienda, prácticas nacionales, Normas Internacionales de Contabilidad e IFRS. Define pautas generales para el buen desempeño de la administración de la empresa; propone políticas de créditos y cobranzas, seguros, adquisiciones entre otras. Vela por el mantenimiento de un adecuado sistema de información y registros de área. Provee apoyo a toda la instancia organizacional, en Abastecimiento y Finanzas, Mantenimiento e Informática.

Vela por un buen clima organizacional en la empresa, realizando la supervisión general y proveyendo el apoyo necesario en las áreas de Recursos Humanos, para su administración y promoción de buenas prácticas de liderazgo laborales.

Gerencia Asuntos Corporativos: Posiciona percepciones favorables en públicos de interés (stakeholders) internos y externos, que favorezcan la reputación de marca y faciliten el desarrollo de proyectos y actividades de la empresa, mediante la gestión de la comunicación, la publicidad y difusión, y las relaciones públicas, en un marco editorial, de imagen gráfica, valórica y de estilo empresarial que le define la alta dirección.

Ejecuta actividades relacionadas con la imagen de la empresa frente a entidades externas y público en general, responsable de los asuntos corporativos de la empresa desde una visión estratégica con un fuerte desarrollo en la promoción y difusión nacional e internacional de la empresa. Actúa como receptor de información estratégica, traspasando a las distintas unidades de gestión en materia de nuevas oportunidades o negocios para ser aprovechadas por la Empresa.

1.2 Descripción Operación Portuaria

El Puerto de Valparaíso, como se mencionó anteriormente, es administrada por Empresa Portuaria Valparaíso. Ésta, da a concesión la operación a entidades privadas que se encargan de realizar la explotación, operación y administración portuaria respectiva.

Operatoria portuaria

- Administración Portuaria
- Mercado Logístico
- Desarrollo Portuario
- Uso de Puerto
- Atención a la naves y a las cargas en terminales
- Coordinación de flujo de camiones en Puerto de Valparaíso

- Área Muelle Prat y Muelle Barón

A continuación se detalla las empresas concesionarias y sus funciones dentro del sistema portuario:

1.2.1 Zona de Extensión y Apoyo Logístico ZEAL

Es la organización encargada del control y coordinación logística, que incluye la zona primaria aduanera de Puerto Valparaíso y un conjunto de servicios agregados para la atención de la carga que es movilizada por este puerto. ZEAL es la puerta de entrada y salida física del Puerto Valparaíso donde se coordina la carga hacia o desde los terminales.

La concesión fue adjudicada por ZEAL Sociedad Concesionaria Ltda., formada por COINTER CHILE S.A. (99%) y Azvi Chile S.A. (1%) el año 2013.

En este territorio ubicado en la periferia de Valparaíso se realizan diversos servicios, tanto de coordinación como de inspección. El recinto se divide en tres áreas de gestión según los servicios que realiza:

- ZEAL Actividades Obligatorias (ZAO): Zona de desarrollo de actividades como fiscalización, coordinación y control del tráfico a los terminales de Puerto Valparaíso para procesos de importación y exportación.
- ZEAL Recinto Aduanero (ZRA): Zona destinada al almacenamiento, guarda, inspección y servicio a la carga que aún no ha sido liberada por el Servicio Nacional de Aduanas.
- ZEAL Logística (ZL): Unidad logística que presta servicios integrales para el transporte y distribución de mercancías, otorgando valor agregado a la cadena logística de clientes de ZEAL.

En la figura 1.3 se muestra la infraestructura de la Zona de Extensión y Apoyo Logístico.



Figura 1.3 Zona de Extensión y Apoyo Logístico ZEAL

Fuente: Puerto Valparaíso

El recinto cuenta con un área total de 37 hectáreas, de las cuales 17 hectáreas están destinadas las actividades obligatorias ZAO y 8 hectáreas para las otras actividades como servicios de almacenaje, trasvasije y porteo. Las 12 hectáreas restantes son para ampliaciones futuras. Cabe destacar que ZEAL se une directamente con el Camino La Pólvara y recibe a la totalidad de camiones que ingresan y salen de PV.

1.2.2 Terminal Pacífico Sur TPS

Es la empresa encargada de la operación, explotación y administración del Terminal 1 de Puerto Valparaíso. Es de propiedad del Grupo Ultramar y desde el año 2000 que posee la concesión del terminal.

Terminal Pacífico Sur es un terminal de carga y pasajeros que recibe naves Full Container, Reefer, Multipropósito y Cruceros.

El terminal 1 posee un frente de atraque de 1002,7 metros dividido en 5 sitios de atraque.

Tabla 1.1 Frente de atraque TPS

Sitios	Largo total (m)	Calado máximo autorizado (m)
1	188,5	13,8
2	200,0	
3	231,5	
4	230,5	9,4
5	152,2	9,4/8,5
Total	1002,7	

Fuente: Elaboración propia

El área de respaldo tiene una superficie de 14,62 hectáreas, para el almacenamiento de carga contenedorizada y andenes reefer con más de 2.100 conexiones eléctricas para contenedores refrigerados.

La infraestructura de TPS y los sitios de atraque se muestran en la figura 1.4 a continuación.



Figura 1.4 Terminal Pacífico Sur TPS

Fuente: Puerto Valparaíso

Además cuenta con equipamiento propio para realizar las operaciones necesarias, los cuales se enumeran a continuación:

- 1 Gantry Super Post-Panamax
- 2 STS Gantry Panamax
- 2 STS Gantry Post-Panamax
- 2 Grúas GOOTWALD
- 12 Grúas de patio RTG
- Reachstakers, Top Lifters y tractocamiones.

1.2.3 Terminal Cerros de Valparaíso TCVAL

TCVAL es la entidad encargada de la operación, explotación y administración del terminal 2, también llamado Espigón. La concesión del terminal 2 se la adjudicó el grupo OHL el año 2013.

TCVAL es un terminal de carga y pasajeros que recibe naves Full Container, Reefer, multipropósito y cruceros.

El terminal 2 posee un frente de atraque total de 605 metros dividido en 3 sitios.

Tabla 1.2 Frente de Atraque TCVAL

Sitio	Largo total (m)	Calado máximo autorizado (m)
6	245,0	8,4
7	120,0	6,2
8	240,0	8,8/8,4
Total	605,0	

Fuente: Elaboración propia

El área de respaldo tiene una superficie de 6.4 hectáreas para el almacenamiento de carga contenedorizada y fraccionada. En la figura 1.5 se muestra la infraestructura y los sitios de atraque de TCVAL.



Figura 1.5 Terminal Cerros de Valparaíso TCVAL

Fuente: Puerto Valparaíso

Además cuenta con equipamiento propio para la operación del terminal, los cuales se enumeran a continuación:

- 2 Grúas GOOTWALD
- Reachstackers, Top Lifters y tractocamiones

1.2.4 Valparaíso Terminal de Pasajeros VTP

VTP es la entidad encargada del embarque y desembarque de pasajeros que arriban o parten desde Puerto Valparaíso en un viaje en Crucero, además de diversos servicios en su estadía en el recinto portuario. La concesión se la adjudicó Valparaíso Terminal de Pasajeros S.A. el año 2002. La entidad concesionaria es formada por AGUNSA (99%) y TESCO (1%). El área total que posee VTP es de 13.160 m², divididos en un edificio y estacionamientos.

En la figura 1.6 se muestra la Infraestructura de Valparaíso Terminal de Pasajeros VTP.



Figura 1.6 Valparaíso Terminal de Pasajeros VTP

Fuente: Google Earth

Los servicios que realiza el terminal se enumeran a continuación:

- Cafetería y bar
- Telefonía
- Casa de cambios
- Taxi
- Locales comerciales con artesanía

1.3 Descripción del modelo logístico de Puerto Valparaíso

El modelo logístico de Puerto Valparaíso se puede dividir en 2 tipos de servicios, el primero es el servicio de carga terrestre, donde se realizan la totalidad de servicios a la carga desde que se solicita el servicio de transporte hasta que la carga es descargada en el terminal para su posterior embarque. El segundo es el servicio de recepción de nave y transferencia de carga, el cuál comienza con la coordinación entre la nave y todas las entidades públicas y privadas que hacen uso del puerto antes de su arribo en conjunto con EPV y termina con el zarpe de la nave luego de haber transferido la carga correspondiente.

Cabe señalar que los 2 procesos mencionados están relacionados y debe hacerse la coordinación en forma paralela para que el modelo logístico funcione de buena manera.

1.3.1 Servicio de transporte de carga terrestre

El servicio de transporte terrestre de carga es un conjunto de procesos que se realizan de manera secuencial y coordinada, entre personas naturales, entidades públicas y privadas con el fin de dar cumplimiento a la entrega de la carga en el momento indicado.

Este proceso es el mismo tanto para el servicio de exportación como de importación. La operación se divide en 4 procesos principales, los cuales se muestran en la figura 1.7



Figura 1.7 Proceso de operación transporte de carga terrestre Puerto Valparaíso

Fuente: Puerto Valparaíso

Negociación: Este primer proceso se genera entre el cliente y el transportista, en el cual el cliente solicita el servicio de transporte terrestre de carga al transportista, este último le exige

una serie de requerimientos y en cuanto se verifican los requerimientos del servicio se genera una orden de servicio y luego se programa definiendo los recursos para atender el servicio.

En la figura 1.8 se muestra un diagrama del proceso de negociación del servicio de carga terrestre con sus respectivos participantes.

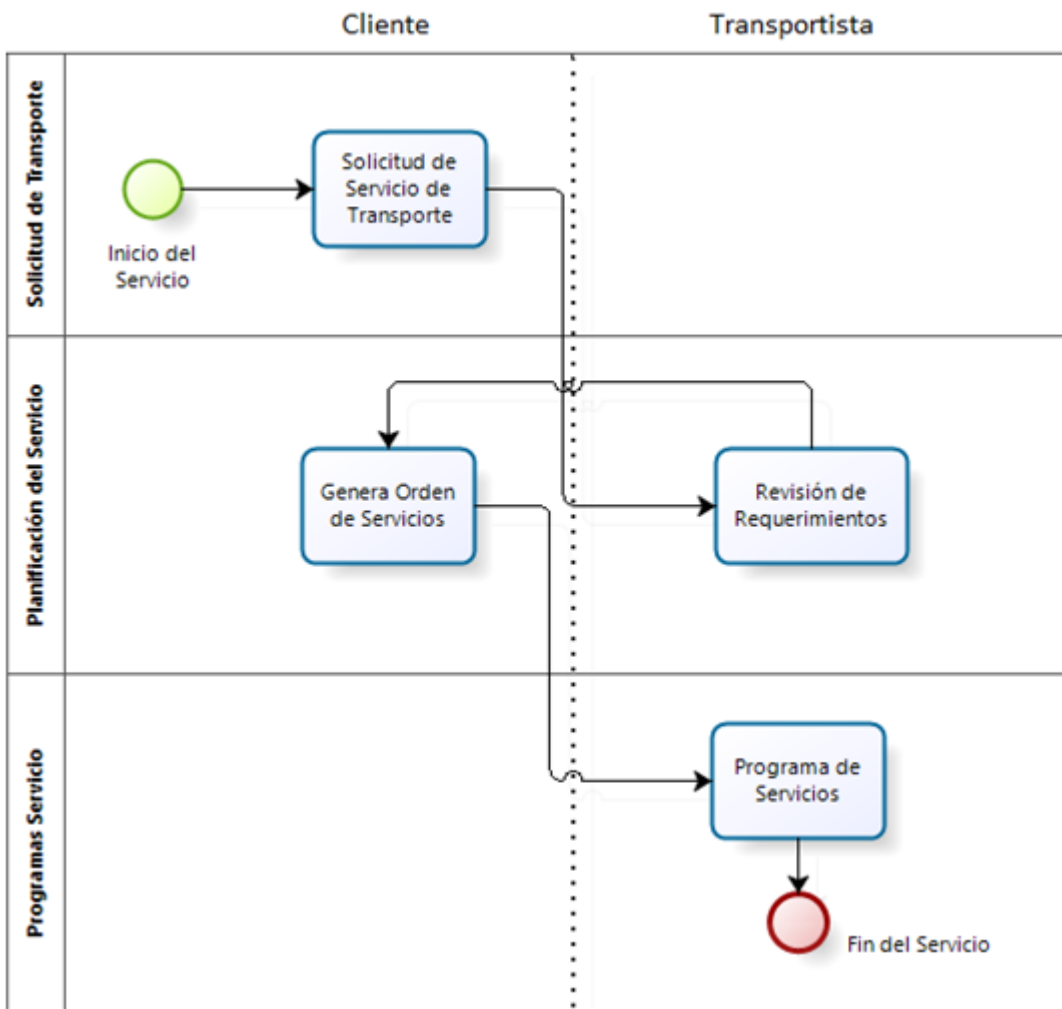


Figura 1.8 Diagrama del proceso de negociación

Fuente: Elaboración Propia

Pre-embarque: Luego de definir los recursos para atender el servicio, se asigna el transporte definiendo si es camión tipo thermo o rampla plana, según el tipo de carga y el conductor

asignado. Luego se retira la carga del depósito, se realiza la consolidación de la misma o carguío del camión según corresponda y despacho a ZEAL para su posterior inspección y coordinación.

En la figura 1.9 se muestra un diagrama del proceso de Pre-embarque con sus respectivos participantes.

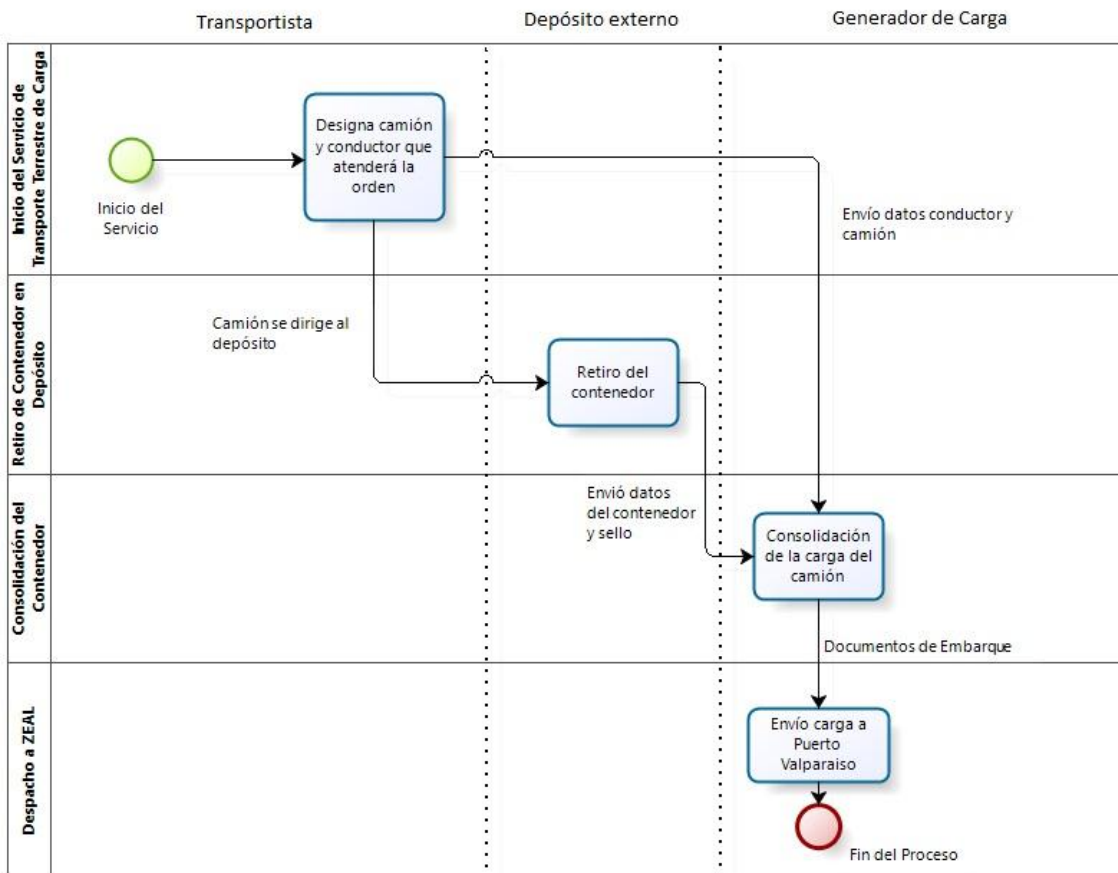


Figura 1.9 Diagrama del proceso de pre-embarque

Fuente: Elaboración Propia

Control y coordinación: Este tercer proceso ocurre al interior de la zona de extensión de apoyo logístico, donde se realiza el control e inspección de la carga por parte de los

organismos fiscalizadores y la coordinación con el terminal portuario para su posterior bajada para la transferencia con el puerto.

A continuación en la figura 1.10 se muestra un diagrama del proceso de control y coordinación para el servicio de transporte de carga terrestre.

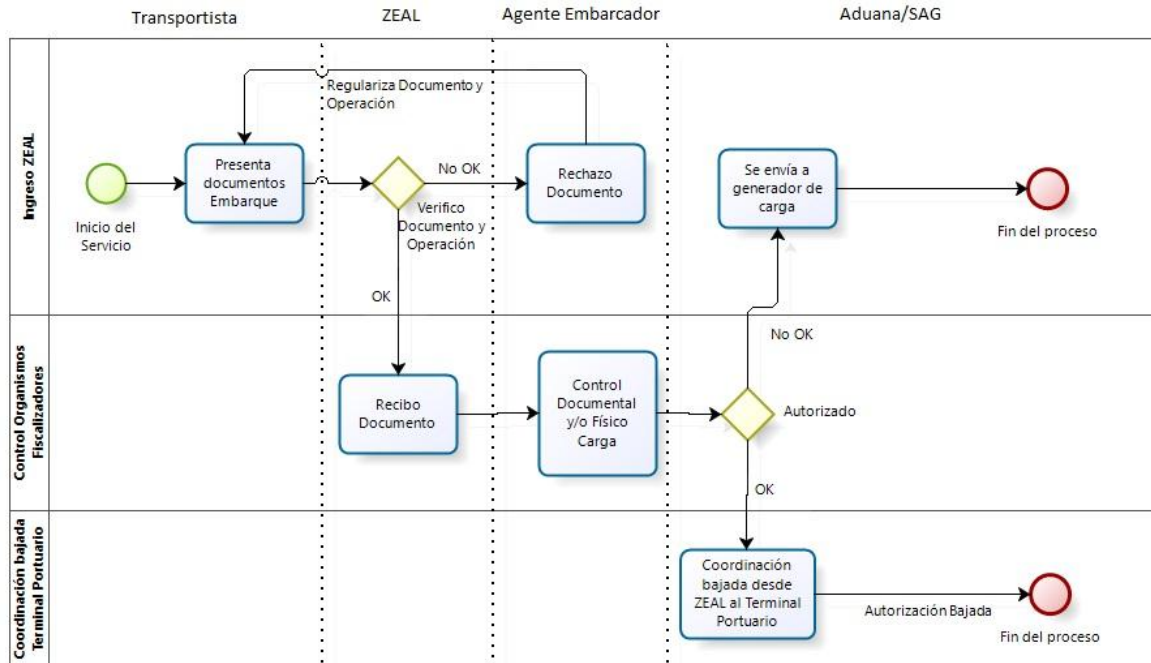


Figura 1.10 Diagrama del proceso de control y coordinación

Fuente: Elaboración Propia

Embarque: Este último proceso comienza con el ingreso al terminal portuario, donde se registra el ingreso de camiones, luego se realiza el intercambio de responsabilidad y se designa la zona donde se hará la faena de descarga o carga. En esta operación, los contenedores son bajados del camión y acopiados en las áreas de stacking del terminal a la espera de la llegada de la nave. En el caso de los contenedores reefer, se verifica la temperatura de la unidad de transporte. Para la carga fraccionada, principalmente de fruta, la faena de descarga se realiza al costado de la nave.

El terminal se hace cargo de embarcar o desembarcar la carga según corresponda a la nave correspondiente en el orden y tiempo estipulado.

La salida del terminal, corresponde al registro del camión al salir del terminal después de la descarga. Termina el proceso de transporte de carga en la salida de ZEAL por parte del camión.

En la figura 1.11 se muestra un diagrama del proceso de embarque para el servicio de transporte de carga terrestre.

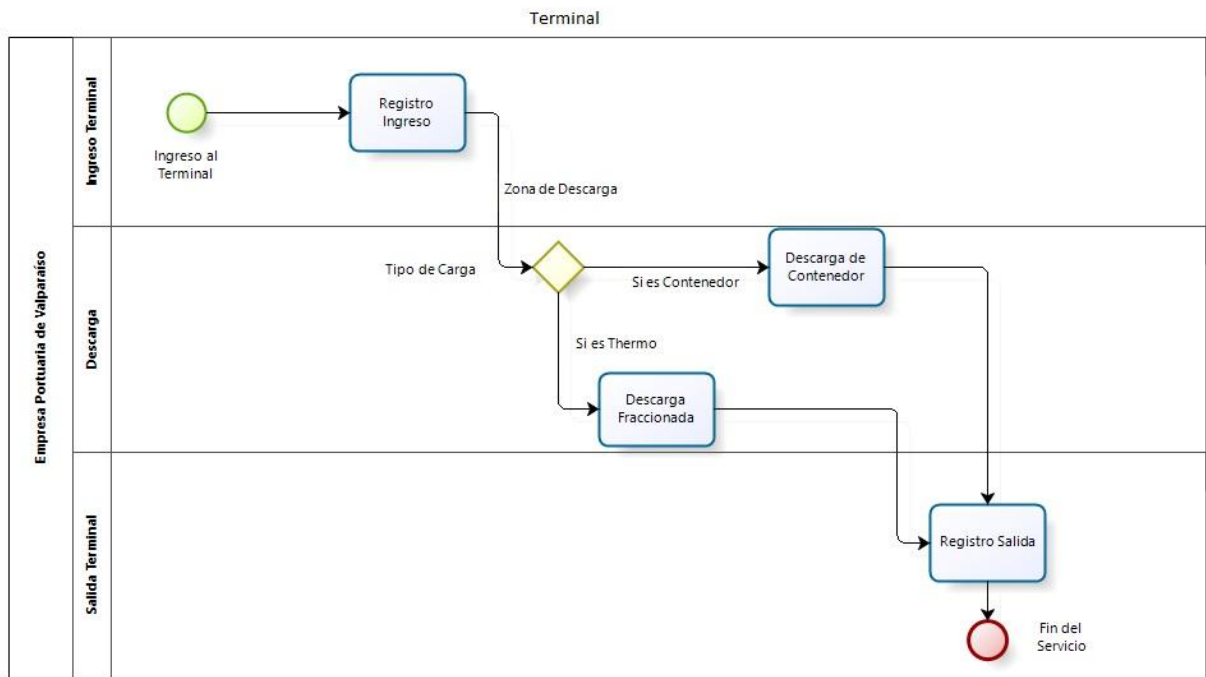


Figura 1.11 Diagrama del proceso de embarque

Fuente: Elaboración Propia

1.3.2 Servicio de recepción de nave y transferencia de carga

El servicio de recepción de nave y transferencia de carga es un conjunto de procesos que se deben realizar de manera secuencial y coordinada entre las entidades participantes en el comercio exterior con el fin de dar cumplimiento a la transferencia de la carga en los tiempos establecidos desde el puerto hacia la nave y viceversa. La operación se divide en 4 fases las cuales se muestran en la figura 1.12



Figura 1.12 Proceso servicio de recepción de nave y transferencia de carga

Fuente: Puerto Valparaíso

Coordinación previa al arribo: El primer proceso se genera entre el agente marítimo y las autoridades portuarias. Comienza con informar permanentemente la situación de la nave y la fecha estimada de arribo (ETA) al agente marítimo o consignatario para que este último coordine el arribo de la nave con las autoridades portuarias con el fin de que la misma sea atendida lo más pronto posible. Si el buque no cumple con informar con 7 y 3 días, así como con 48 y 24 horas de anticipación a su arribo, el tiempo de espera de la nave puede incrementarse en 24 horas en algunos casos. Luego la nave informa mediante el agente marítimo que está lista para el arribo presentando la carta de alistamiento (NOR). Las autoridades portuarias deben validar el estado de la nave, si cumple con los requisitos se coordina la operación de carga/descarga realizando la planificación de la nave, sino se presenta una nota de protesta al capitán de la nave mediante el agente marítimo y arreglar los problemas encontrados para presentar nuevamente la NOR.

Fondeo y atraque nave: Luego de que la nave haya arribado al puerto y la planificación está lista, se realiza la maniobra de atraque de manera inmediata con el fin de reducir el tiempo de la operación de carga/descarga en el sitio designado.

Descarga: Una vez que el buque se encuentra atracado y está listo para comenzar la operación de transferencia y la estibadora o entidad encargada en la carga y descarga de la nave está coordinada y preparada con las empresas de transporte terrestre y la planta de recepción, así como con el equipo y persona necesario para proceder de inmediato en la operación de transferencia se procederá de inmediato con la operación de carga y descarga. Durante toda la

operación de transferencia debe estar presente un representante de la agencia marítima, ya que actuará como intermediario entre la nave, autoridades portuarias y estibadoras. Se debe detallar todas las anomalías e interrupciones que suspendan el normal flujo de la operación, en caso de alguna anomalía mayor, se debe suspender la operación y enviar una carta de protesta al capitán mediante el agente marítimo. Al final de la operación se debe cerrar la operación con la firma de aceptación del capitán de la nave y del agente marítimo.

Zarpe de la nave: Al terminar la operación de carga y descarga de la nave, el agente marítimo entrega al capitán la documentación de autorización de zarpe, el agente coordina con los responsables de las operaciones portuarias, a efecto de que haya práctico, remolcador y amarradores disponibles para que el buque pueda zarpar sin pérdida de tiempo. El proceso termina con el zarpe de la nave.

A continuación se muestra en la figura 1.13 el diagrama de los procesos que están involucrados en el servicio de recepción de nave y transferencia de carga.

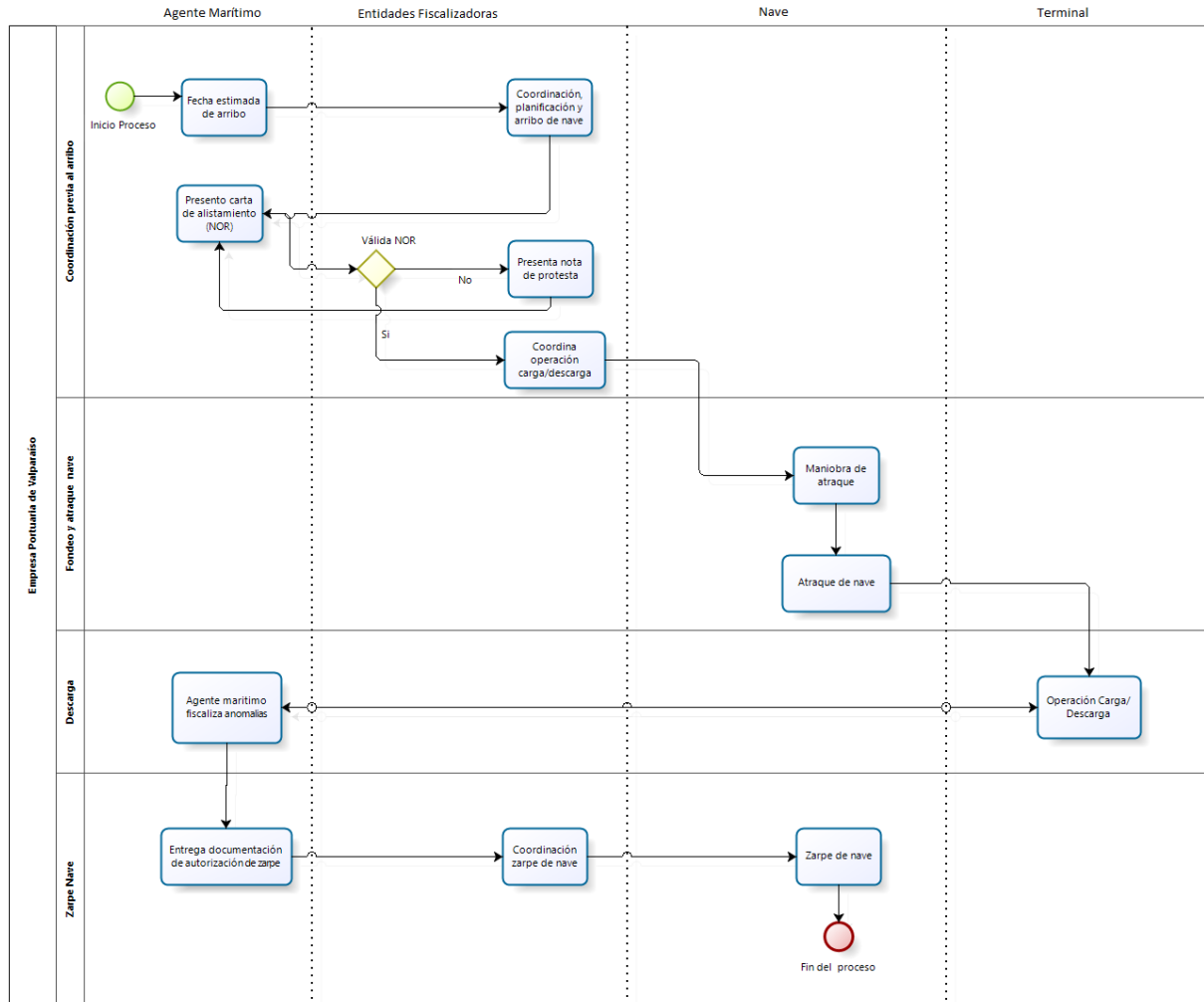


Figura 1.13 Diagrama de procesos pertenecientes al servicio de recepción de naves y transferencia de carga

Fuente; Elaboración propia

Cabe destacar, que de los procesos explicados, el proyecto a realizar se centra exclusivamente en la zona terrestre del mismo, abarcando los procesos de pre-embarque, control y coordinación; y descarga de la nave.

1.4 Descripción del mercado

El mercado se analiza mediante el volumen de transferencia de carga que realiza el Puerto de Valparaíso en comparación con los otros puertos de la zona.

El año 2015 PV transfirió un total de 10.340.584 toneladas, de las cuales un 44% fue para exportación y 56% para importación. Del total de carga transferida en Puerto Valparaíso, un 81% fue carga contenedorizada y el 19% restante carga fraccionada.

En la figura 1.14 se muestra la evolución de transferencia de carga que ha tenido Puerto Valparaíso en el Siglo XXI y en la figura 1.15 se muestra la evolución de transferencia dividido en tipo de carga.



Figura 1.14 Evolución transferencia de carga en Puerto Valparaíso

Fuente: Puerto Valparaíso

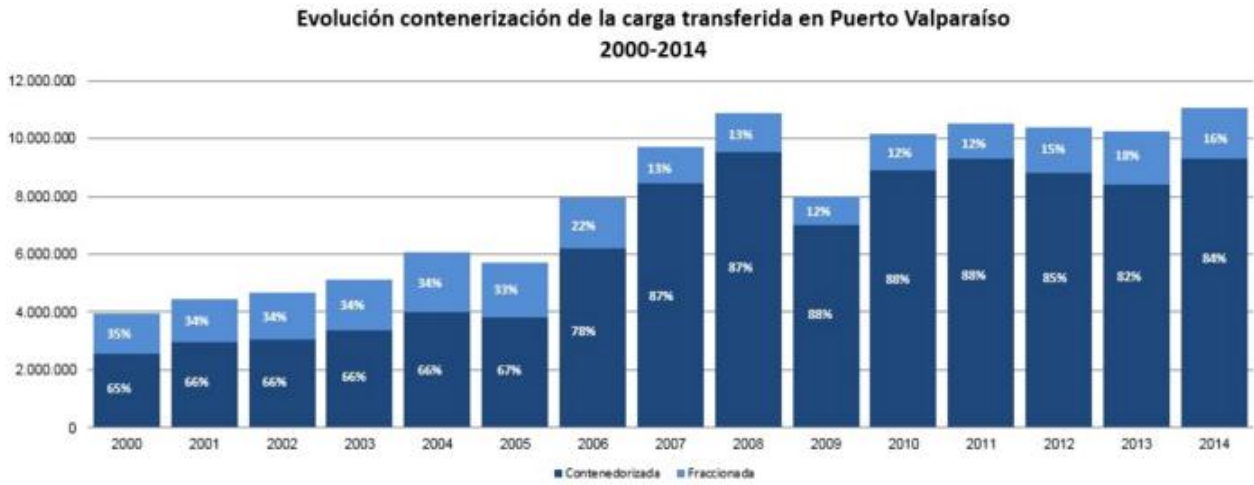


Figura 1.15 Evolución transferencia de Puerto Valparaíso por tipo de carga

Fuente: Puerto Valparaíso

1.4.1 Participación en el mercado

1.4.1.1 Participación en el mercado nacional

Puerto Valparaíso el año 2015 transfirió un total de 10.340.584 toneladas, siendo su participación del 25% del total de carga transferida en la totalidad de Puertos Estatales de Chile. En la figura 1.16 se representa lo dicho anteriormente.

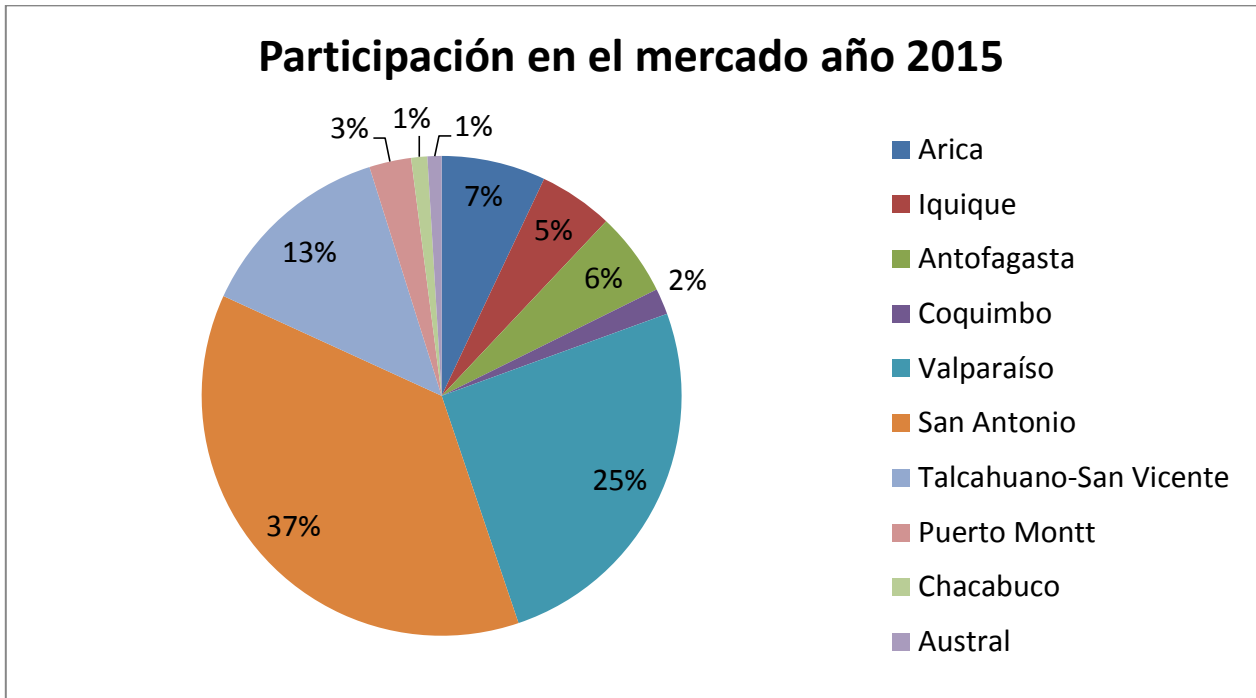


Figura 1.16 Participación en el mercado de los Puertos Estatales el año 2015

Fuente: Elaboración propia

1.4.1.2 Participación en el mercado regional

En la región de Valparaíso existen 2 Empresas Portuarias Estatales. Empresa Portuaria Valparaíso EPV y Empresa Portuaria San Antonio EPSA. Por la cercanía que poseen estos puertos con la Región Metropolitana es que son los puertos que más transferencia de carga realizan y compiten para ser el puerto principal año a año.

Los últimos años Puerto de San Antonio ha sido el puerto con mayor transferencia de carga a nivel nacional y San Antonio Terminal Internacional STI el terminal con mayor participación en Chile. En la figura 1.17 se muestra la participación en el mercado regional de los terminales portuarios de los puertos mencionados anteriormente el año 2015.

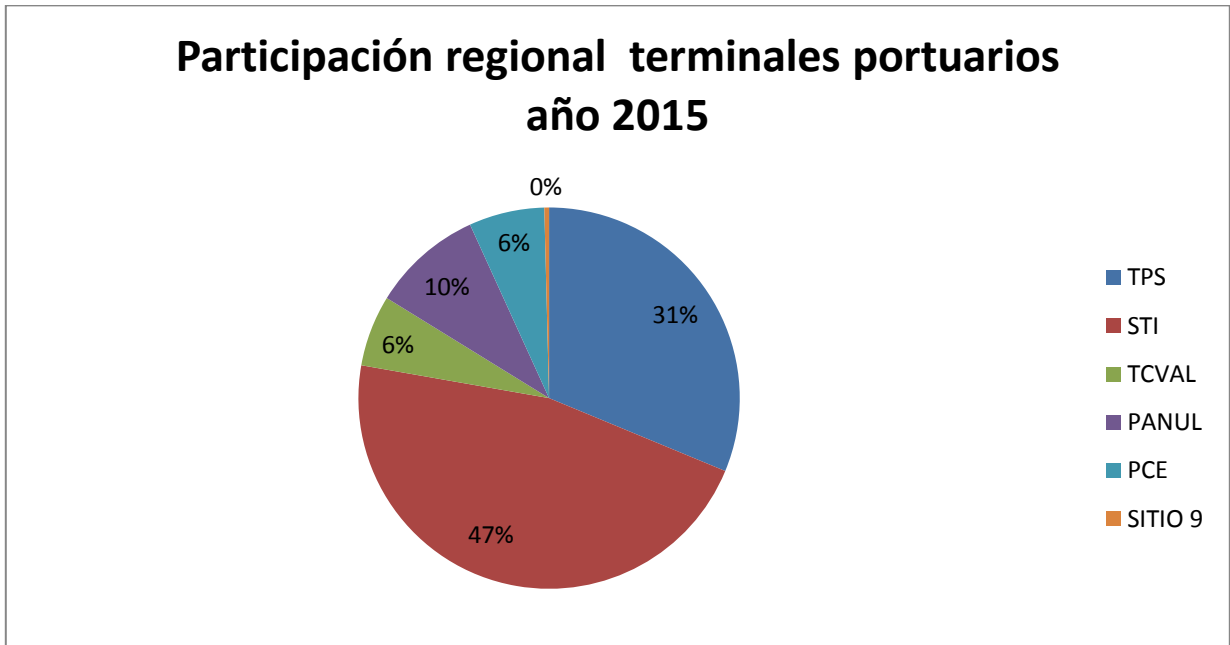


Figura 1.17 Participación en el mercado regional de los terminales portuarios en la Región de Valparaíso

Fuente: Elaboración propia

En la tabla tabla 1.3 se muestra la totalidad de carga transferida en PV el año 2015 dividido en el tipo de carga.

Tabla 1.3 Transferencia de carga según tipo año 2015

Evolución Transferencia de Carga 2015			
Mes	Contenedorizada	Fraccionada	Total
Enero	751831	247845	999677
Febrero	725175	186305	911479
Marzo	874401	268405	1142806
Abril	726782	155722	882504

Mayo	633582	137390	770972
Junio	760823	136384	897207
Julio	647768	214596	862364
Agosto	685940	80894	766834
Septiembre	662940	159732	822672
Octubre	625489	113016	738506
Noviembre	581208	145291	726500
Diciembre	690581	128482	819063
Acumulado	8.366.520	1.974.064	10.340.584

Fuente: Puerto Valparaíso

Como se muestra en la tabla 1.3, la demanda del sistema portuario es estacional, siendo los meses de Enero, Febrero y Marzo los que más transferencias realizan. Esto se debe al aumento de carga hortofrutícola que se exporta en dichos meses, sin considerar que en la época estival también aumenta considerablemente la recalada de cruceros a Puerto Valparaíso.

1.5 Descripción realidad actual

En el contexto actual, Puerto de Valparaíso es el segundo puerto con mayor transferencia a nivel nacional y está desarrollando diversos proyectos para aumentar su capacidad de transferencia y volver a convertirse en puerto principal del país.

Puerto Valparaíso junto con Terminal Cerros de Valparaíso poseen un proyecto que consiste en la construcción de un frente de atraque y áreas de respaldo con el fin de aumentar en 1 millón de TEUS la capacidad de transferencia, permitiendo la atención de 2 naves post-panamax en forma simultánea en dicho terminal portuario. El proyecto se encuentra en el proceso de evaluación en el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). [MAPV,2015]

También existe un proyecto a largo plazo de un tercer terminal ubicado en el sector de Yolanda, donde se pueda atender a 3 naves post panamax al mismo tiempo y teniendo su propio acceso sin interferir con el flujo vehicular existente en el centro de la ciudad. Esto implicará un aumento de capacidad de transferencia de carga al doble que en la actualidad, todo lo anterior enfocado en un puerto especializado en la transferencia de carga contenedorizada.

El acceso al puerto se realiza únicamente por la zona sur por medio del camino La Pólvara, donde se une con la Zona de Extensión de Apoyo Logístico, lugar destinado a la inspección y fiscalización de la carga, esto debido a que está prohibida la circulación de camiones por el centro de la ciudad. El aumento de demanda ha hecho que los niveles de servicio disminuyan con el pasar de los años y que los esfuerzos en ampliaciones, tanto en la ruta como en ZEAL y terminales junto con las mejoras en el sistema de gestión logística no sean suficientes para el mediano y largo plazo. Es por ello que EPV junto con Empresas de Ferrocarriles del Estado poseen un convenio de colaboración que sienta las bases para el desarrollo conjunto de un terminal intermodal, en la zona norte de la bahía porteña, específicamente en el sector de Yolanda.

Este proyecto impulsado busca diseñar y ejecutar los estudios que sean necesarios para desarrollar el terminal intermodal, comprar terrenos y mejorar la vía férrea entre Santiago y Valparaíso; y organizar actividades vinculadas con la promoción del modo ferroviario, investigación y desarrollo tecnológico con la finalidad de generar otra vía de acceso al puerto de Valparaíso, además de aumentar la cantidad de transferencia de carga de contenedores hacia los terminales portuarios y mejorar el funcionamiento logístico del puerto hacia nuevos mercados, permitiendo conectar al puerto a través de todos los modos de transporte, comparándose así a la categoría de los puertos de clase mundial.

El plan de desarrollo de Puerto Valparaíso está enfocado en 3 requisitos básicos:

- Asegurar el desarrollo de la infraestructura portuaria.
- Incrementar la eficiencia logística para extraer productividad a la infraestructura que en PV es comparativamente escasa.
- Compatibilizar su desarrollo de manera armoniosa y sostenible con la ciudad

El plan de desarrollo de PV también está dirigido a la especialización portuaria, específicamente a la carga de contenedores, que en la actualidad abarca cerca del 85% del total de transferencias.

PV cuenta con alternativas de crecimiento para la capacidad de transferencia portuaria fuera de la poza de abrigo actual, por lo que ha realizado diversos estudios con la finalidad de desarrollar un nuevo terminal de contenedores, aumentando al doble la capacidad de transferencia. Estos proyectos no han avanzado por problemas con la comunidad que rechaza la implementación de los mismos en su totalidad por lo que se da como propuesta la incorporación del sistema ferroviario, que está en desuso por la falta de espacio en los terminales portuarios, lugar donde se realizaba la transferencia entre el tren y el puerto. Se propone debido a que existen vías desde la Región Metropolitana hasta Valparaíso, además de ser un sistema de transporte más eficiente y amigable con el medio ambiente. Al no existir un lugar designado en el puerto para la transferencia de la carga desde el tren al puerto, es que se desarrolla el proyecto de un terminal intermodal en las cercanías de los terminales portuarios, el cual permite incorporar nuevamente este sistema de transporte y así descongestionar la carretera y vía de ingreso actual.

La capacidad del puerto es limitada, por lo que se requiere implementar proyectos que aumenten su nivel de transferencia y que mantenga o aumente los niveles de servicio.

Puerto Valparaíso tiene el desafío de conservar y potenciar su condición de puerto principal, basando su esfuerzo en un plan ambicioso de desarrollo de infraestructura, un sistema de gestión logística basado en la eficiencia con una mirada de futuro con foco en la sostenibilidad y patrimonio.

1.6 Planteamiento del problema

La Empresa Portuaria de Valparaíso mediante la empresa INECON S.A. llevó a cabo un estudio sobre el desarrollo del modo ferroviario de carga para el Puerto de Valparaíso [INECON 14], cuyo objetivo fue diseñar a nivel conceptual, una solución para la operación del modo de transporte ferroviario que se encuentra en desuso en la actualidad con el fin de aumentar la participación de este modo en el ingreso y egreso de carga en el Puerto de Valparaíso e incrementar la capacidad de transferencia del puerto en el mediano plazo. Como solución se describe un terminal intermodal en el sector de Yolanda que se utilizará como estación de transferencia de carga contenedorizada entre el puerto y el transporte ferroviario, teniendo un patio de almacenaje y una zona de inspección y fiscalización de la carga. El traslado desde el terminal intermodal hacia los terminales portuarios se realizará mediante el uso de camiones, que utilizarán la tercera vía férrea que comienza en dicho lugar que será pavimentada y condicionada para el uso de este tipo de transporte.

Este proyecto se plantea con una mirada estratégica al puerto de Valparaíso ya que les permitirá obtener una segunda vía de acceso para sus terminales portuarios, esta entrada será por la zona norte del puerto ubicando un terminal intermodal, lugar en el cuál se realizará el almacenamiento, transferencias, fiscalizaciones e inspecciones de los contenedores que provienen de la zona norte de la Región Metropolitana para su posterior porteo o envío hacia los terminales portuarios. Esta conexión del ferrocarril será de manera directa con la región metropolitana utilizando las vías existentes que pertenecen a Empresa de los Ferrocarriles del Estado y compartiendo el trayecto ferroviario con la empresa de transporte de pasajeros Metro de Valparaíso (MERVAL), lo que significa una considerable restricción para el traslado de los ferrocarriles que serán en horario nocturno ya que durante el día estas vías son utilizadas por Merval en el tramo Limache - Puerto.

El diseño contempla toda la operación logística del terminal, el equipamiento, tecnología e infraestructura necesaria, la cantidad de grúas que operan en la transferencia de contenedores, cantidad de ferrocarriles que podrán operar diariamente, departamentos fiscalizadores entre otras entidades que permitirán el buen rodaje del proyecto.

Se sugieren cambios para una mejor operación del terminal como lo es el desplazamiento de las vías de Empresa de los Ferrocarriles del Estado hacia Avenida España en el sector de Yolanda para aumentar el patio de maniobras del terminal, la pavimentación de la tercera vía férrea existente en la zona denominada “La Vieja” que une el sector de Yolanda con los terminales portuarios con el fin de que el tránsito sea mixto (camión – ferrocarril). También considera las modificaciones del trazado Alameda – Puerto incentivando a eventuales acuerdos entre Empresa de los Ferrocarriles del Estado y Empresa de Transporte Ferroviario S.A. que beneficien el transbordo de carga entre ambas redes.

La Empresa Portuaria de Valparaíso tiene la necesidad de llevar a cabo un segundo estudio, que valide el diseño presentado con la consultora mediante un modelo que represente al terminal intermodal y sus operaciones, considerando las restricciones existentes y le entregue la dotación necesaria que permita el funcionamiento eficiente del terminal intermodal, para analizar si es factible realizar este proyecto y en qué condiciones.

El terminal estará ubicado en el sector de Yolanda, comprando los terrenos que en la actualidad corresponden a SAAM Extraportuarios y a EFE. El lugar exacto donde se desarrollará el proyecto se muestra a continuación en la figura 1.18. La superficie que integrará el terminal intermodal es de 5.23 hectáreas.

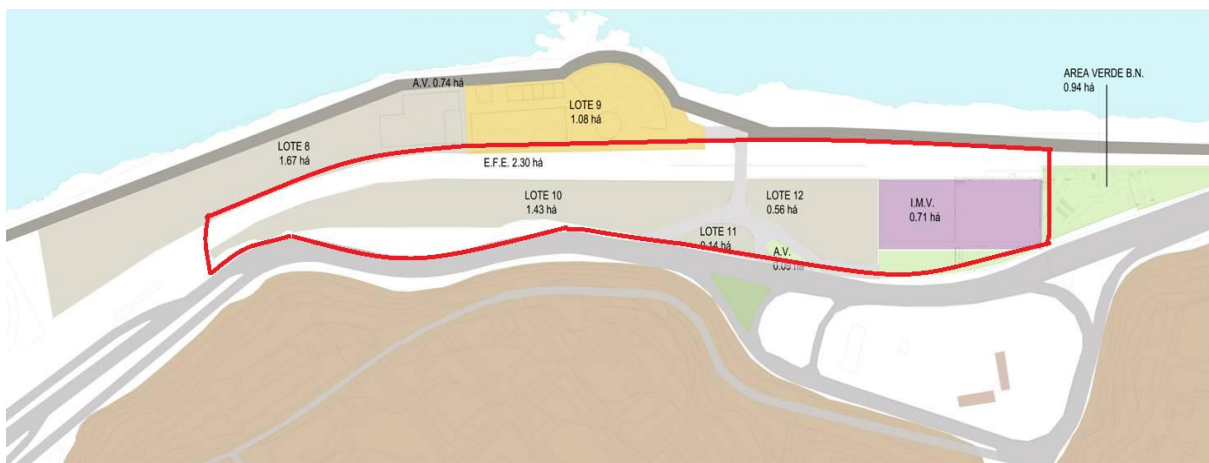


Figura 1.18 Vista aérea sector Yolanda. Lugar donde se realizará el proyecto TIY

Fuente: http://cerroconcepcion.org/sites/default/files/fotos_2009_blog/yolanda.jpg

Este proyecto será financiado en su totalidad por el Gobierno de Chile, representado por el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, además de Empresa Portuaria de Valparaíso y Empresa de los Ferrocarriles del Estado. Esta iniciativa resultará de gran relevancia de cara al futuro “corredor bioceánico” que el Estado impulsa para la zona macro central. La materialización del Terminal Intermodal Yolanda representará una inversión de US\$ 95 millones, incluyendo la compra de terrenos, el desarrollo de infraestructura y la adquisición de equipamiento para concretarlo.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Construir un modelo de operación que represente el funcionamiento del terminal intermodal Yolanda con el propósito de validar y verificar el diseño realizado por Puerto Valparaíso.

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar la flota de operación en el terminal intermodal y en el sistema de porteo.
- Construir y Verificar el modelo de simulación obtenido.
- Experimentar alternativas de operación.

CAPITULO 2 Marco Teórico

2.1 Simulación

La simulación es una técnica para analizar y estudiar sistemas complejos. Nos permite reunir información pertinente sobre el comportamiento del sistema porque ejecuta un modelo computarizado. Según [WINSTON94] se puede definir la Simulación “como la técnica que imita el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona en el tiempo”. La simulación no es una técnica de optimización, más bien es una técnica para estimar las medidas de desempeño del sistema modelado.

En contraste con las soluciones matemáticas, el proceso de simulación incluye la ejecución del modelo en una computadora, que genera muestras representativas de las medidas del desempeño, como un experimento de muestreo acerca del sistema real cuyos resultados son puntos de muestra.

De lo anterior, podemos resumir que la idea que está detrás de la simulación es:

- Imitar lógicamente una situación del mundo real.
- Estudiar las propiedades y características de operación.
- Llegar a conclusiones y tomar decisiones de acción basadas en los resultados de la simulación.

Desde hace unas décadas, la simulación ha ido adquiriendo una creciente relevancia en el ámbito industrial y de servicios, como una herramienta de análisis y consulta de diversos sistemas productivos. Ésta ha sido identificada como un poderoso apoyo en la toma de decisiones, ya que permite evaluar el desempeño de un proceso real frente a distintas situaciones de operación sin alterarlo físicamente, con el objetivo de detectar los problemas que afectan a los procesos y determinar las posibles soluciones.

2.2 Elección software de simulación.

Al utilizar el modelo de simulación, se tendrá la opción de generar llegadas de trenes, formarlos en filas de espera, aplicar alguna prioridad de atención para elegir al siguiente ferrocarril que será atendido, brindar el servicio de transferencia de carga, etc.

Actualmente, existe una considerable oferta de software de simulación en el mercado. No obstante de ello, para el desarrollo de este trabajo se ha seleccionado la utilización del software Arena Rockwell, también cabe destacar que EPV, empresa con la se trabaja en el estudio posee gran conocimiento en este software, ya que han realizado estudios anteriores con la utilización de esta herramienta de simulación.

2.2.1 Descripción del software Arena Rockwell

Arena, es un software que permite realizar simulaciones por computador bajo la plataforma Microsoft Windows, lo cual hace que su entorno gráfico y características sean familiares al usuario. Además de sus múltiples funciones, Arena tiene posibilidad de interactuar con otros softwares, por lo que permite una gran flexibilidad a la hora de interrelacionar datos de diversos programas.

En la mayoría de los casos, no hay un camino único para realizar la modelación, solo depende de la comodidad que presente cada módulo para un determinado programador. Por lo tanto, el encargado de la modelación mediante software Arena, debe tener una alta capacidad analítica y lógica para poder ingresar el modelo conceptual a un modelo computacional.

Arena, además trae herramientas incorporadas, que sirven para realizar tanto el manejo de datos de entrada, como el procesamiento de resultados y comparación de escenarios. Input Analyzer, sirve para realizar el procesamiento de los datos de entrada del modelo, mediante el cual se puede:

- Ajustar distribuciones de probabilidad.
- Realizar histogramas.

El procesamiento de resultados entregados por Arena, puede realizarse mediante la aplicación Process Analyzer, la que puede comparar y realizar gráficos de los distintos indicadores de desempeño, tanto de genéricos, como especificados por el usuario.

Output Analyzer, es una herramienta de procesamiento de resultados, que realiza histogramas, comparaciones entre muestras, intervalos de confianza, diagramas de dispersión y otros. Este software no integrado en Arena, sino que mediante los reportes entregados por Arena, puede hacer el análisis de resultados. La figura 2.1 muestra el más simple de los modelos realizados en Arena.

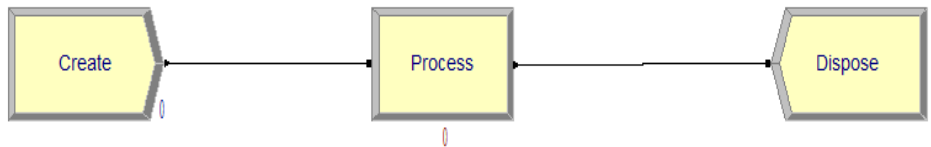


Figura 2.1 Modelo básico basado en Arena

Fuente: Elaboración Propia

El modelo consta de un módulo Create, que representa las llegadas de las entidades, luego estas entidades son procesadas en el módulo Process, para finalmente ser sacadas del sistema por el módulo Dispose. El modelo básico presentado, puede representar un negocio, con un cajero o servidor, donde hay una entrada y salida del negocio.

2.2.2 Paneles de software Arena

Arena ofrece una amplia variedad de paneles, los cuales serán usados dependiendo del propósito y nivel de complejidad del sistema que se quiera modelar. Cada uno de estos paneles se encuentra formado por módulos de diagrama y por módulos de datos. A continuación se describe brevemente cada panel.

2.2.3 Panel de Procesos Básicos

Está compuesto por módulos Create (Crear), Dispose (Disponer), Process (Procesar), Decide (Decidir), Batch (Agrupar), Separate (Separar), Assign (Asignar) y Record (Grabar).

Con los módulos nombrados se puede crear la gran mayoría de los proyectos simples. Los módulos de datos presentes en el panel básico son: Attribute (Atributo), Entity (Entidad), Queue (Cola), Resource (Recurso), Variable, Schedule (Programación), Set (Conjunto). La figura 2.2 muestra los módulos que servirán para la creación del diagrama de flujo.

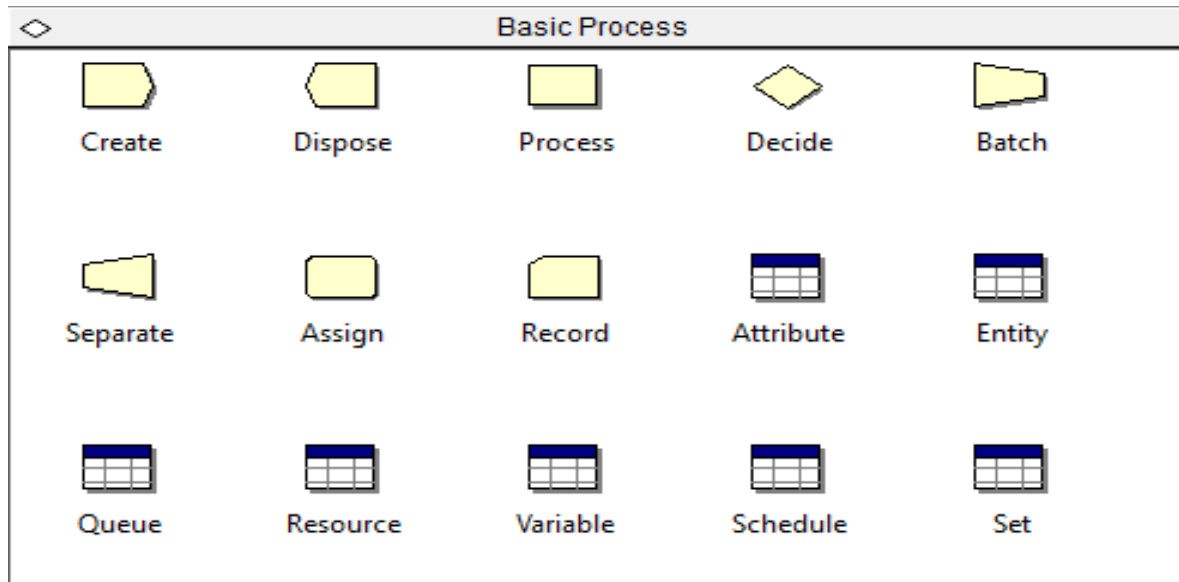


Figura 2.2 Módulo del panel de procesos básicos

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4 Panel de Procesos Avanzados

En caso de no ser capaces de modelar el sistema sólo con el panel de procesos básicos, se debe recurrir al panel de procesos avanzados, el cual posee módulos especializados que dan mayor nivel de detalle al modelo y control al flujo de entidades de un modelo. En esta plantilla de modelamiento se pueden manejar archivos externos (lectura, escritura) al igual que hojas de cálculo o archivos de texto, así mismo, se pueden generar estadísticas y complementar de muy buena forma funciones del panel de procesos básicos.

Está compuesto por los siguientes módulos: Delay (Retrasar), Dropoff (Bajar), Hold (Sostener), Match (Emparejar), Pickup (Recoger), ReadWrite (Leer Escribir), Release (Soltar), Remove (Retirar), Seize (Apoderar), Search (Buscar), Signal (Señal), Store (Almacenar), Adjust Variable (Adjuntar Variable), Advanced Set (Conjunto Avanzado), Expression Failure

(Falla de Expresión), File (Archivo), StateSet (Estado Conjunto), Statistic (Estadística), Storage (Almacenamiento). La figura 2.3 muestra los módulos avanzados que ayudarán en el diagrama de flujo.

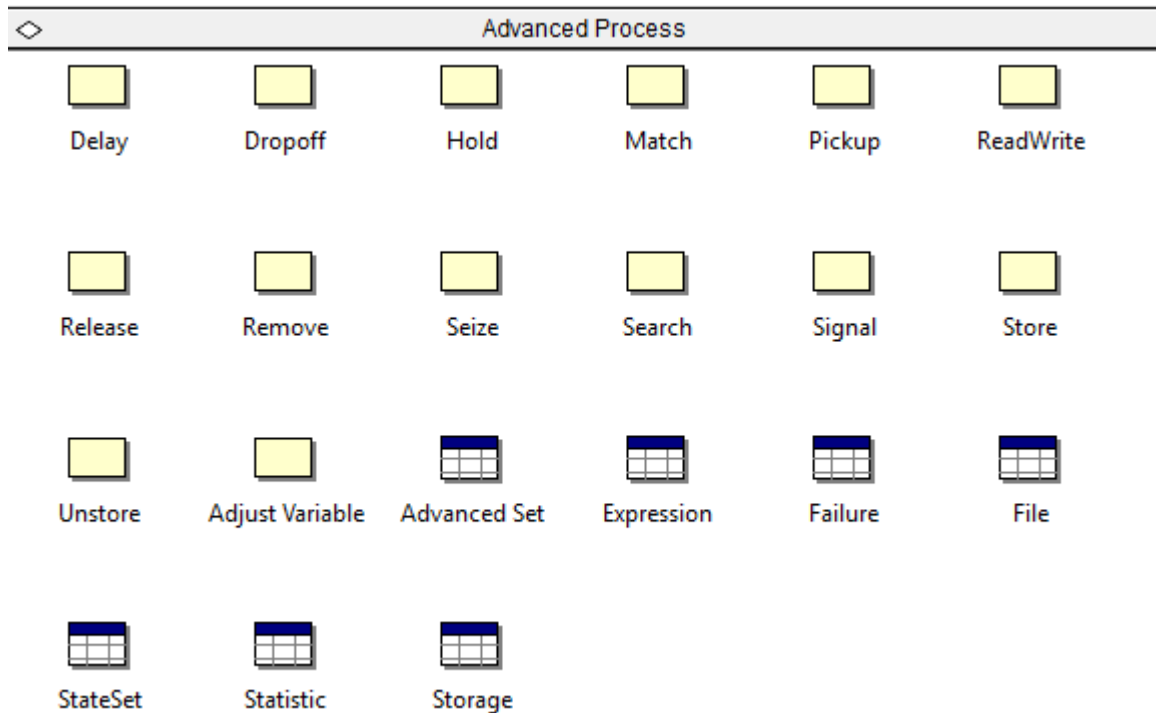


Figura 2.3 Módulo del panel de procesos avanzados

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.5 Panel de Transferencia Avanzada

En caso de querer representar el modelo de manera gráfica se debe utilizar los módulos de transferencia avanzada que permiten designar ciertas rutas que debe recorrer la entidad para llegar a la estación deseada.

Este panel está compuesto por los siguientes módulos: Enter (Entrar), Leave (Salir), PickStation (Elegir Estación), Route (Ruta), Station (Estación), Access (Vía de entrada), Convey (Transportar), Exit (Salida), Start (Dar Comienzo), Stop (Detención), Activate (Activar), Allocate (Asignar Espacio), Free (Liberar), Halt (Parada), Move (Trasladar),

Request (Requerimiento), Transport (Transporte), Sequence (Secuencia), Conveyor (Transportador), Segment (División), Transporter (Transportista), Distance (Distancia), Network (Circuito), Network Link (Circuito Enlace), Activity Area (Área Actividad). La figura 2.4 muestra los módulos avanzados que ayudarán en el diagrama de flujo.

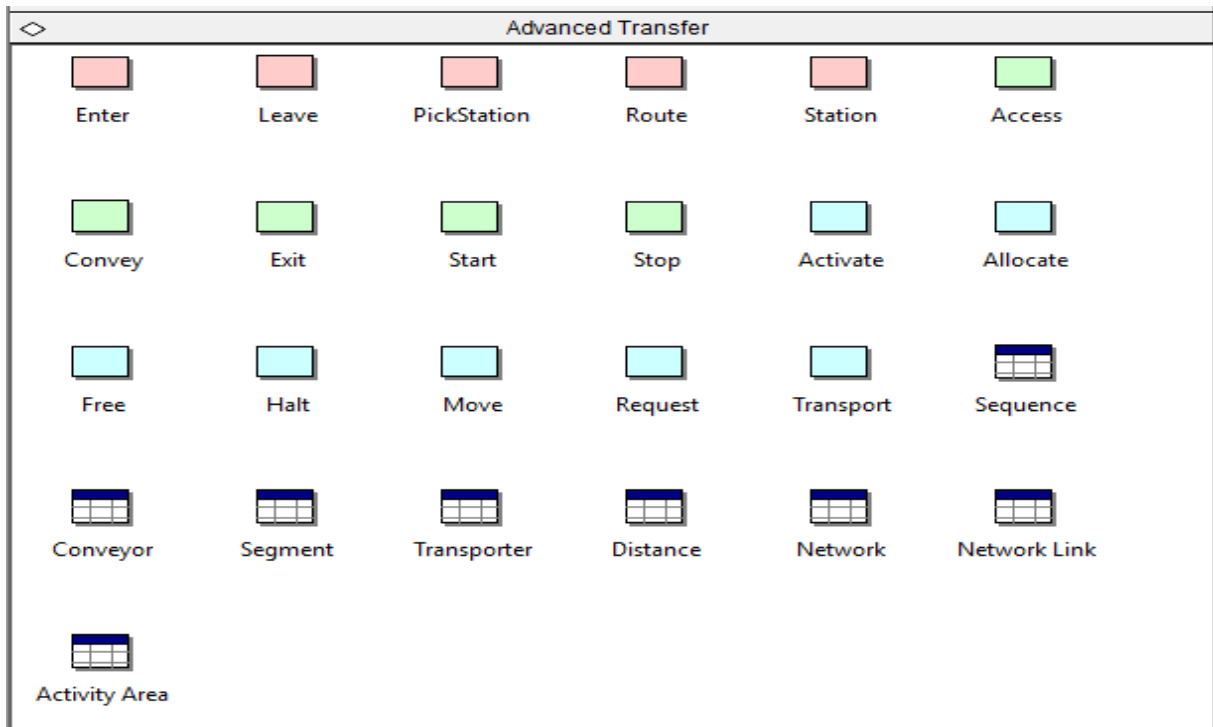


Figura 2.4 Módulo del panel de transferencia avanzada

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.6 Comportamiento estadístico del Sistema.

Para determinar el comportamiento estadístico de cada una de las etapas del proceso, deben ser utilizados los datos arrojados por el software Arena Rockwell, los cuales son ingresados para su respectiva representación y posterior análisis. En este caso, el software utilizado para dichos efectos es la herramienta de Arena Rockwell: Input Analyzer. Cabe mencionar que para obtener un acabado análisis de los datos y de las distribuciones se utilizó también el programa Minitab, puesto que en ocasiones se debe elegir con mayor precisión las distribuciones.

CAPITULO 3 Aplicación de la Metodología

Este proyecto se centrará exclusivamente en la operación del terminal intermodal y el porteo con los terminales portuarios sin considerar servicios complementarios ni los movimientos efectuados fuera del mismo, representando un modelo de simulación donde se estudiará los procesos y actividades de la operación, entregando resultados para los cuales se deberá tomar decisiones y entregar conclusiones y recomendaciones, especificando si se valida el diseño conceptual en el cual se basa este proyecto.

Para llevar a cabo el estudio se aplicará la metodología propuesta por Robert Sargent [SARGENT03] para modelar escenarios mediante la simulación describiendo el comportamiento del sistema, ya que se adapta a lo que requiere el proyecto que es diseñar un modelo conceptual y computarizado del terminal multimodal.

El proyecto TIY posee un diseño conceptual realizado por una empresa consultora, por lo que este trabajo de título se basará en aquel diseño para validar el funcionamiento de la operación del terminal intermodal.

3.1 Metodología de Simulación Robert Sargent

3.1.1 Entidad Problema

El Terminal Intermodal Yolanda consta de las siguientes zonas que se observarán en la figura 3.1 y se describirán posteriormente:

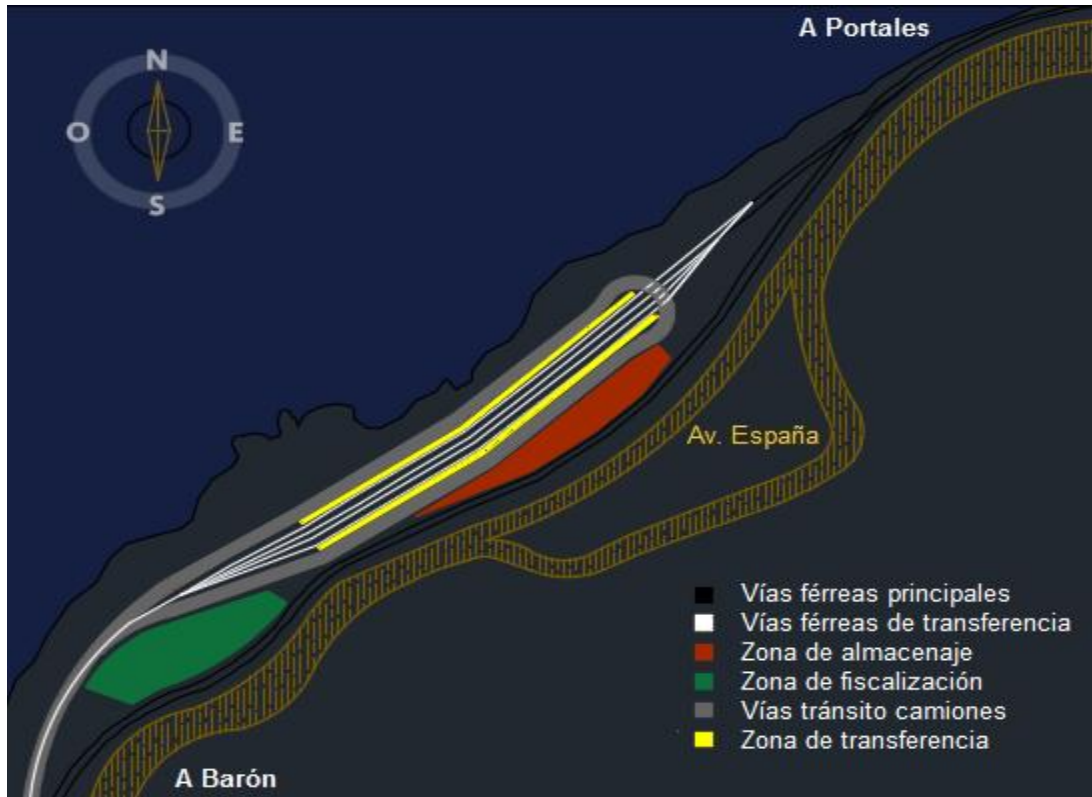


Figura 3.1 Plano aéreo Terminal Intermodal Yolanda

Fuente: Elaboración propia en base al diseño entregado por la empresa INECON S.A.

- **Zona de Transferencia:** Es el lugar en el cuál se podrá descargar la carga de exportación y cargar los contenedores de importación. Esta zona es la principal fuente de entrada y salida de mercancías del TIY, cuenta con 4 vías férreas que permiten la transferencia de carga de 3 ferrocarriles en simultáneo más una vía para el movimiento de las respectivas locomotoras. La transferencia entre el tren y el terminal la realizan grúas pórtico RMG.
- **Zona de Almacenaje:** Esta zona es el lugar donde se acopian temporalmente los contenedores, tanto de importación como de exportación para su posterior retiro del terminal intermodal, ya sea hacia los terminales portuarios como hacia el ferrocarril. La carga será organizada mediante grúas apiladoras (reach stacker). Con estas grúas se realizará la carga y descarga de los camiones que ejecutan el porteo con los terminales

portuarios y el traslado de dicha zona a la zona de transferencia. Esta zona se encuentra a un costado de la Av. España.

- **Zona de Fiscalizaciones:** Dedicada únicamente a controlar e inspeccionar las mercancías por parte de las autoridades pertinentes. Existirá un lugar designado para la fiscalización como se aprecia en la figura 3.1 y se realizará en la parte sur del terminal intermodal utilizando como base los procesos y tecnología utilizados en ZEAL. Cabe destacar que esta zona se unirá con la vía La Vieja para el tránsito de los camiones.
- **Zona Terminales Portuarios:** Lugar donde se recepciona la carga de importación que se dirige al TIY y también los contenedores de exportación provenientes del TIY para su posterior subida a sus respectivas naves. En esta zona comienza la tercera vía férrea que existe en la zona denominada “La Vieja” para el tránsito mixto camión – ferrocarril y que termina en la zona sur del TIY.

El diseño presentado considera un máximo de 6 ferrocarriles circulando completamente cargados diariamente, asumiendo la restricción existente en el horario de funcionamiento de terminal y que existe la demanda necesaria para la transferencia de carga tanto para exportación como importación, dando un total de transferencia de 140.160 contenedores anualmente, pudiendo movilizar a futuro un volumen cercano al 30% de la carga total del proyecto puerto a gran escala comandado por EPV. En la figura 3.2 se muestra el diseño de la zona de transferencia del terminal intermodal Yolanda.



Figura 3.2 Diseño zona de transferencia y acopio TIY

Fuente: INECON S.A.

Como se muestra en la figura 3.2, el terminal contempla 3 vías férreas para transferencia y una cuarta para el movimiento de las locomotoras correspondientes, posicionadas una al lado de la otra ubicadas en el centro de la zona de transferencia, teniendo al costado de éstas el área de almacenamiento de contenedores, la cual constará de 1 fila igual al largo del tren con un almacenamiento vertical máximo de 3 contenedores. Inmediatamente al lado de la zona de acopio habrá 2 vías para el tránsito de camiones y grúas reach stacker. El largo total del terminal intermodal es de 700 m. Las grúas a utilizar son grúas pórtico RMG que poseen una capacidad mayor de carga y están diseñadas para la transferencia de contenedores entre ferrocarril, patio y camión debido a su diseño y forma de moverse, además de utilizar las

grúas reach stacker para la transferencia desde dicha zona hacia la zona de almacenamiento ubicada a un costado de la Av. España.

La operación a evaluar en el terminal intermodal Yolanda se resume los siguientes acontecimientos:

Para carga de importación:

- El camión, mediante el porteo, ingresa al TIY por la zona sur.
- Se coordina el ingreso del camión a la zona de fiscalización.
- Se realiza la inspección de la carga por medio de las entidades fiscalizadoras.
- El camión se dirige a la zona de acopio del terminal.
- La carga es dejada en la zona de almacenamiento.
- La grúas reach stacker ubican los contenedores a un costado de las vías de transferencia.
- Se realiza la carga del ferrocarril con contenedores de importación.
- Se coordina la salida del ferrocarril del TIY.
- Sale el ferrocarril del TIY.
- El ferrocarril se dirige a la Región Metropolitana

Para carga de exportación:

- Se coordina el ingreso del ferrocarril al TIY.
- Ingresar el ferrocarril para la transferencia de carga.
- Se realiza la descarga del ferrocarril.
- Mediante grúas reach stacker se movilizan los contenedores hacia la zona de almacenamiento.
- Un camión toma la carga y es dirigida a la zona de inspección.
- Se realiza la fiscalización de la carga.
- Se coordina su salida del TIY.
- El camión, mediante el porteo, ingresa a los terminales portuarios.

A continuación se muestra los procesos tanto de exportación como importación con sus respectivas actividades en las figuras 3.3 y 3.4 respectivamente.

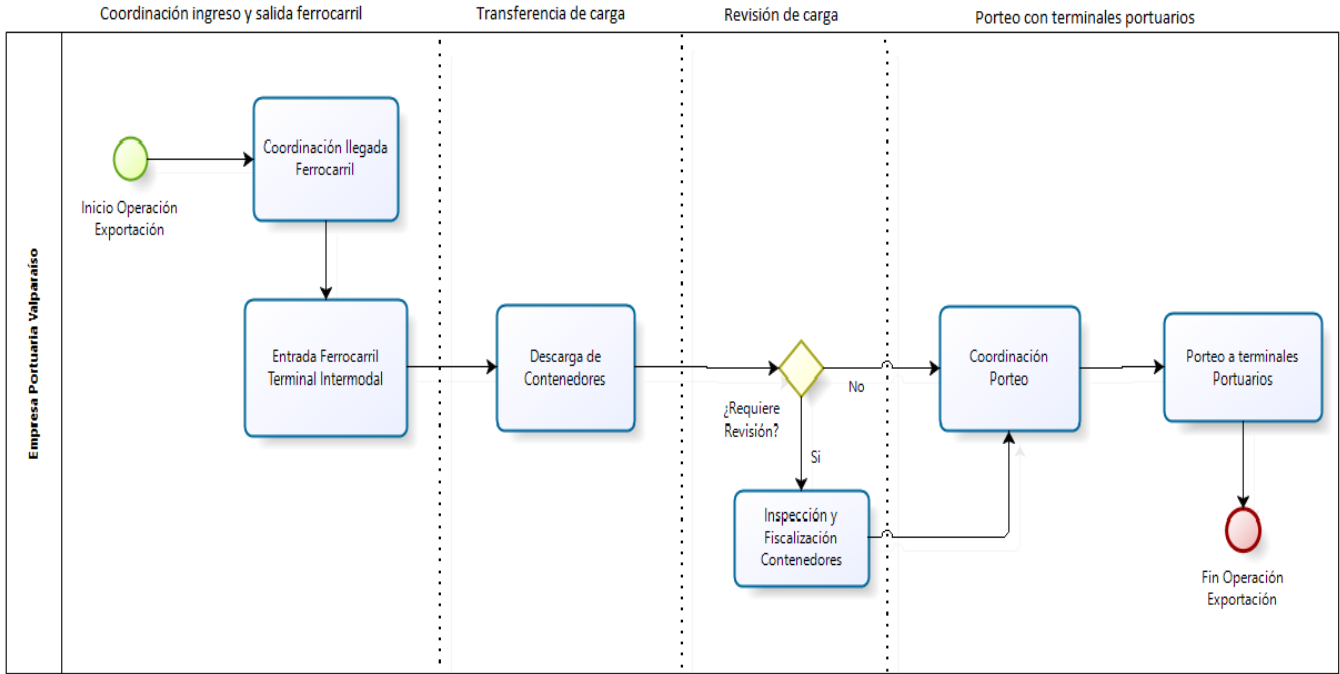


Figura 3.3 Proceso y actividades terminal intermodal para exportación

Fuente: Elaboración propia en base al diseño entregado por la empresa INECON S.A

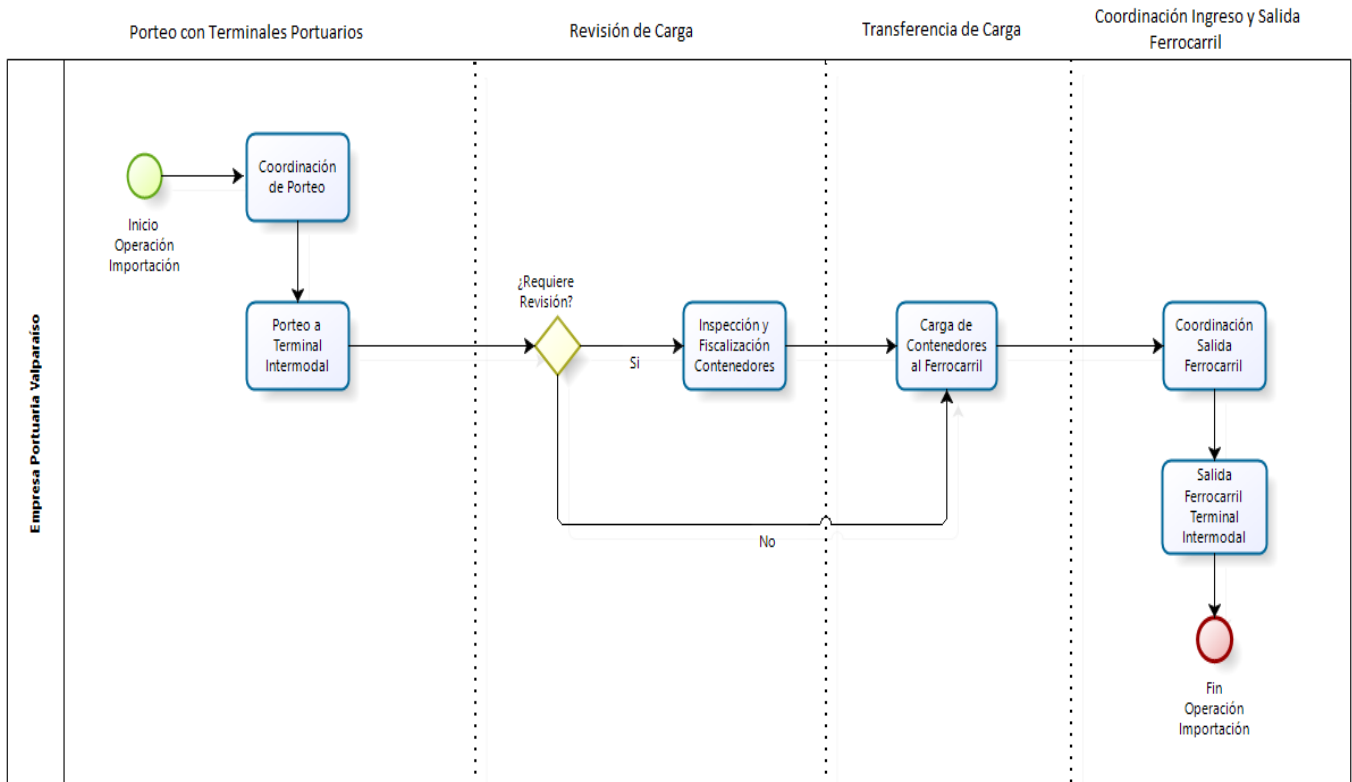


Figura 3.4 Procesos y actividades del terminal intermodal para importación

Fuente: Elaboración propia en base al diseño entregado por la empresa INECON S.A.

3.1.2 Modelo Conceptual

El análisis y modelación de la operación del terminal intermodal diseñada representan dos modelos que trabajan de manera paralela estos son la operación de transferencia, tanto descarga como carga del ferrocarril y el movimiento de las grúas reach stacker con contenedores desde la zona de transferencia hacia la zona de almacenamiento. Durante el día se realiza el porteo hasta los terminales portuarios, pasando por las fiscalizaciones e inspecciones correspondientes, estos procesos no serán considerados ya que no poseen restricción horaria y tienen el tiempo suficiente para ser realizados.

3.1.2.1 Terminal intermodal Yolanda

La operación del terminal intermodal involucra la transferencia de los ferrocarriles provenientes de Santiago, además del traslado de los contenedores hacia la zona de

almacenamiento mediante grúas reach stacker. Esta operación comienza con la descarga de los trenes con carga contenedorizada de exportación, y la posterior carga de los contenedores de importación en la zona de transferencia, mientras que el abastecimiento de contenedores de importación y traslado de contenedores de exportación se hace simultáneamente por las grúas reach stacker. Los movimientos en orden cronológico se enumeran a continuación:

- (1) Llegada del primer ferrocarril cargado de contenedores de exportación proveniente de la RM, posicionándose en el TIY.
- (2) Llegada del segundo ferrocarril y giro de la primera locomotora que llegó al TIY.
- (3) Llegada del tercer ferrocarril y giro de la segunda locomotora. El primer ferrocarril está en posición para ser descargado.
- (4) Retorno de la tercera locomotora. Los otros 2 ferrocarriles están en posición para ser descargados.
- (5) Los 3 ferrocarriles están en posición para la posterior descarga de sus contenedores.
- (6) Luego de realizada la descarga y carga del ferrocarril, se coordina la salida de los mismos del terminal.
- (7) Retorno ferrocarriles hacia Santiago cargados de contenedores de importación.

En la figura 3.5 se muestra el movimiento del ferrocarril al interior del terminal intermodal propuesto por INECON S.A. que se pretende simular.

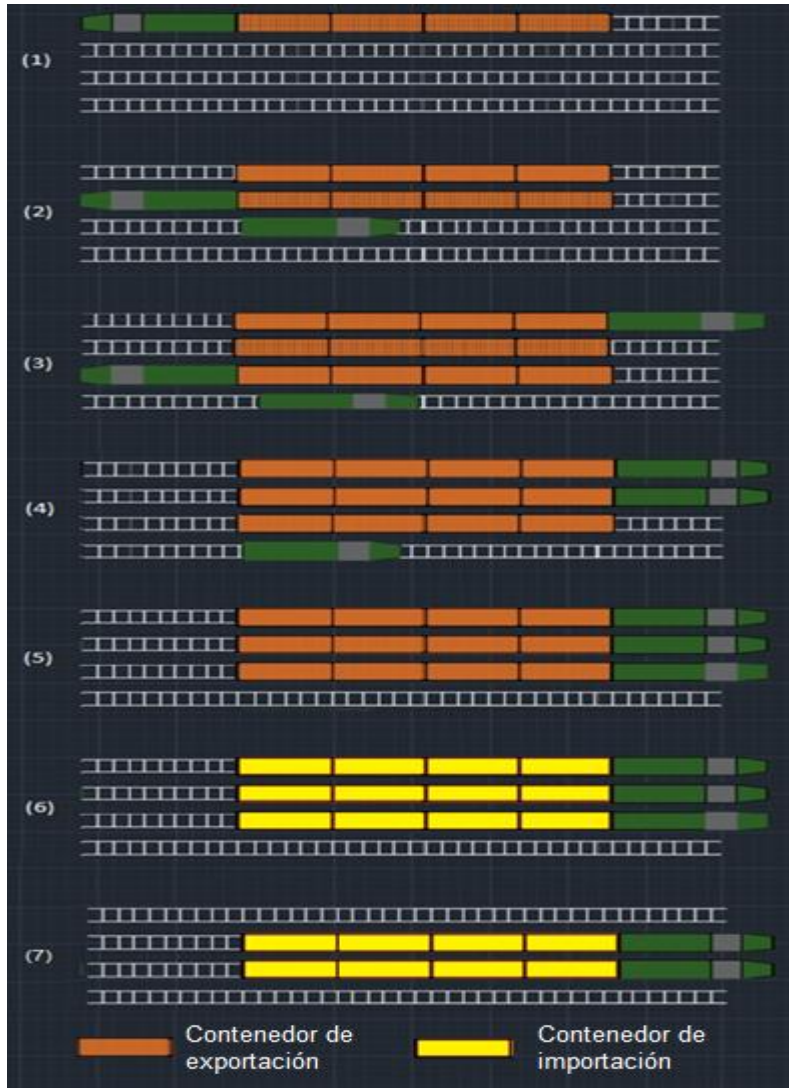


Figura 3.5 Movimiento de ferrocarriles al interior del terminal multimodal

Fuente: Elaboración Propia en base al diseño entregado por la empresa INECON S.A.

Al momento de posicionarse los ferrocarriles en el terminal, los contenedores de importación deben estar en la zona de transferencia, para esto se utilizarán grúas reach stacker con el fin de trasladar los contenedores desde la zona de almacenamiento hacia dicho lugar. Los contenedores provenientes de los ferrocarriles se depositarán en el lado oeste de la zona

de transferencia y serán derivados en forma inmediata a la zona de almacenaje también por grúas reach stacker, esto debido a que luego de realizada la transferencia de los ferrocarriles y posterior salida de los mismos del terminal en dirección a la Región Metropolitana, arriban nuevamente 3 ferrocarriles y se necesita la zona de transferencia liberada y preparada para la operación del terminal.

A continuación en la figura 3.6 se muestra la operación de transferencia de carga en el terminal intermodal con su posterior descripción.

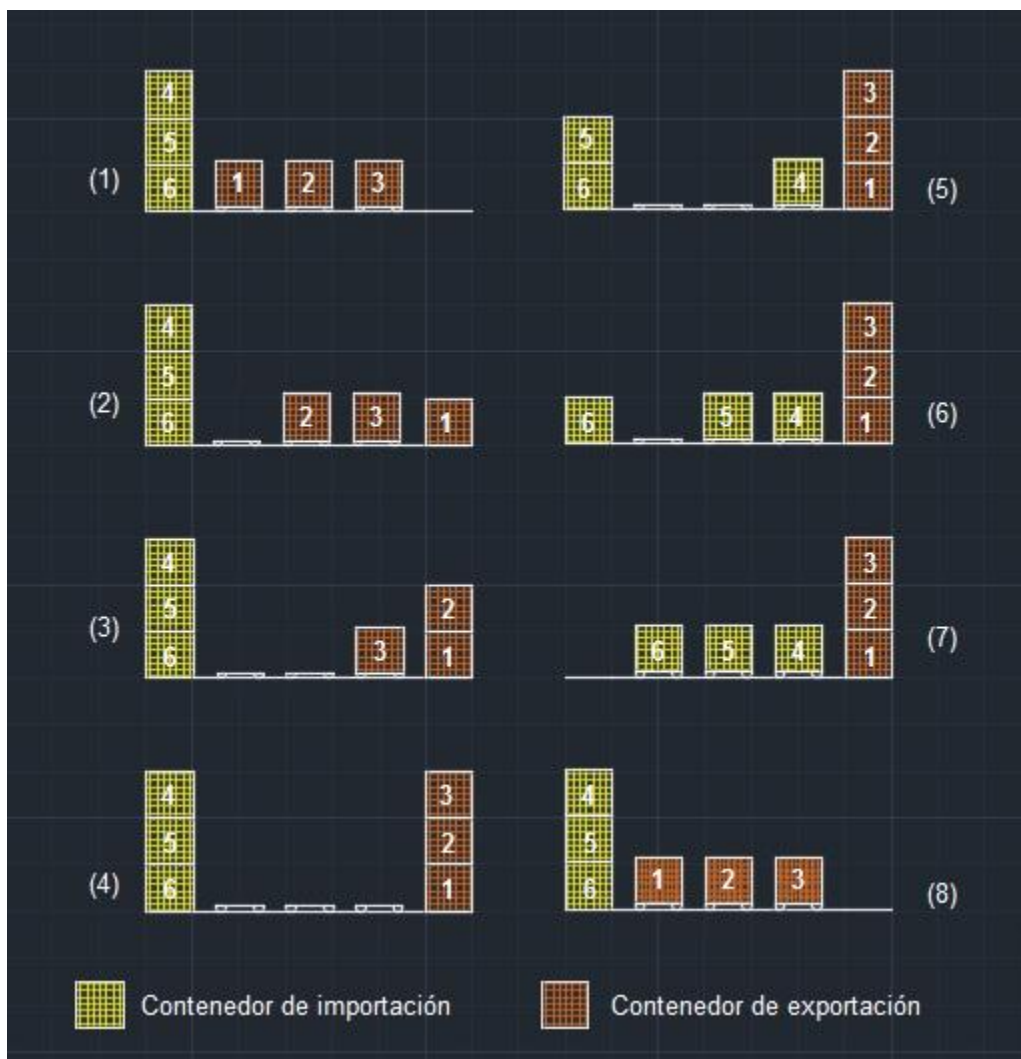


Figura 3.6 Operación transferencia de carga TIY

Fuente: Elaboración propia en base al diseño entregado por la empresa INECON S.A.

La imagen 3.6 muestra el movimiento de una fila de contenedores en la operación de transferencia del tren con el TIY realizado por grúas pórtico RMG. Es necesario mencionar que son 32 filas de contenedores que equivalen al número de carros que posee el ferrocarril y es el número al cual se decide para el diseño del terminal multimodal y con el que se trabajará en este proyecto. [INECON14].

- (1) Los trenes están en posición para su posterior transferencia de carga. Los contenedores que arribarán al ferrocarril están posicionados en la zona de transferencia y las grúas deben estar también en su ubicación.
- (2) La grúa RMG realiza la descarga del primer contenedor de la fila, el cual es depositado en el costado opuesto a la carga de importación.
- (3) Se realiza la descarga del segundo contenedor y se acopia sobre el primer contenedor descargado.
- (4) La descarga de la primera fila finaliza con el acopio del tercer contenedor sobre los anteriormente descargados.
- (5) Se realiza la primera carga del ferrocarril, depositando el contenedor número 4 sobre el carro del tren más lejano a la zona de transferencia, esto para facilitar el movimiento del carro de la grúa en la transferencia de los contenedores posteriores.
- (6) El quinto contenedor es cargado al tren correspondiente.
- (7) Se completa la carga de la primera fila del tren depositando el sexto contenedor en el ferrocarril.
- (8) Luego de realizada la descarga y carga de la fila correspondiente por parte de la grúa pórtico, ésta se desplaza a la siguiente fila para realizar el mismo proceso. Al mismo tiempo comienza el porteo interno de los contenedores de exportación desde la zona de transferencia a la zona de almacenamiento y el porteo de los contenedores de importación desde la zona de almacenamiento a la zona de transferencia para su posterior carga a los trenes que arribarán al terminal intermodal.

3.1.2.1.1 Datos movimiento grúas y portacontenedor

La recolección de datos se realizó de forma presencial al movimiento ejecutado por las grúas pórtico y Reach Stacker que posee la empresa Terminal Pacífico Sur (TPS) y Terminal Cerros de Valparaíso (TCVAL), cronometrando de manera independiente los tiempos de cada tipo de movimiento que ejecuta la grúa para la operación de transferencia del contenedor:

- Periodo de enganche (P_e): Tiempo que tarda la grúa en enlazar un contenedor para poder trasladarlo posteriormente.
- Tiempo subida sin contenedor (T_{ssc}): Movimiento vertical de la grúa hacia arriba sin carga.
- Tiempo transferencia sin contenedor (T_{tsc}): Movimiento horizontal de la grúa sin carga.
- Tiempo bajada sin contenedor (T_{bsc}): Movimiento vertical del portacontenedor hacia abajo sin carga.
- Periodo de desenganche (P_d): Tiempo que demora el portacontenedor en soltar el contenedor en el lugar especificado.
- Tiempo subida con contenedor (T_{scc}): Movimiento vertical del portacontenedor hacia arriba con carga.
- Tiempo transferencia con contenedor (T_{tcc}): Movimiento horizontal del portacontenedor con carga.
- Tiempo bajada con contenedor (T_{bcc}): Movimiento vertical del portacontenedor hacia abajo con carga.
- Tiempo movimiento de grúa (T_{mg}): Movimiento de la grúa hacia adelante o hacia atrás.
- Tiempo traslado con contenedor (T_{tcc}): Movimiento que realiza la grúa reach stacker con carga.
- Tiempo traslado sin contenedor (T_{tsc}): Movimiento que realiza la grúa reach stacker sin contenedor.

Los tiempos obtenidos de cada movimiento están relacionados con la distancia a recorrer por el portacontenedor y la maniobrabilidad realizada por cada operario de la grúa, estos se encuentran en el anexo 1, los tiempos relacionados a la grúas reach stacker se visualizan en el anexo 2.

Las mediciones tomadas de forma presencial se trabajaron de la siguiente manera:

- El tiempo correspondiente a cada desplazamiento señalado anteriormente se digitó en el software Microsoft Excel, además se detalló las distancias que recorre cada portacontenedor ya sean transferencia horizontal, traslado, subida o bajada con carga o sin carga, según corresponda.
- Cuando se tienen los datos necesarios, se trabajan en términos de unidad de medida, ya que éstos vienen dados por segundos y se necesita tener una base homogénea en minutos.
- Finalmente se obtiene la velocidad con la que opera el portacontenedor en cada desplazamiento calculando la distancia recorrida en el tiempo de traslación, otorgando diferentes medidas para cada muestra capturada.

El total de muestras fue de 239 por cada movimiento, tanto del portacontenedor como de la grúa representados en el anexo 1, mientras que el total de muestras analizadas por las grúas Reach Stacker fueron de 93 mostrados en el anexo 2.

3.1.3 Modelo Computarizado

Para el modelo computarizado, es necesario separar los procesos por tipo de operación. El software Arena Rockwell básico permite en un modelo el tránsito de 100 entidades como máximo, por ende, no es factible registrar el ingreso de las 196 entidades en el mismo. Ingresan por arriba 3 ferrocarriles con 32 filas de contenedores cada uno y existen en el terminal 3 grúas pórtico para la operación de transferencia, por lo que cada grúa descarga y carga 11 filas de 3 contenedores cada una.

En los procesos de descarga y carga se considera el traslado de los contenedores por vagón completo sabiendo que en cada fila se descargan 3 contenedores de exportación y se cargan 3 contenedores de importación, además para facilitar el modelo se simulará sólo la operación de una grúa, ya que todas trabajan de manera simultánea y transfieren la misma cantidad de contenedores de exportación e importación, por lo que en el modelo computarizado la totalidad de entidades por arriba es de 11 unidades.

De la misma manera mencionada anteriormente se trabaja con el traslado de las grúas Reach Stacker para facilitar la representación del proceso.

Las muestras se realizaron en Puerto Valparaíso y las distancias son distintas en cada muestra según la posición del contenedor. Las distancias en el proceso de transferencia en el terminal intermodal son fijas. Además, al incorporar en un solo proceso los movimientos de más de un contenedor, es que se determinó el total de distancia que recorre tanto el portacontenedor y la grúa por cada proceso de carga y descarga, incluyendo los movimientos horizontales y verticales que ésta realiza.

Distancia proceso de descarga: 86.08 metros

Distancia proceso carga: 86.22 metros

Distancia proceso movimiento de grúa: 13.86 metros

Las distancias mencionadas anteriormente se exhiben en el anexo 3 donde se muestra detalladamente el desplazamiento que recorre cada contenedor.

Las distancias recorridas por la grúas Reach Stacker para trasladar los contenedores varían dependiendo si la carga es de exportación o importación, ya que para la primera opción señalada posee una distancia promedio de 700 metros que debe recorrer la grúa bordeando todo el ferrocarril para poder ingresar a la zona oeste del terminal y retirar los contenedores provenientes de los trenes, mientras que la segunda tiene una distancia promedio de 100 metros que se deben transitar para almacenar los contenedores de importación.

Los datos definitivos de las muestras capturadas se introducen en Input Analyzer, con el objetivo de obtener la distribución que estos presenten para ser utilizados en los procesos del modelo computarizado. Las distribuciones obtenidas se muestran en las figuras 3.7, 3.8 y 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13.

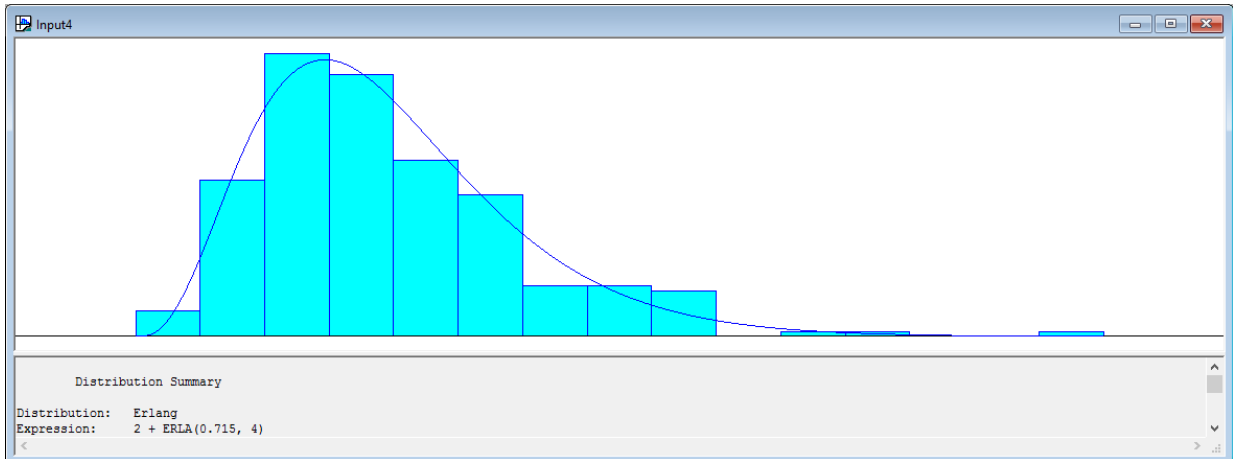


Figura 3.7 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución del proceso de descarga

Fuente: Elaboración propia

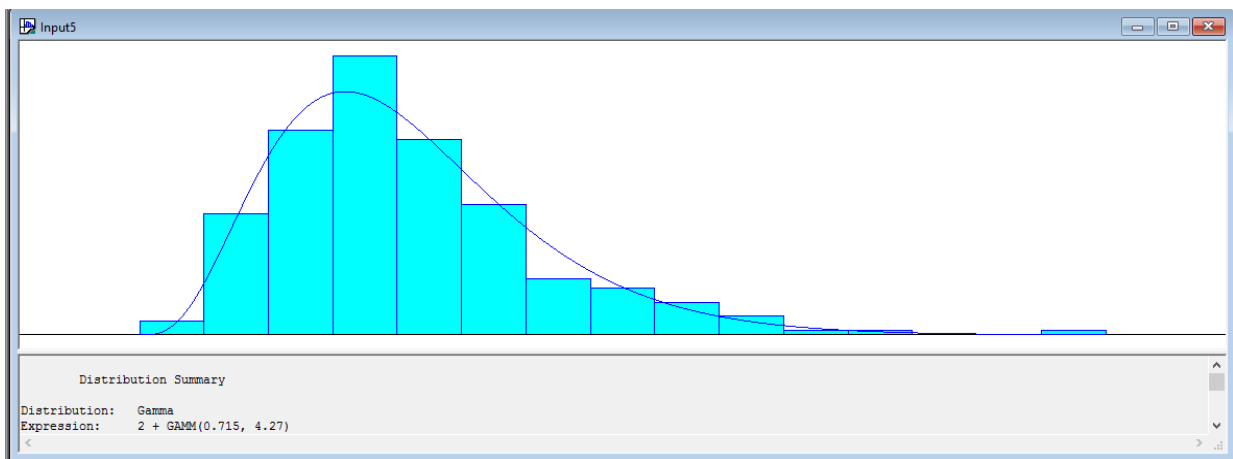


Figura 3.8 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución del proceso de carga

Fuente: Elaboración propia

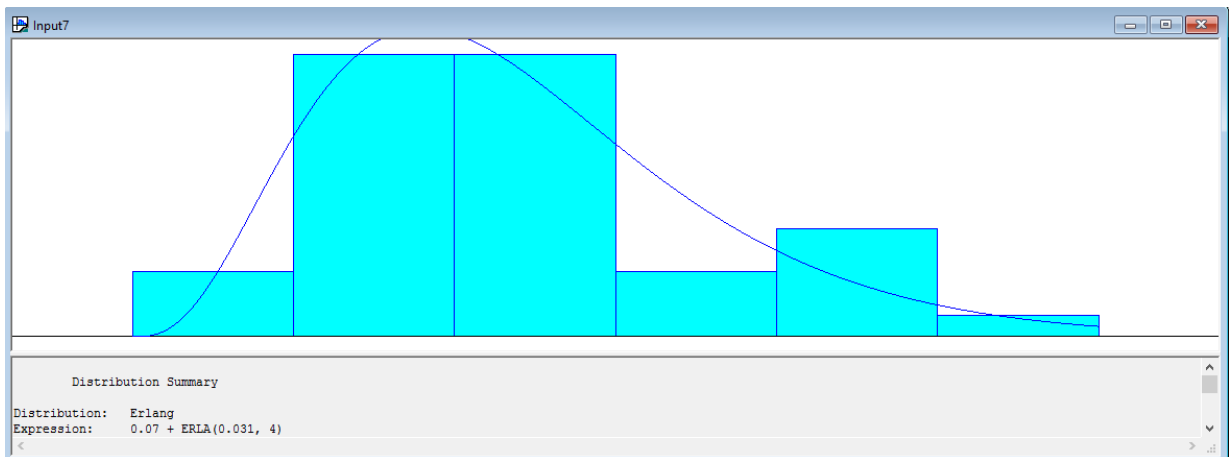


Figura 3.9 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución del movimiento de grúa

Fuente: Elaboración propia

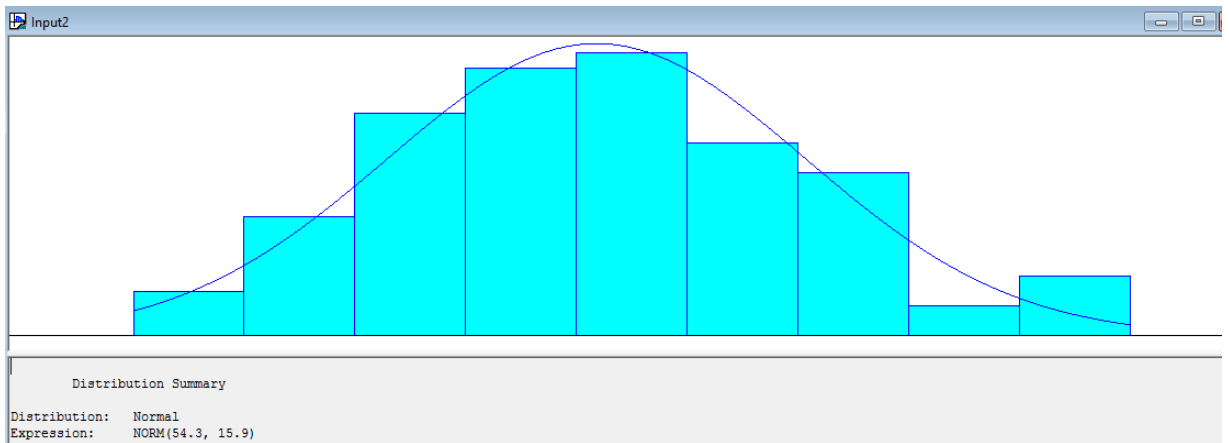


Figura 3.10 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución enganche reach stacker

Fuente: Elaboración Propia

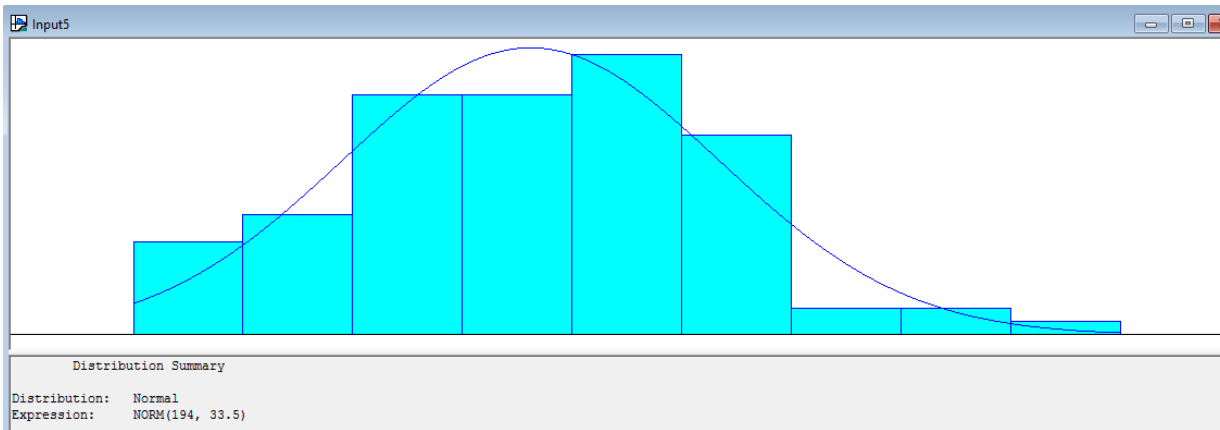


Figura 3.11 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución ruta importación reach stacker

Fuente: Elaboración Propia

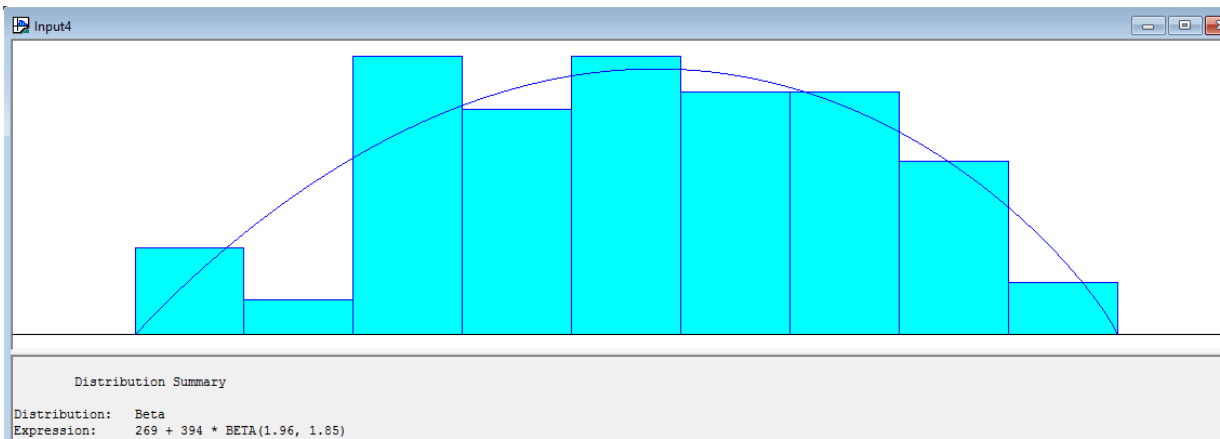


Figura 3.12 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución ruta exportación reach stacker

Fuente: Elaboración Propia

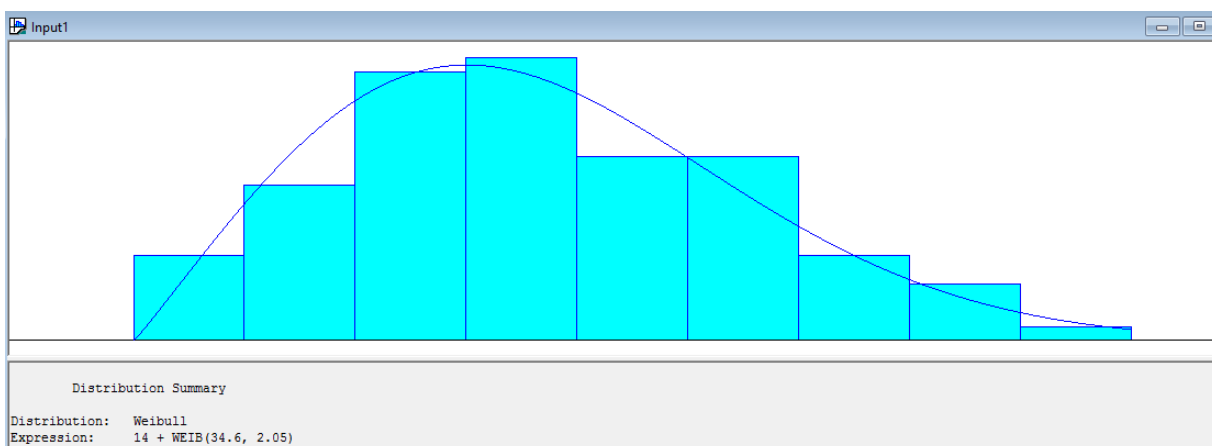


Figura 3.13 Gráfico de datos Input Analyzer: Distribución desenganche Reach Stacker

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3.1 Desarrollo del modelo

Para comenzar con la confección del modelo de simulación, es necesario saber lo siguiente:

Eventos

Situación que ocurre en un instante de tiempo de la simulación, puede que cambie sus atributos, variables o acumuladores estadísticos.

- Llegada contenedores de importación a la zona de transferencia por grúas Reach Stacker provenientes desde la zona de almacenamiento.
- Llegada de ferrocarriles al TIY.
- Término: La operación transferencia finaliza una vez que el ferrocarril inicia su retorno hacia la región Metropolitana cargado de contenedores de importación y el traslado de los contenedores de exportación provenientes de Santiago son retirados y llevados a la zona de almacenamiento por la grúa Reach Stacker.

El modelo de simulación en el software Arena se debe estructurar sobre una base gráfica asociada a la construcción de diagramas de flujo. Esto permite entender las etapas del modelo que representa el funcionamiento del TIY. Comprende desde el ingreso del ferrocarril con

contenedores de exportación al terminal ferroviario, llegada de contenedores de importación al terminal provenientes de la zona de almacenamiento, además de cada acción que involucra la zona de actividades logísticas de un terminal multimodal, hasta la salida de contenedores de exportación e importación del TIY.

Los distintos procesos que se realizan de manera coordinada para lograr el funcionamiento del terminal se simularon en forma paralela dentro del mismo modelo, por lo que éste se divide en llegada de ferrocarriles al terminal, salida de los mismos luego de realizar las operaciones de descarga y carga, proceso de transferencia entre el terminal y los ferrocarriles y el porteo interno del terminal intermodal, que considera el traslado de la carga entre la zona de transferencia y la zona de almacenamiento del TIY.

El modelo de simulación comienza con la llegada de los ferrocarriles con carga de exportación al terminal intermodal y termina cuando el último ferrocarril cargado con contenedores de importación sale del terminal rumbo a su destino respectivo en los horarios permitidos.

La versión básica de Arena Rockwell posee un límite de 150 entidades circulando de manera simultánea. Los ferrocarriles poseen una capacidad para transportar 32 contenedores cada uno. Al operar 3 ferrocarriles al mismo tiempo es que el ingreso de los mismos abarca un total de 96 entidades. El modelo también contempla el traslado de los contenedores entre la zona de almacenamiento y la zona de transferencia de manera paralela, por lo que se excede el límite de entidades que permite el software.

Los procesos de descarga y carga los realizan grúas pórtico RMG, las cuales tienen la capacidad de transportar un contenedor a la vez. La operación de transferencia contempla en primera instancia la descarga de la primera fila de contenedores de los 3 ferrocarriles que están en el terminal, para luego cargarlos con contenedores de importación. Posterior a ello la grúa RMG realiza el cambio de vagón para atender los contenedores de la fila siguiente. Al haber 3 grúas según el diseño conceptual [INECON 14], es que el total de filas de contenedores se divide en el número de grúas. El total de vagones con contenedores por ferrocarril es 32, por lo que dos grúas atienden a 11 filas de contenedores cada una, y la tercera grúa atiende a las 10

filas restantes, esto conlleva a que el total de contenedores que atiende cada grúa es 33, 33 y 30 contenedores respectivamente por cada proceso considerando los 3 ferrocarriles completamente cargados lo que genera un total de 96 contenedores descargados.

Para poder simular sin sobrepasar el límite máximo de entidades circulando de manera simultánea se consideró sólo el ingreso de 11 entidades por ferrocarril, que equivale al máximo de contenedores que atiende una grúa RMG por cada ferrocarril. Al operar las grúas de manera simultánea y poseer la misma distribución en sus procesos es que esta reducción de entidades no afecta en el tiempo total del proceso de transferencia. También el porteo interno involucrará la misma cantidad de contenedores, que son los que atiende cada grúa Reach Stacker.

Para poder graficar de mejor manera el modelo es que se utilizó módulos de procesos básicos de Arena, procesos avanzados del mismo y se incluyó módulos de procesos avanzados de transferencia, como los módulos station, route, request, free, entre otros. Además se realizó una simulación en 2 dimensiones que grafica de manera más ejemplificada el funcionamiento del terminal. En la figura 3.14 se muestra la versión final del modelo de simulación.

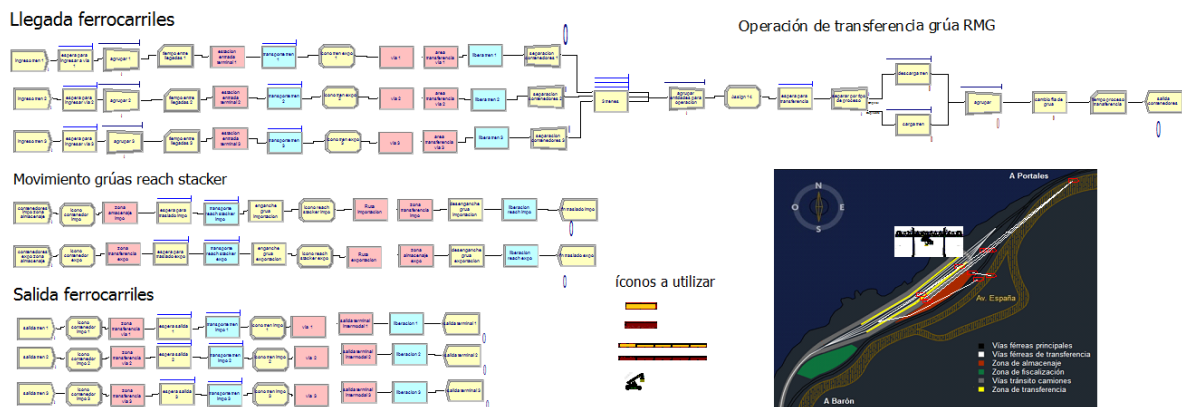


Figura 3.14 Versión final modelo de simulación

Fuente: Elaboración propia

Para explicar de mejor manera el funcionamiento del terminal, se explicará de manera separada cada proceso con sus respectivos módulos.

3.1.3.1.1 Llegada de ferrocarriles

El modelo comienza con el ingreso de los 3 ferrocarriles al terminal intermodal, ingresando por la zona norte de éste y posicionándose en su vía respectiva. El proceso de llegada de los ferrocarriles se muestra en la figura 3.15. El diseño contempla la llegada de 6 ferrocarriles por día, operando 3 simultáneamente.

Llegada ferrocarriles

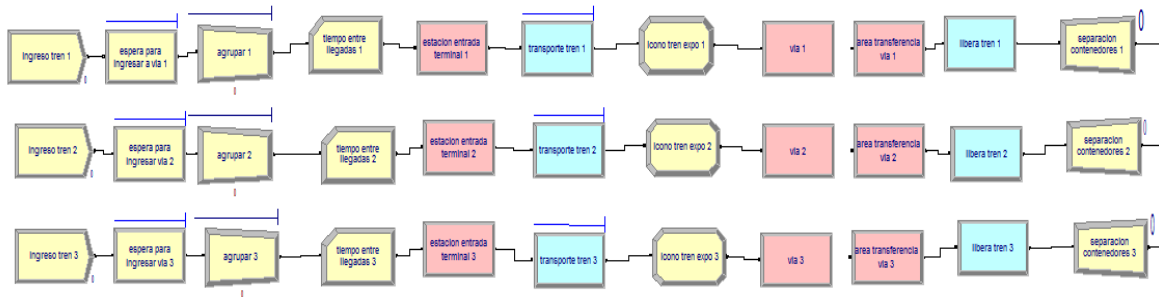


Figura 3.15 Llegada de ferrocarriles al terminal intermodal

Fuente: Elaboración propia

Ingreso tren 1 (módulo create): El módulo create genera las entidades que pasarán a ser procesadas en el sistema simulado, el cual se toma como punto de partida para la construcción de un modelo.

En este caso hay 3 módulos create, cada uno representa el arribo de un tren al terminal. Las entidades por cada ferrocarril que genera este módulo corresponden a 11 contenedores, ya que para la operación de transferencia necesita individualizar los contenedores y no abarcar de manera conjunta todas las entidades que se encuentran en el ferrocarril. La cantidad de trenes que ingresa diariamente al terminal son 6, por lo que es necesario realizar 2 creaciones por cada módulo create.

El tiempo entre arribos es de 136.3476 minutos de manera constante, que es el tiempo mínimo a lo que demora el proceso de transferencia de 3 ferrocarriles completamente cargados según los reportes de la simulación. Todo lo anterior se muestra en la figura 3.16.

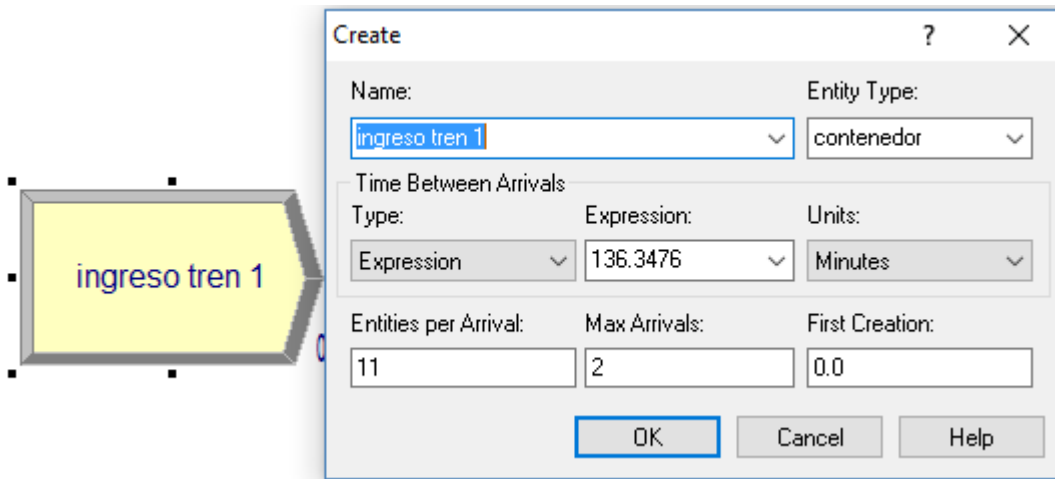


Figura 3.16 Módulo Create: Ingreso tren 1

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que la primera creación del tren 1 es en el tiempo 0.0, la creación del tren 2 es a los 8 minutos, que es el tiempo mínimo que tarda el tren 1 en posicionarse en el terminal intermodal. El tren 3 se crea en el minuto 16, cuando los primeros 2 trenes están posicionados para la transferencia de su carga.

Espera para ingresar a vía 1 (Módulo hold): La función del módulo hold es retener entidades, y con base en la evaluación de una condición del sistema, liberarlas sólo cuando esta condición sea verdadera.

Luego de creadas las entidades, mediante el módulo hold se realiza la espera respectiva para ingresar al terminal. El arribo de los trenes al mismo depende de la disponibilidad que éste posea. La figura 3.17 muestra la condición que debe cumplirse para que el tren que se dirige a la vía 1 del terminal pueda ingresar, que es el primero en posicionarse. El tren 1 puede ingresar siempre y cuando no haya otros trenes en el terminal. En el modelo es en el instante en que el tren que se ubica en la vía 3 salga del terminal, esto ya que es el tren de la vía 3 el último en salir con su carga respectiva del terminal. En el comienzo de la simulación no existen trenes ubicados en el terminal, por lo que ingresa libremente el tren a su posición final para la operación de descarga y carga.

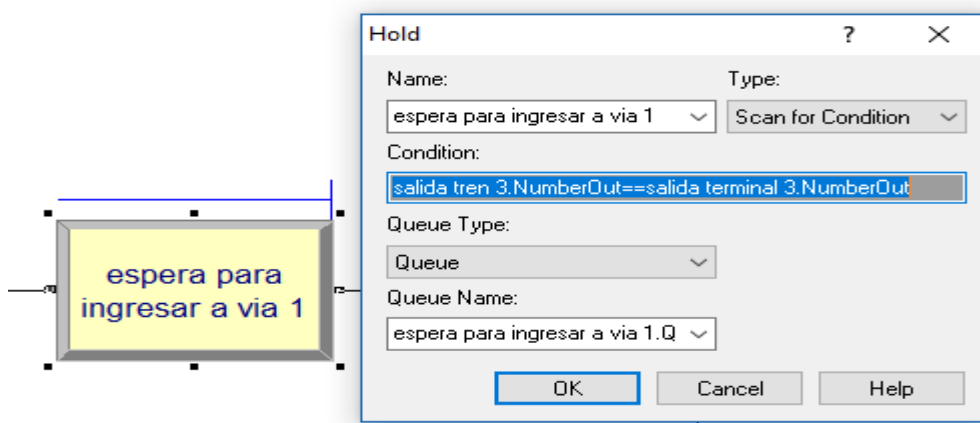


Figura 3.17 Módulo Hold: Espera para ingresar a vía 1

Fuente: Elaboración propia

Agrupar entidades (Módulo Batch): Para poder graficar de mejor manera el tren como un solo bloque, es que se agrupan mediante el módulo batch todos los contenedores que ingresan en el mismo arribo. Se agrupan de manera temporal para posteriormente poder separarlos, debido a que la operación de transferencia se realiza por fila de contenedores y no en forma conjunta. Esto se muestra en la figura 3.18

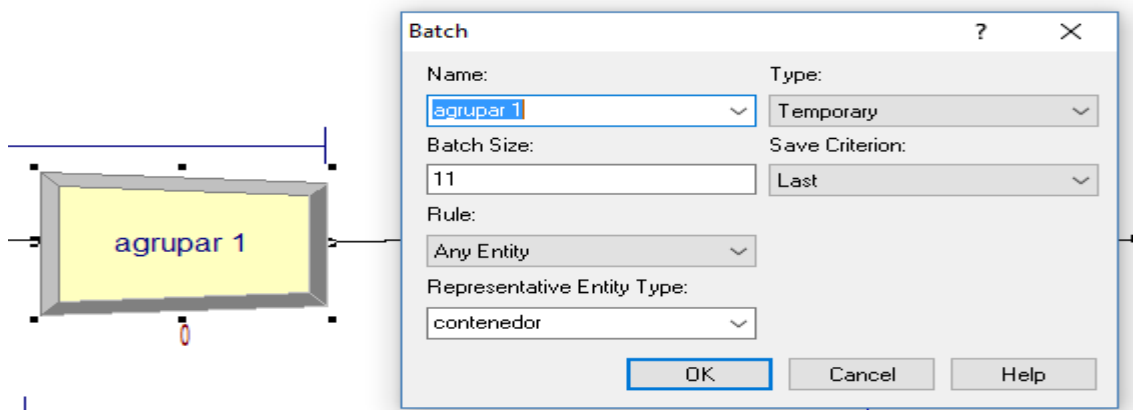


Figura 3.18 Módulo Batch: Agrupar 1

Fuente: Elaboración propia

Tiempo entre llegadas 1 (Módulo Record): Este módulo se emplea para recolectar estadísticas en el modelo de simulación, es por esto que se ha incorporado en el modelo con el fin de obtener resultados estadísticos que ayudan a la toma de decisiones.

Se utilizó este módulo para representar el tiempo entre llegadas de los ferrocarriles al terminal intermodal, como se muestra en la figura 3.19.

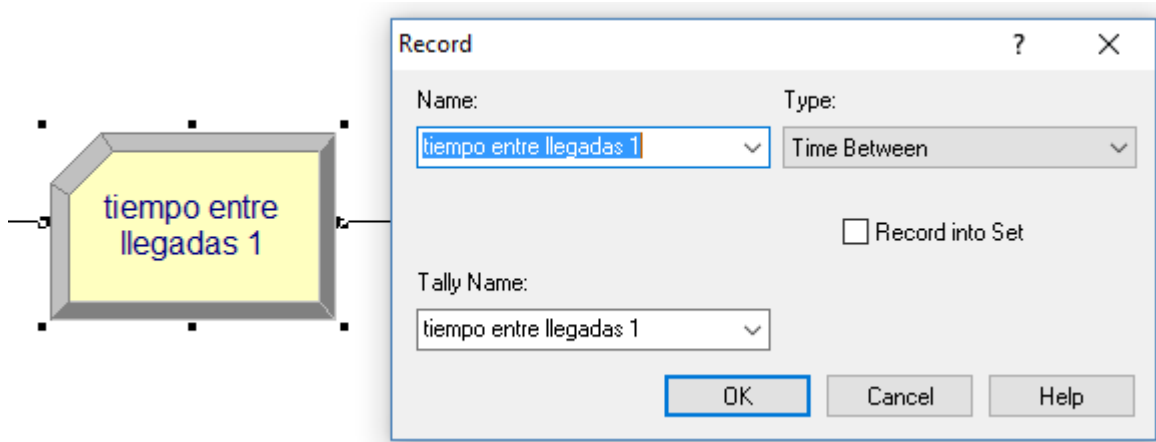


Figura 3.19 Módulo Record: Tiempo entre llegadas 1

Fuente: Elaboración propia

Además de recolectar estadísticas para el tiempo entre llegadas, se utilizó este módulo record para generar reportes de los tiempos promedios de cada simulación y el tiempo que demora el proceso de transferencia en su totalidad.

Estación entrada terminal intermodal (Módulo Station): La función del módulo station es ubicar en un punto o estación a una entidad, con el fin de poder graficar en 2 dimensiones el sistema y con ello, explicarlo de una manera más visible.

En este modelo es necesario graficar el ingreso de los trenes, el proceso de transferencia, el porteo interno y la salida de los ferrocarriles, es por lo mismo que se ubicaron distintas estaciones que representan la ubicación de las entidades en el modelo.

La estación donde el tren espera para ingresar es la estación llamada entrada terminal 1 en el módulo correspondiente, como se muestra en la figura 3.20, cuyo ID es station 1.

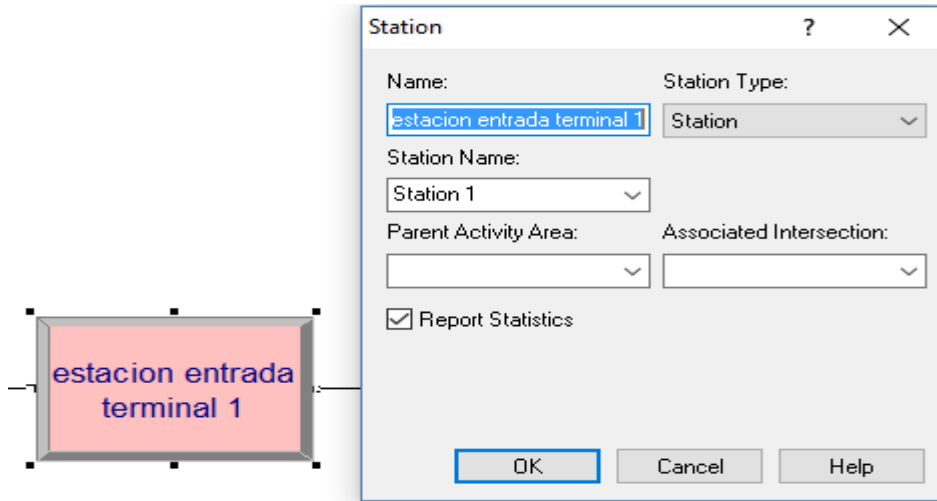


Figura 3.20 Módulo station: Estación ingreso terminal intermodal 1

Fuente: Elaboración propia

Requerimiento de transporte tren 1 (Módulo Request): La función del módulo request es solicitar un transporte, se encarga de asignar el transporte a la entidad solicitante y mover el elemento transportador hacia la estación en donde ésta se encuentra.

En la situación real los trenes transportan los contenedores desde la RM hasta el terminal, pero la simulación comienza con el ingreso de los trenes al TIY, por lo que es necesario realizar en dicho punto la solicitud del transporte.

En este caso se solicita el transporte tren 1 a las entidades creadas en la figura 3.16, el cual se hará cargo del movimiento de estas entidades en el modelo. El tren se moviliza desde la entrada del terminal hasta la zona de transferencia del mismo a una velocidad de 150 metros por minuto, esto según especificaciones técnicas de la locomotora. Todo lo anterior se muestra en la figura 3.21 a continuación.

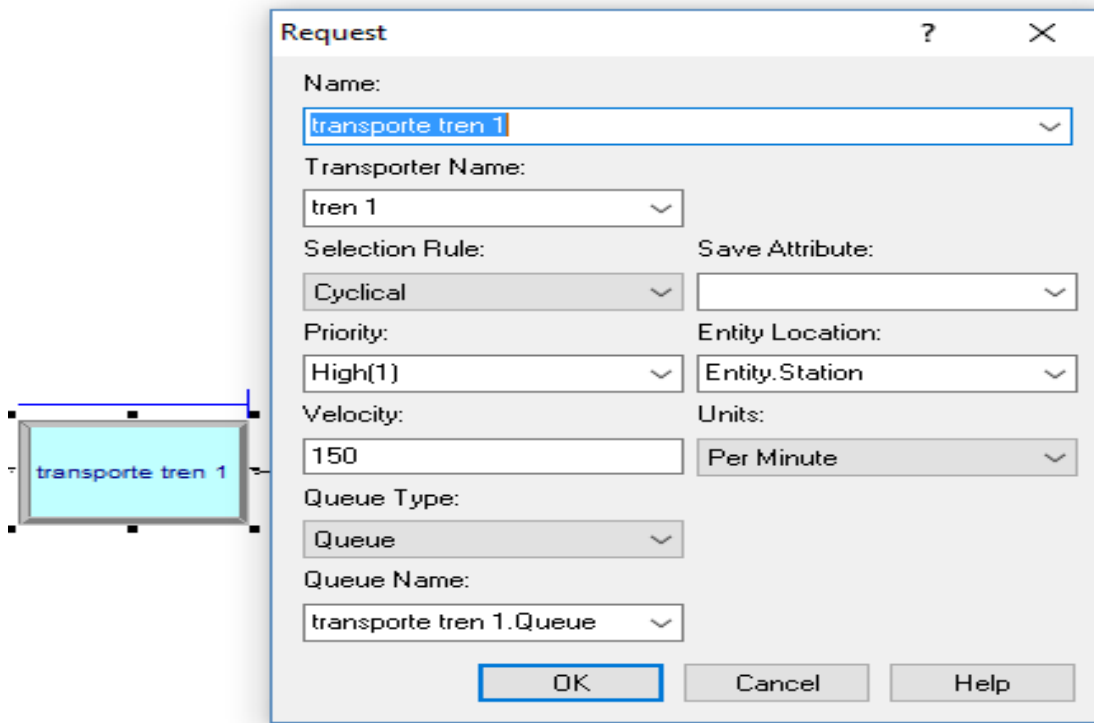


Figura 3.21 Módulo Request: Requerimiento transporte tren 1

Fuente: Elaboración propia

Cambio ícono entidad (Módulo Assign): Para graficar de mejor manera el modelo es que se modifica el ícono de las entidades en cada proceso según corresponda. En el caso del proceso de llegada de ferrocarriles, se cambia el ícono a tren expo como se muestra en la figura 3.22 para simbolizar el ingreso de los trenes al terminal intermodal. Las entidades ya están agrupadas y se creó el transporte correspondiente. El ícono tren expo 1 corresponde al tren animado para la simulación en 2 dimensiones del terminal intermodal.

En el caso proceso de movimiento de grúas también se cambian los íconos en dos ocasiones para visualizar en la gráfica los contenedores de importación de manera individualizada.

Al finalizar con el proceso de salida de ferrocarriles se cambian los íconos dos veces, el primer cambio es para destacar los contenedores de importación al momento de que estos son

cargados al tren y en la segunda ocasión es el cambio del ícono del ferrocarril que inicia su salida del terminal.

Cabe recalcar que estos cambios de íconos en cada proceso se ejecutan solamente para visualizar la gráfica de manera más didáctica y ejemplificada.

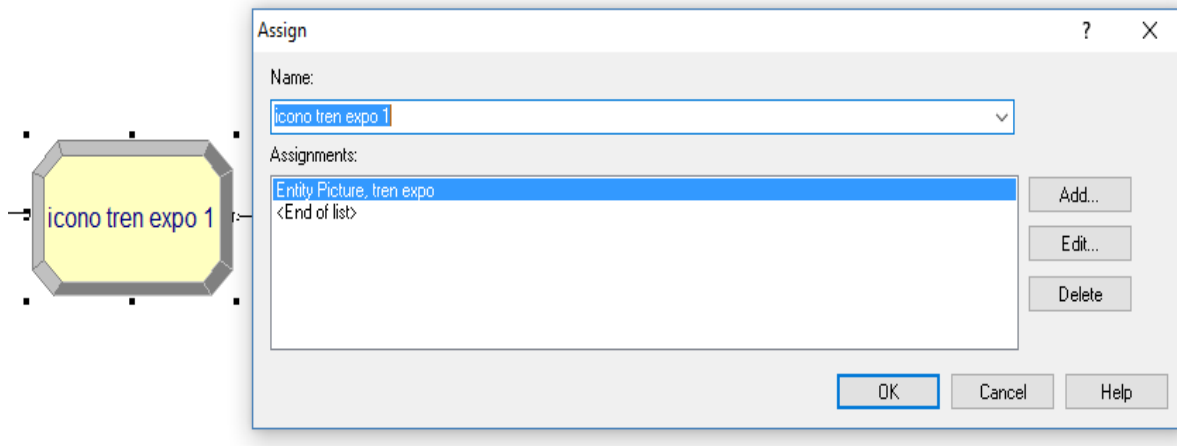


Figura 3.22 Módulo Assign: Cambio ícono a tren expo

Fuente: Elaboración propia

Ruta entre entrada al terminal y zona de transferencia (Módulo Route): El tiempo en ruta desde la entrada al terminal y la zona de transferencia se muestra en la figura 3.23. El módulo route permite involucrar dos estaciones, que son los puntos por donde transitará la entidad correspondiente y además, el tiempo que conlleva el viaje respectivo. En este caso el tiempo en ruta es una distribución triangular TRIA (8, 9,11) minutos. Este tiempo es un supuesto de acuerdo a las especificaciones técnicas del tipo de locomotora. El tiempo en ruta involucra tanto al desplazamiento por parte del tren junto con el tiempo en el posicionamiento del mismo al interior del terminal.

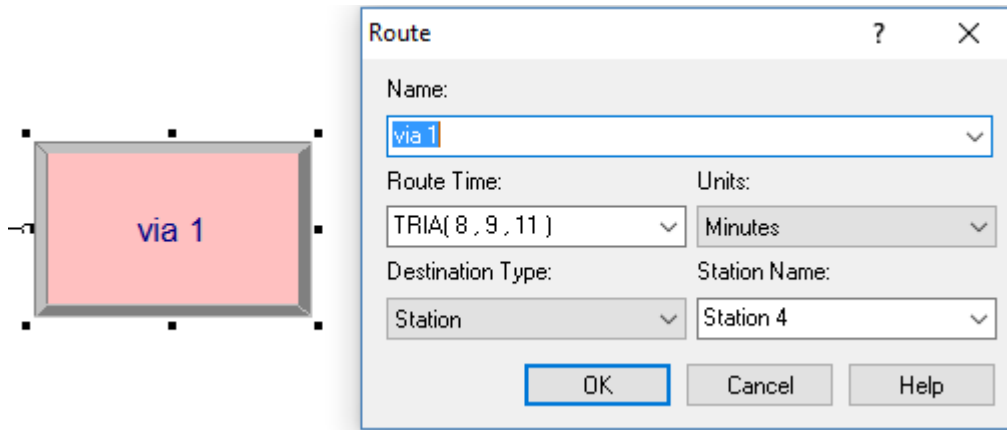


Figura 3.23 Módulo Route: Ruta entrada al terminal / zona de transferencia

Fuente: Elaboración propia

Estación zona de transferencia (Módulo station): La estación zona de transferencia, lugar donde llegan los trenes para ser descargados y cargados se muestra en la figura 3.24. La estación representada por el nombre área transferencia vía 1 es el lugar donde se posiciona el tren 1 para realizar las operaciones respectivas.

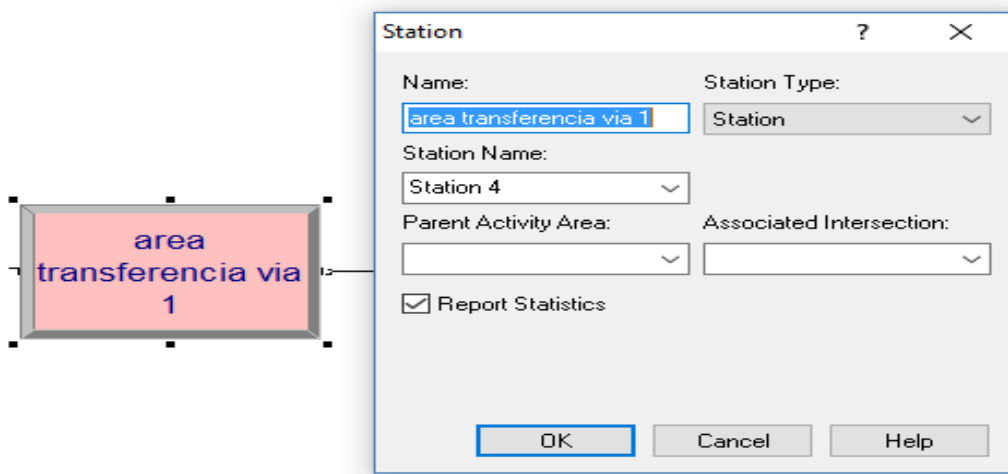


Figura 3.24 Módulo station: Estación zona de transferencia vía 1

Fuente: Elaboración propia

Liberación transporte (Módulo Free): En el modelo para que el tren pueda realizar otra acción sin depender de las entidades que transporta es liberado. Mediante el módulo free se libera el tren 1 de los contenedores respectivos, como se muestra en la figura 3.25.

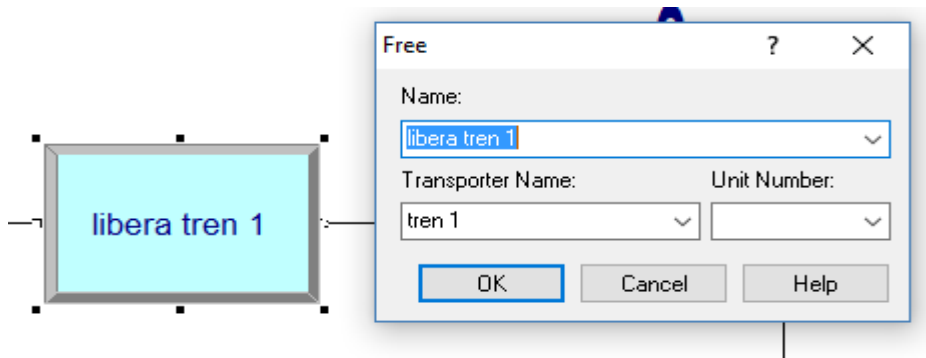


Figura 3.25 Módulo free: Liberación de tren 1

Fuente: Elaboración propia

Separación de contenedores (Módulo separate): Luego de posicionado el tren 1, se necesita tomar de manera independiente cada contenedor para su posterior transferencia, es por ello que el módulo separate permite separar las entidades que estaban agrupadas en el tren. Se utiliza el tipo de separación Split Existing Batch debido a que se necesita volver a 11 entidades, que son los contenedores de exportación del tren 1. Lo anterior se muestra en la figura 3.26.

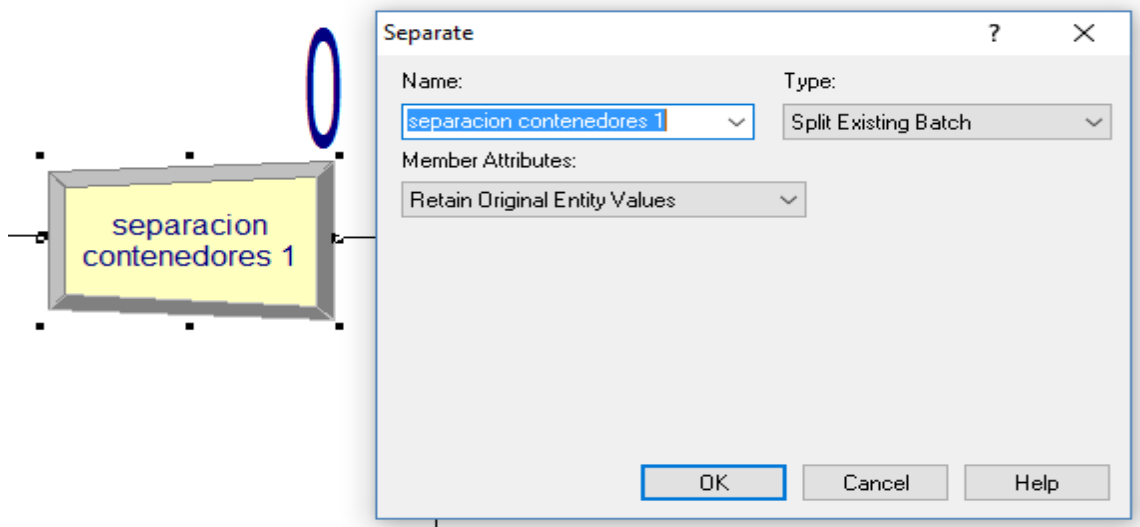


Figura 3.26 Módulo separate: Separación de contenedores

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1.2 Operación de transferencia grúa RMG

La operación principal de este modelo es la transferencia, que involucra tanto la descarga como la carga de los trenes en el terminal intermodal.

Para dar comienzo a la operación deben estar posicionados los 3 trenes con su carga respectiva, debe estar el espacio disponible para colocar los contenedores que son descargados y los contenedores que se cargan al tren deben estar en la posición asignada en la zona de transferencia. El proceso de transferencia de muestra en la figura 3.27.

Operación de transferencia grúa RMG

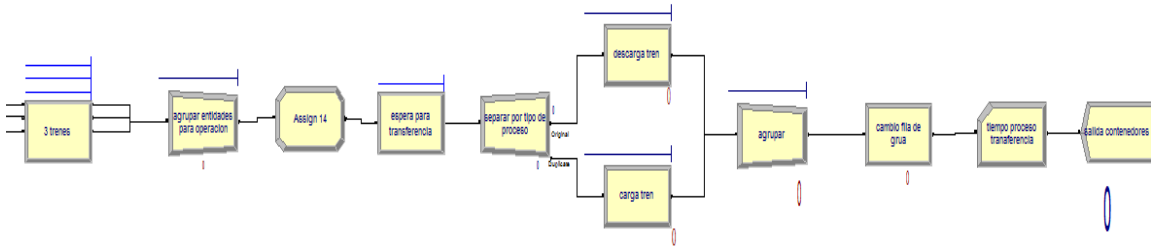


Figura 3.27 Operación de transferencia mediante grúa RMG

Fuente: Elaboración propia

Condición 3 trenes en posición (Módulo Match): La función del módulo match es retener varios tipos de entidades en filas independientes y libera al mismo tiempo si las hay, una de cada tipo.

Para comenzar la operación de transferencia, deben estar los 3 trenes en posición. El módulo match retiene diversos tipos de entidades y las libera siempre y cuando haya una de cada tipo, en este caso que existan contenedores (entidades) que provienen de los 3 trenes ubicados en la zona de transferencia, como se muestra en la figura 3.28. Con ello se asegura que estén los 3 trenes posicionados antes de comenzar con la operación de descarga de los trenes.

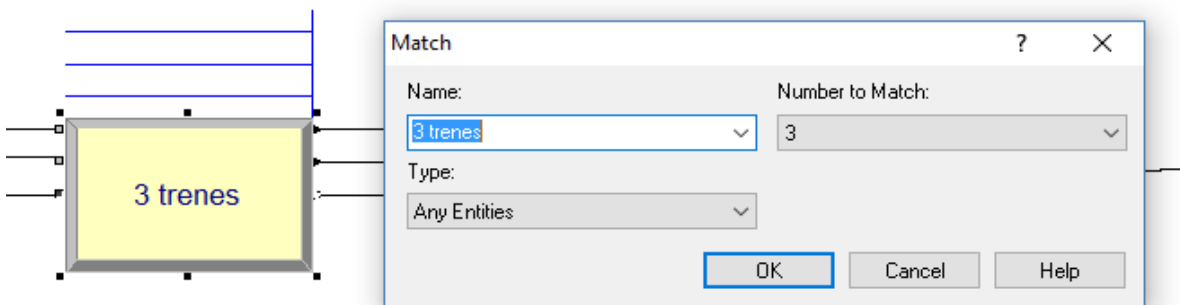


Figura 3.28 Módulo Match: Condición 3 trenes en posición

Fuente: Elaboración propia

Agrupar entidades para operación (módulo Batch): El módulo batch permite formar lotes o grupos de entidades de un grupo cualquiera y previamente definidos.

Como se mencionó al comienzo del desarrollo del modelo, existe un número limitado de entidades circulando de manera simultánea en la versión básica de Arena, por ello es que para realizar el proceso de transferencia es necesario agrupar cada vagón de los 3 trenes como una sola entidad, dando un total de 11 entidades a procesar posteriormente. El tiempo de los procesos de traslado de carga no se ve afectado debido a que se realizó una sumatoria de los tiempos de las operaciones respectivas, tanto del proceso de descarga y carga de cada fila de contenedores. Lo anterior se muestra en la figura 3.29 a continuación.

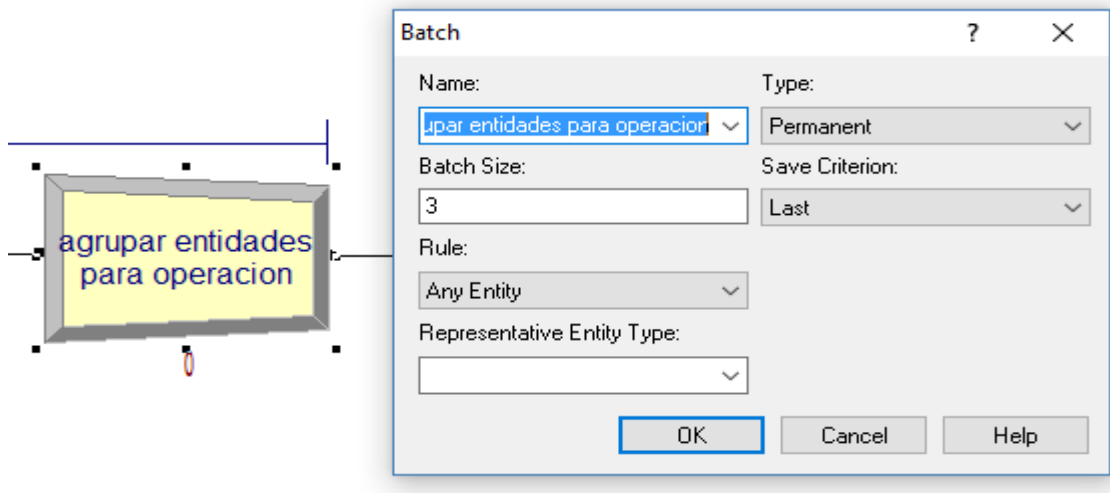


Figura 3.29 Módulo Batch: Agrupar entidades para operación de transferencia

Fuente: Elaboración propia

Espera para transferencia (Módulo Hold): Los contenedores que están posicionados para ser transferidos esperan a que la grúa RMG los enganche y los transfiera donde corresponda. Esta espera es representada por el módulo hold, el cual permite retener las entidades hasta que se cumpla la condición $state(grua) == -1$. Esta condición significa que una entidad será retenida

hasta que el recurso grúa RMG esté desocupado y la entidad sea tomada por el recurso para su transferencia. Todo lo anterior es representado en la figura 3.30 a continuación.

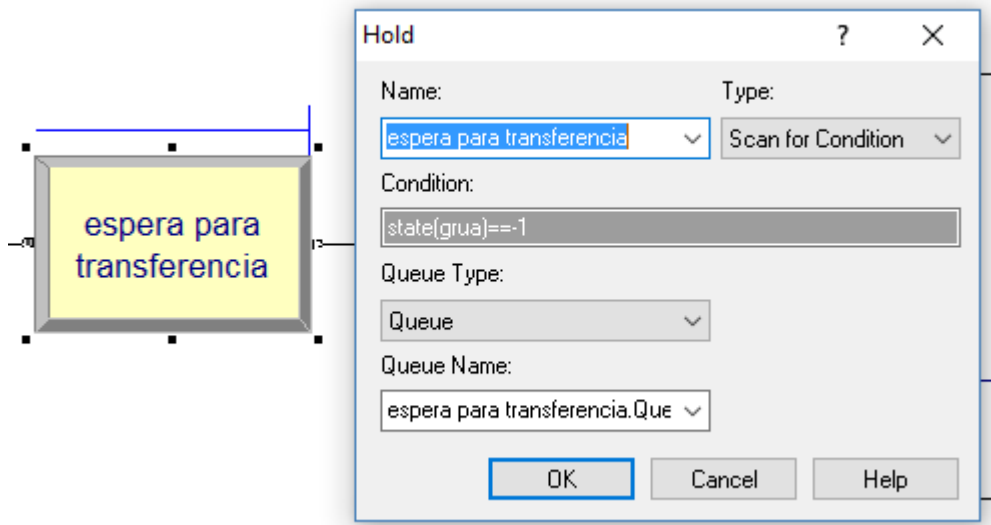


Figura 3.30 Módulo Hold: Espera de entidades para transferencia

Fuente: Elaboración propia

Separar por tipo de proceso (Módulo Separate): Para modelar de manera independiente los procesos de carga y descarga del tren se utiliza el módulo separate; el cual duplica las entidades que pasan por dicho módulo. El primer proceso que ocurre es la descarga de los vagones ubicando los contenedores al costado oeste de los ferrocarriles, inmediatamente después se cargan los contenedores de importación en los vagones liberados anteriormente, culminando con el movimiento de grúa hacia el siguiente carro. La separación por tipo de proceso se muestra en la figura 3.31.

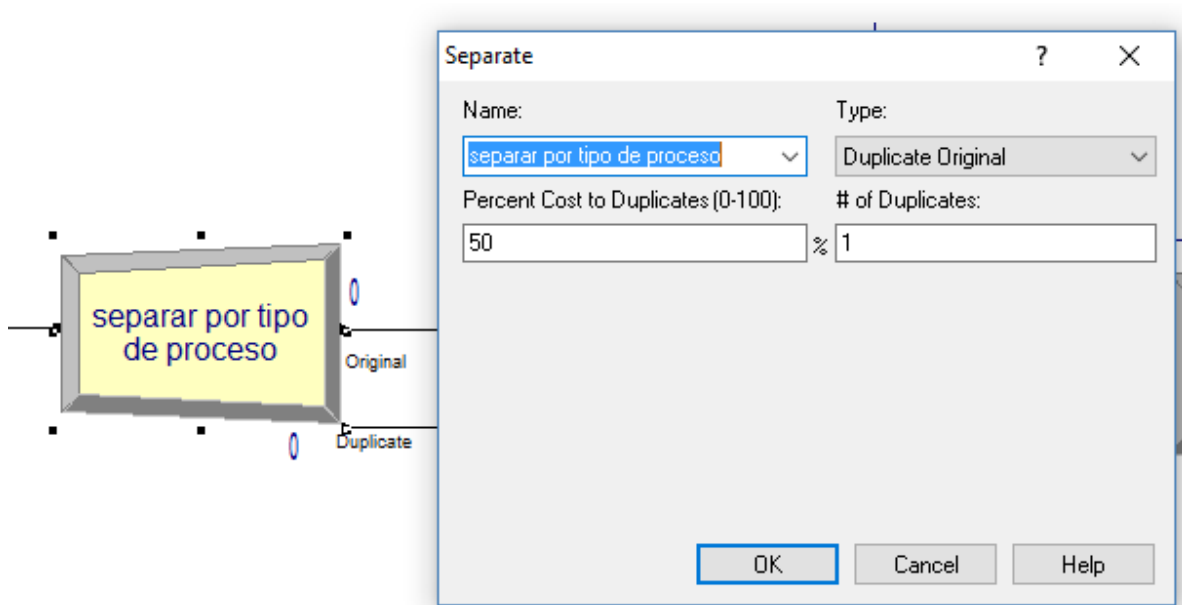


Figura 3.31 Módulo Separate: Separar por tipo de proceso

Fuente: Elaboración propia

Proceso de descarga del tren (módulo Process): El proceso de transferencia comienza con la descarga de los trenes. Esta operación la realiza la grúa RMG representada como recurso grúa en el módulo process. La acción a realizar es seize delay release, que significa que el contenedor ocupa al recurso grúa, luego el recurso retiene al contenedor por el tiempo especificado para luego liberar el recurso y seguir con la operación siguiente.

El primer proceso que se debe realizar es enganchar el contenedor de exportación que se ubica en el ferrocarril, para luego trasladarlo hacia el costado oeste del tren en la zona de transferencia y allí desengancharlo. La operación de descarga del tren se realiza primero que la carga, por lo que la prioridad de este proceso es alta (High (1)) como se muestra en la figura 3.32. El proceso de descarga tiene un tiempo de operación de $2 + \text{ERLA}$ (0.715, 4) minutos, que incluye la descarga de la primera fila de contenedores de los 3 trenes de manera conjunta, esto por la restricción que posee el software Arena Rockwell explicado en el punto 3.1.3.

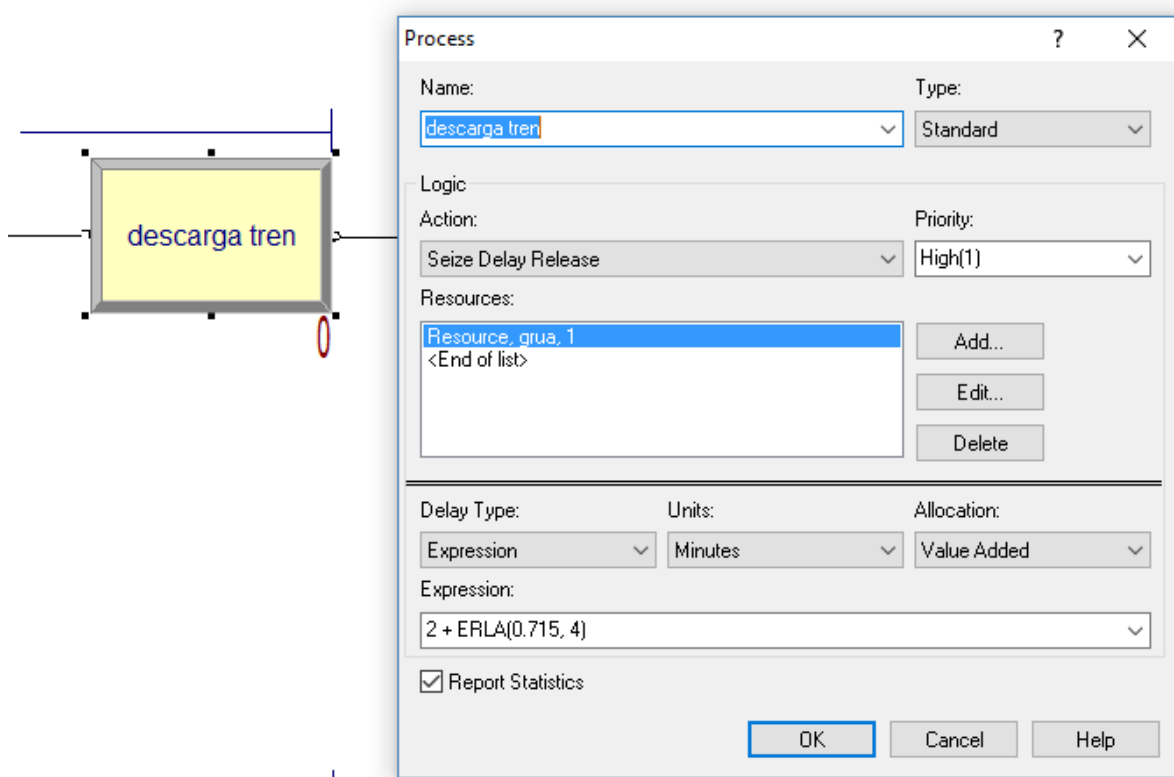


Figura 3.32 Módulo Process: Proceso de descarga del tren

Fuente: Elaboración propia

Proceso de carga del tren (Módulo Process): Ejecutada la descarga de una fila de contenedores, se realiza la operación de carga del ferrocarril como se muestra en la figura 3.33. La prioridad de este proceso es baja (low (3)) debido a que el proceso de carga se efectúa después de la operación de descarga del tren, y ambos procesos son desarrollados por la misma grúa RMG.

El tiempo del proceso de carga es $2 + \text{GAMM}(0.715, 4.17)$ minutos, que incluye el enganche, traslado y desenganche de los 3 contenedores de una fila de los trenes. Luego del proceso de carga, la grúa RMG no es liberada debido a que es necesario cambiar de fila para realizar los procesos de descarga y carga para el siguiente vagón, es por ello que la acción de este proceso es seize delay.

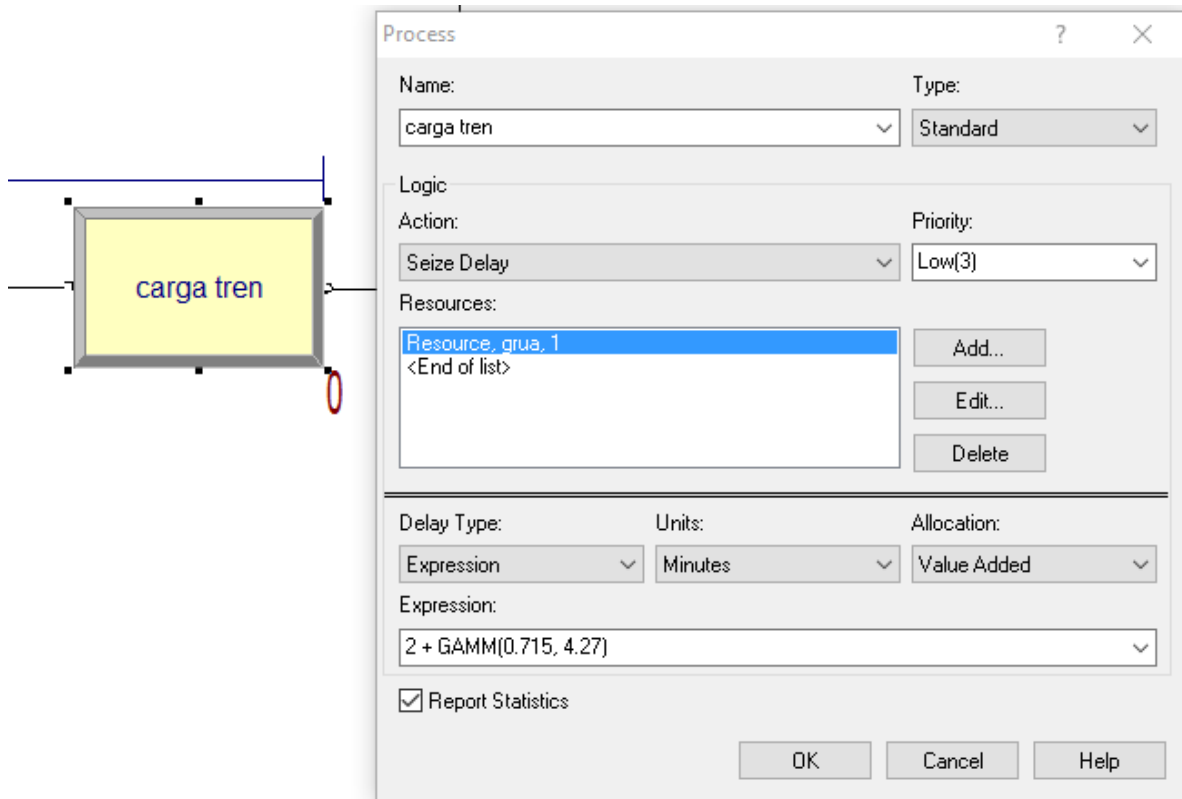


Figura 3.33 Módulo Process: Proceso de carga del tren

Figura: Elaboración propia

Agrupar entidades (Módulo Batch): Luego de haber separado las entidades para que el modelo creado represente la operación de transferencia, las entidades son agrupadas para que se produzca el movimiento de la grúa RMG hacia el siguiente carro y poder terminar el proceso. El tipo de batch es permanente como se muestra en la figura 3.34.

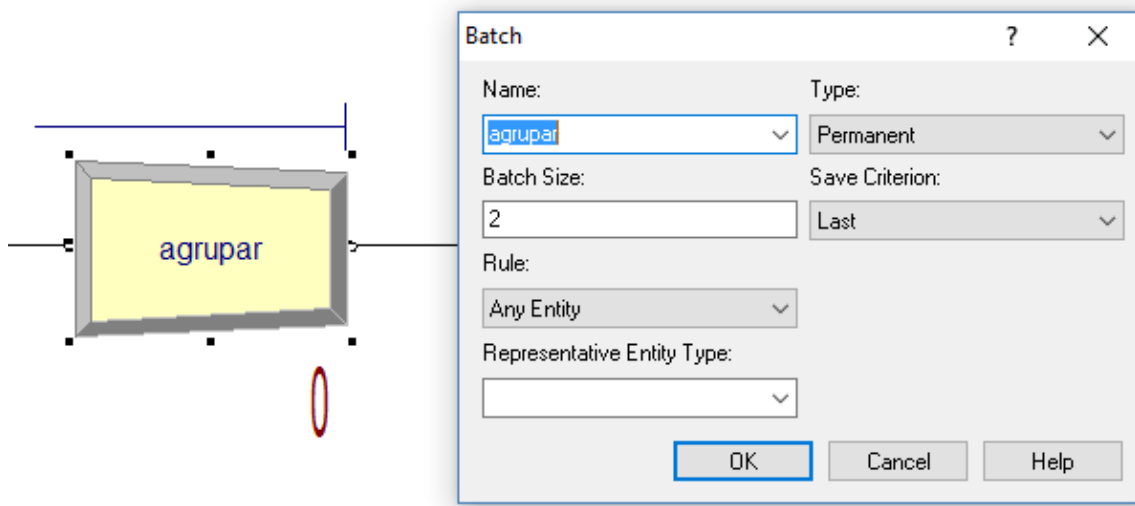


Figura 3.34 Módulo Batch: Agrupar entidades luego de la transferencia

Fuente: Elaboración propia

Cambio de fila por parte de la grúa RMG (Módulo Process): Luego de realizada la transferencia de una fila de carros de los trenes, la grúa RMG debe desplazarse a la siguiente fila de carros para realizar la misma operación. Este movimiento es modelado por el módulo process como se muestra en la figura 3.35. El tiempo que demora la grúa RMG en desplazarse a la siguiente fila de vagones se representa por $0.07 + \text{ERLA}(0.031, 4)$ minutos. Luego del desplazamiento, el recurso puede procesar los siguientes carros con contenedores.

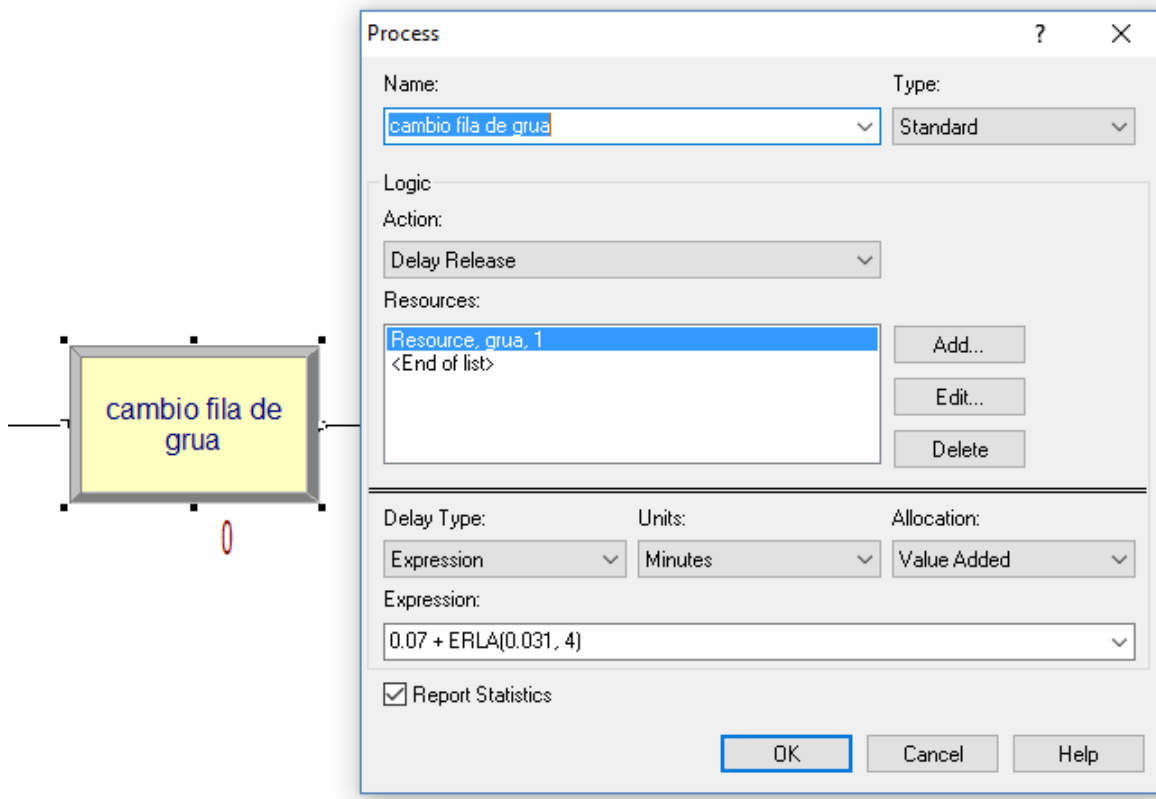


Figura 3.35 Módulo Process: Proceso de cambio de fila por parte de la grúa RMG

Fuente: Elaboración propia

Salida contenedores (Módulo Dispose): El proceso de transferencia termina con la salida de los contenedores. Esto quiere decir que los contenedores que fueron descargados se encuentran a un costado de los trenes en la zona de transferencia y los que fueron cargados se encuentran arriba del tren listos para ser trasladados a su destino final. El módulo dispose que corresponde a la figura 3.36 permite finalizar con el proceso.

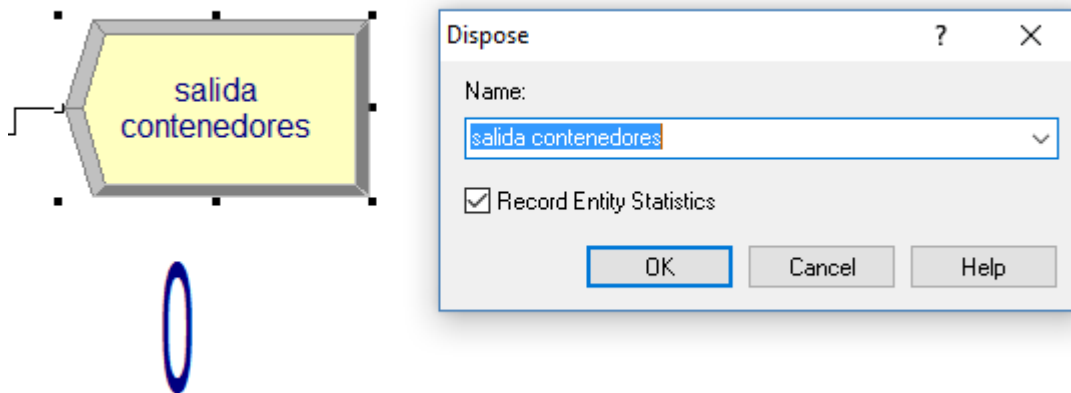


Figura 3.36 Módulo Dispose: Salida de contenedores

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1.3 Porteo interno entre zona de almacenaje y zona de transferencia.

Paralelamente al proceso de transferencia de carga, se realiza el proceso de traslado de contenedores entre la zona de transferencia y la zona de almacenamiento por medio de grúas Reach Stacker. Esto para analizar si el terminal está preparado para la operación de 6 trenes por día.

Para que los procesos de descarga y carga se puedan ejecutar, es necesario que los contenedores de importación estén en la zona de transferencia antes del ingreso de los ferrocarriles y que los contenedores de exportación sean retirados de la zona de transferencia antes del arribo de los siguientes trenes. Es por lo anterior que se modela el traslado de los contenedores por medio de grúas Reach Stacker entre la zona de almacenaje y la zona de transferencia, en un proceso llamado porteo interno.

Todo lo anterior se muestra en la figura 3.37 a continuación.

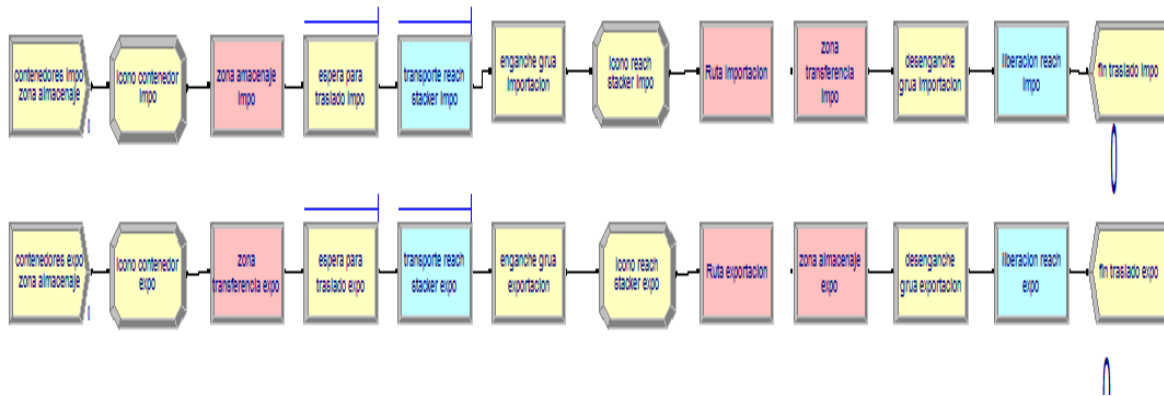


Figura 3.37 Porteo interno entre zona de almacenaje y zona de transferencia

Fuente: Elaboración propia

El movimiento de las grúas Reach Stacker se simula de manera análoga al proceso de llegada de ferrocarriles, es decir, se considera la operación de sólo una grúa Reach Stacker para el traslado una fila de contenedores de importación y una grúa para el traslado de los tres contenedores de exportación.

Se explicará en el informe sólo el traslado de los contenedores de importación desde la zona de almacenamiento hasta la zona de transferencia, ya que el movimiento de los contenedores de exportación al interior del terminal es similar pero de manera inversa y es realizado por el mismo tipo de grúa.

Creación contenedores de importación en zona de almacenaje (Módulo create): Los contenedores de importación son creados en la zona de almacenaje para luego ser transferidos a la zona de transferencia para su posterior carga a los trenes respectivos. Al igual que los contenedores provenientes del tren, se crean 11 entidades.

Estas entidades se crean en el tiempo 0.0 debido a que al momento de ingresar los trenes al terminal, que es el instante en que comienza la simulación, los contenedores de importación ya están ubicados en la zona de almacenaje.

Los contenedores de importación que se cargan a los primeros tres trenes se trasladan antes del arribo de los trenes al terminal hacia la zona de transferencia, por lo que no es necesario simular ese proceso porque no posee una restricción de horario. Es necesario simular solamente la movilización de los contenedores que serán cargados en la segunda etapa de ferrocarriles entrantes al terminal. La especificación de este módulo se muestra en la figura 3.38.

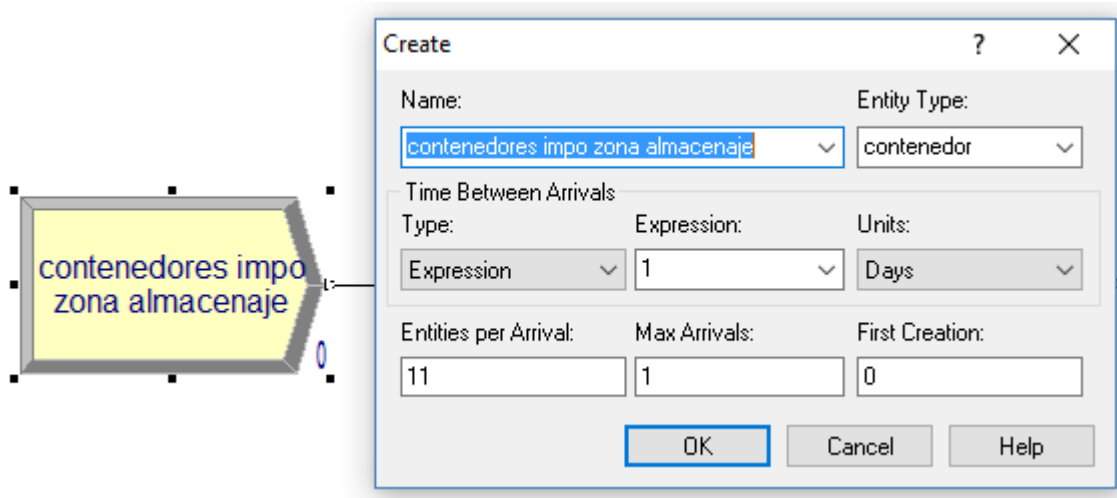


Figura 3.38 Módulo Create: Creación contenedores de importación en zona de almacenaje

Fuente: Elaboración propia

Estación zona de almacenaje impo (Módulo Station): Mediante el módulo station se asigna un punto de partida para el traslado de los contenedores a la zona de transferencia con el propósito de ser cargados en la segunda tanda de trenes. Esta estación se ubica en la zona de almacenaje y es el lugar donde la grúa Reach Stacker recoge los contenedores de importación. El nombre de la estación para el sistema es zona de almacenaje impo como lo muestra la figura 3.39.

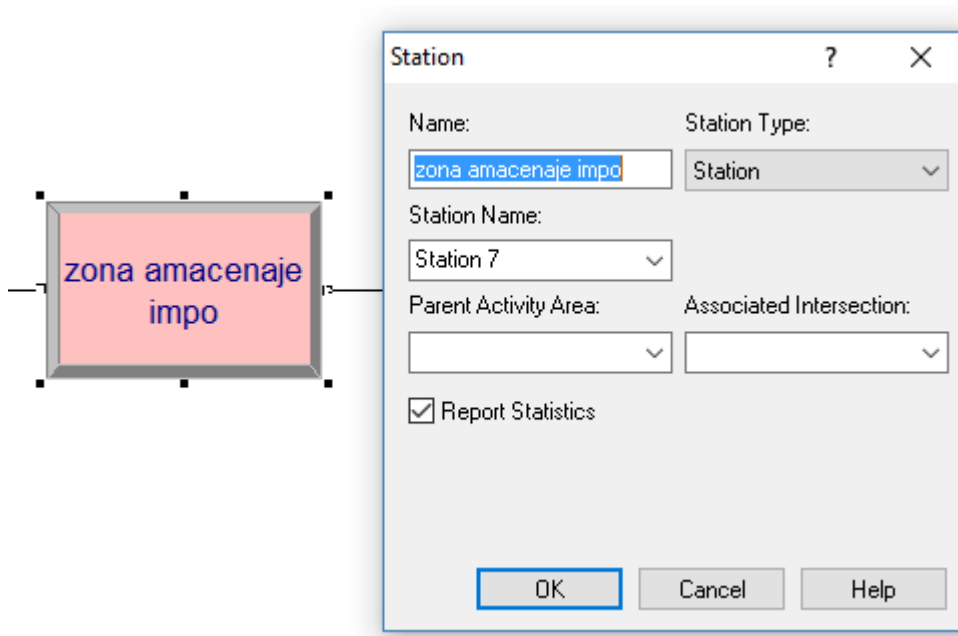


Figura 3.39 Módulo Station: Estación zona de almacenaje importación

Fuente: Elaboración propia

Espera para traslado contenedores de importación (Módulo Hold): Los contenedores de importación que se trasladarán a la zona de transferencia para ser cargados en el segundo ciclo de arribos deben esperar en la zona de almacenamiento hasta que la condición de 9 filas de carros estén cargadas se cumpla. Ahí las grúas reach-stacker comienzan a llevar los contenedores de importación en el momento en que se realiza la carga de la novena fila de contenedores al tren. En cambio, la espera del traslado de los contenedores de exportación desde la zona de transferencia hacia la zona de almacenamiento tiene como condición de 5 filas de carros estén descargadas se cumplan, esto para que las grúas RMG y reach-stacker no se crucen ni molesten su normal operación. La condición se muestra en la figura 3.40 a continuación.

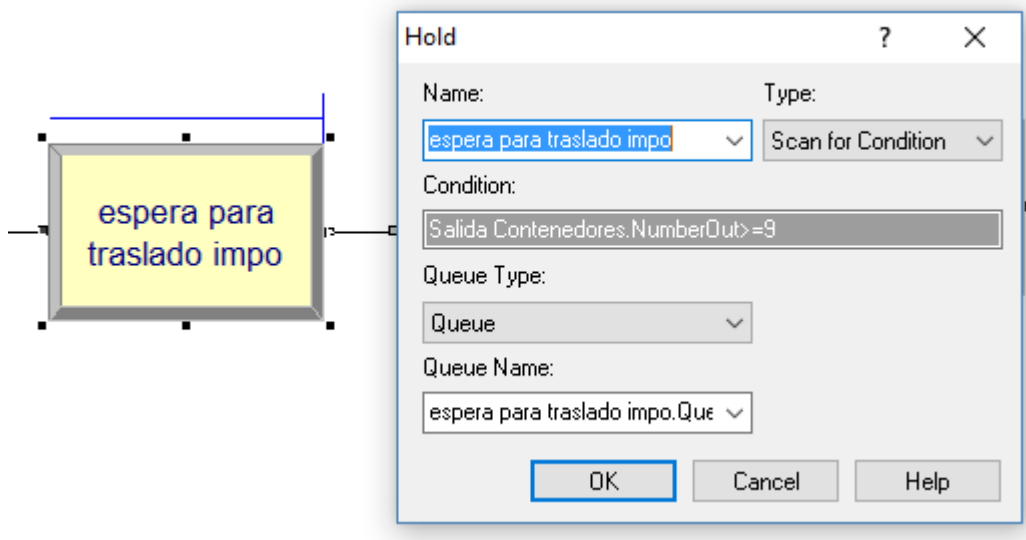


Figura 3.40 Módulo Hold: Espera para traslado hacia la zona de transferencia contenedores de importación.

Fuente: Elaboración propia

Requerimiento transporte grúa reach-stacker (Módulo Request): Las entidades son transportadas desde la zona de almacenaje hacia la zona de transferencia mediante las grúas reach-stacker. La figura 3.41 muestra las especificaciones del transporte. Existe una grúa reach-stacker para el traslado de 11 filas de contenedores.

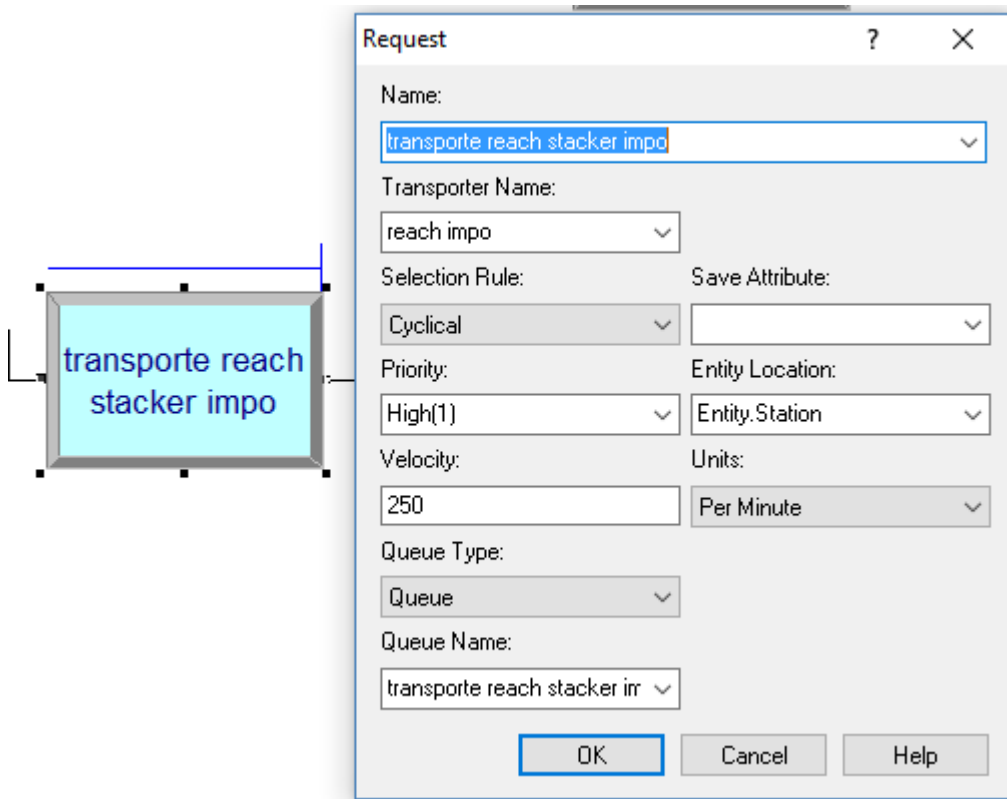


Figura 3.41 Módulo Request: Requerimiento de grúa reach stacker

Fuente: Elaboración propia

Proceso de enganche contenedor con las grúas reach-stacker (Módulo Delay): El enganche de los contenedores por parte de las grúas reach-stacker se modela mediante el módulo Delay, como lo muestra la figura 3.42. El tiempo de este proceso es NORM (54.3, 15.9) segundos; éste incluye el enganche de 3 contenedores de manera conjunta.

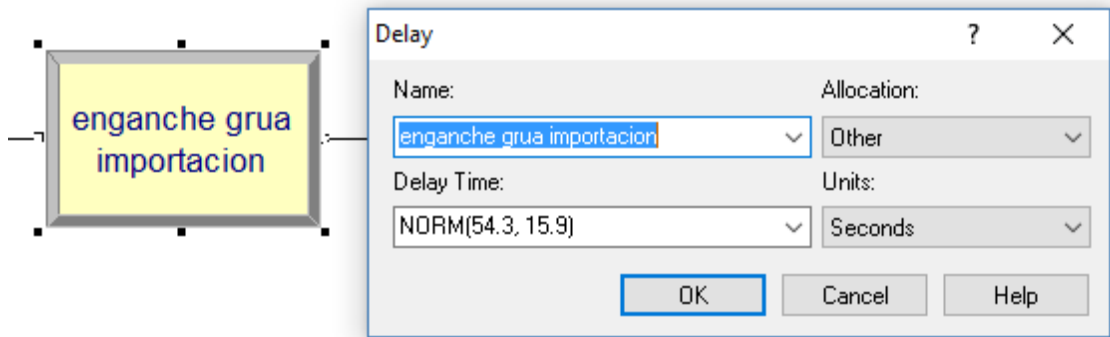


Figura 3.42 Módulo Delay: Proceso de enganche contenedor las grúas reach-stacker

Fuente: Elaboración propia

Ruta entre zona de almacenaje y zona de transferencia (Módulo Route): Para graficar en 2 dimensiones es necesario identificar la ruta que unirá las estaciones de inicio y final de los contenedores. En la figura 3.43 se muestra la ruta que deben utilizar los contenedores de importación desde la zona de almacenaje hasta la zona de transferencia. El tiempo de traslado es NORM (194 , 33.5) segundos, que considera el traslado de los tres contenedores de una misma fila debido a que se agrupó las entidades por el límite de entidades que posee el software Arena Rockwell.

La estación de destino es zona transferencia impo, y es el lugar donde finaliza el traslado de las grúas reach-stacker.

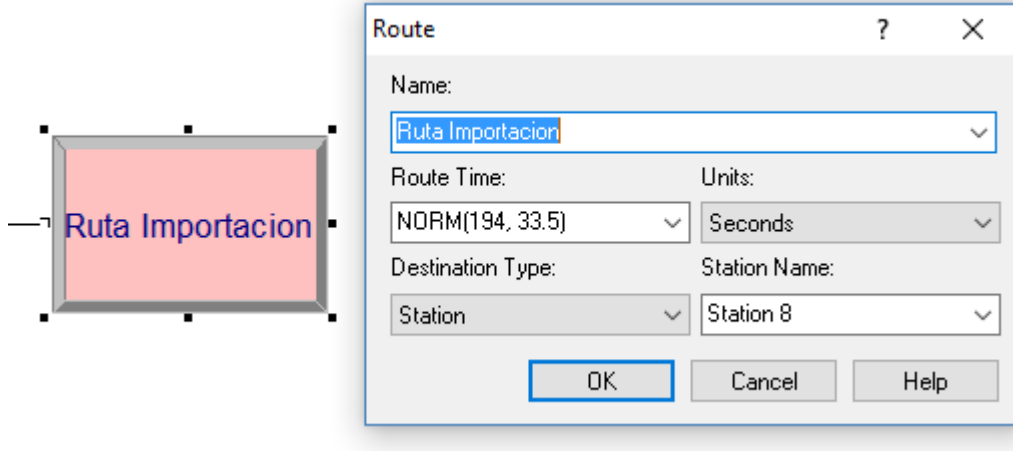


Figura 3.43 Módulo Route: Ruta entre zona de almacenaje y zona de transferencia para importación.

Fuente: Elaboración propia

Estación zona de transferencia para carga de importación (Módulo Station): El lugar donde las grúas reach-stacker dejan los contenedores en la zona de transferencia está representado por el módulo station, como se muestra en la figura 3.44 y corresponde a la zona transferencia impo.

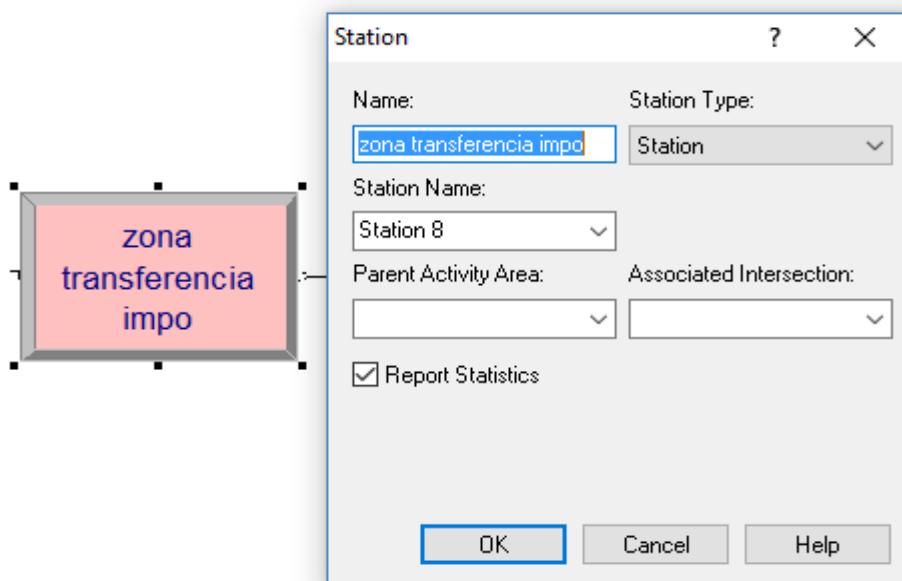


Figura 3.44 Módulo Station: Estación zona de transferencia para carga de importación.

Fuente: Elaboración propia

Proceso de desenganche contenedores de las grúas reach-stacker (Módulo Delay): El desenganche de los contenedores por parte de las grúas reach-stacker se realiza mediante el módulo Delay, como lo muestra la figura 3.45. El tiempo de desenganche es $14 + WEIB(34.6, 2.05)$ segundos, este tiempo considera el desenganche de una fila de contenedores de los tres trenes, esto debido al límite de entidades que posee el software.

Para los contenedores de importación este proceso se realiza en la zona de transferencia y para los de exportación se realiza en la zona de almacenaje.

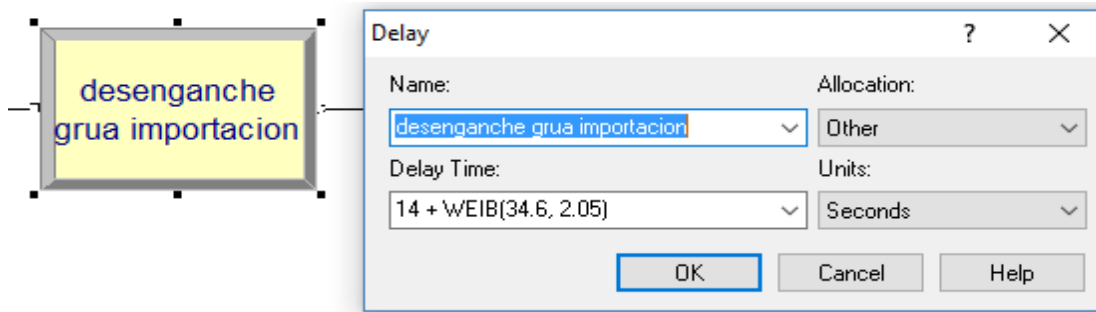


Figura 3.45 Módulo Delay: Proceso de desenganche por parte de la grúa Reach Stacker

Fuente: Elaboración propia

Liberación de la grúa reach-stacker (Módulo free): Terminado el proceso de traslado de los contenedores, se procede a liberar la grúa Reach Stacker mediante el módulo free como se muestra en la figura 3.46. Con ello, la grúa puede realizar el proceso con los contenedores siguientes.

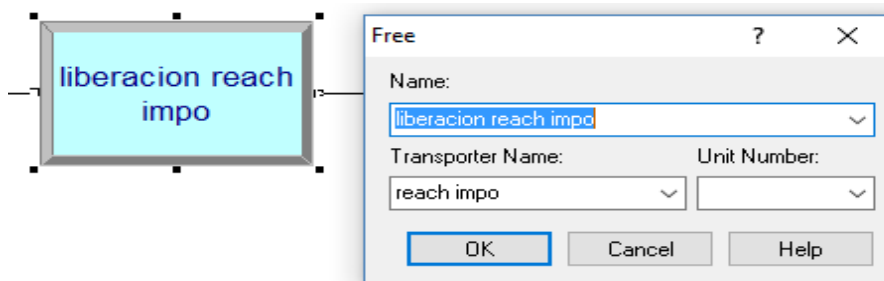


Figura 3.46 Módulo Free: Liberación de la grúa Reach Stacker.

Fuente: Elaboración propia

Fin proceso de traslado contenedores mediante grúa Reach Stacker (Módulo dispose): Para finalizar el proceso de traslado, tanto para importación como exportación, se emplea el módulo dispose, como se muestra en la figura 3.47.

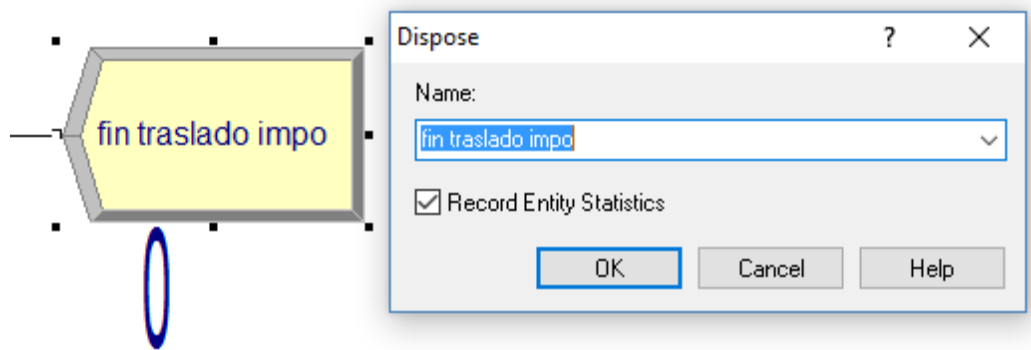


Figura 3.47 Módulo Dispose: Fin proceso de traslado mediante grúas Reach Stacker

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1.4 Salida de ferrocarriles

Luego de terminadas las operaciones de descarga y carga del tren, éste debe salir del terminal y con ello, finalizar su proceso en el puerto, y además, permitir el ingreso de nuevos arribos de ferrocarriles. La simulación de la salida de los ferrocarriles del TIY hace necesaria la utilización de varios módulos que permiten representar el comportamiento del sistema, se explicará sólo la salida del primer ferrocarril ya que las siguientes salidas poseen las mismas funciones en el software. En la figura 3.48 se muestra el proceso de salida de los 3 trenes con carga de importación.

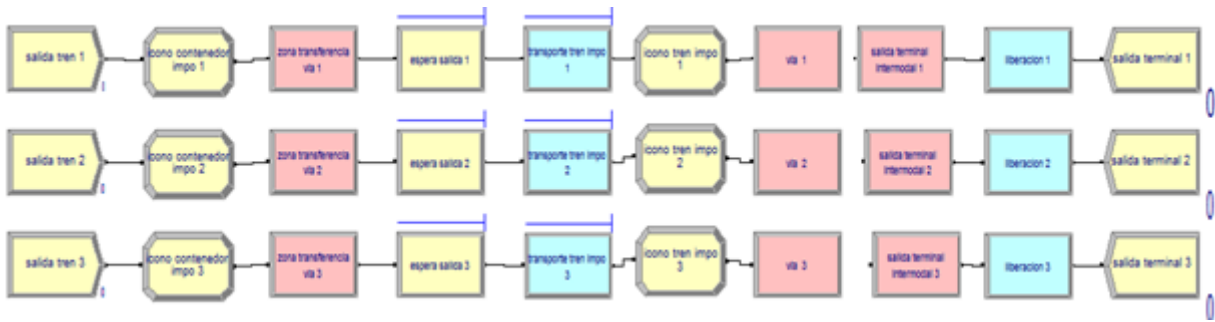


Figura 3.48 Salida ferrocarriles del terminal intermodal

Fuente Elaboración propia

Creación salida primer tren terminal intermodal (Módulo create): La salida del ferrocarril del terminal se crea al momento de finalizar la operación de transferencia de la grúa RMG.

Esta entidad es creada a los 112.3476 minutos equivalente a el tiempo mínimo que demora el ingreso del ferrocarril de la vía uno y el proceso de transferencia del mismo. Además posee un máximo de dos arribos lo que significa que pueden salir dos trenes por esa vía durante el día.

En cada vía circulan dos ferrocarriles diariamente, el tiempo mínimo desde el momento en que el primer ferrocarril comienza su salida del terminal hasta que el segundo tren está preparado para emigrar del TIY es de 136.3476 minutos según los resultados de la simulación. La especificación de este módulo se muestra en la figura 3.49.

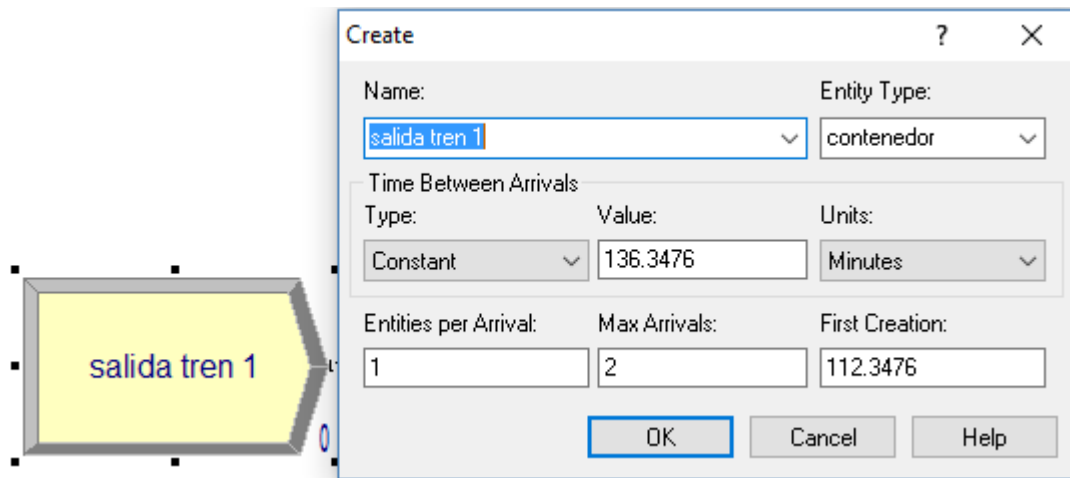


Figura 3.49 Módulo Create salida primer tren terminal intermodal

Fuente Elaboración propia

Estación zona transferencia vía 1 (Módulo Station): Mediante el módulo Station se le asigna un punto de partida al ferrocarril uno para iniciar su retirada del TIY. El nombre de la estación para el modelo es zona transferencia vía uno como se muestra en la figura 3.50.

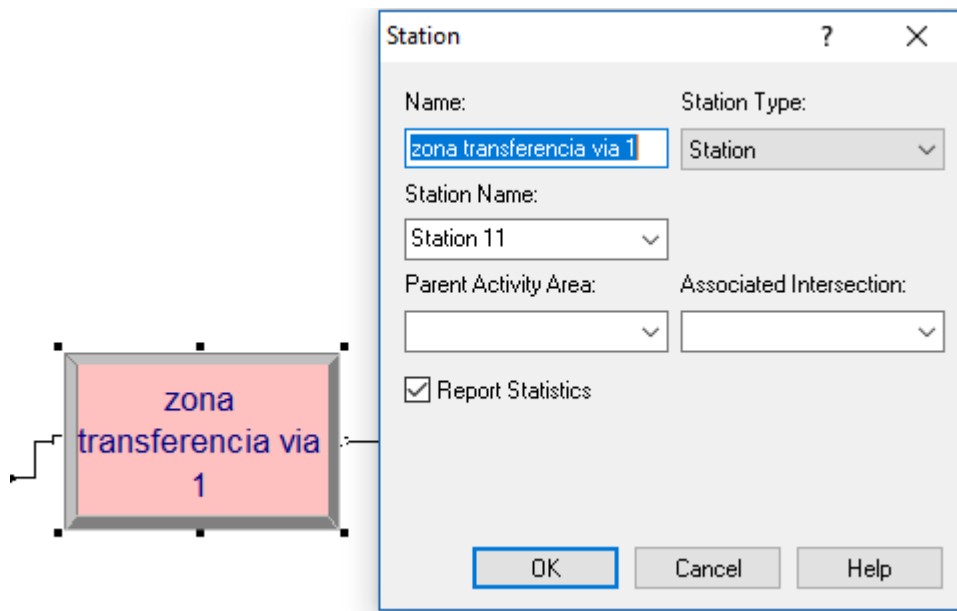


Figura 3.50 Módulo Station: Estación zona transferencia vía 1

Fuente: Elaboración propia

Espera salida 1 (Módulo Hold): El módulo Hold permite que la entidad creada espere en ese lugar hasta que el ferrocarril 1 cumpla la condición de poseer la carga completa de contenedores de importación, sin el cumplimiento de este estado no puede avanzar el tren, la condición mencionada se muestra en la figura 3.51.

La condición es que la salida del tren 1 del terminal se puede efectuar siempre y cuando se haya transferido la totalidad de contenedores entre la terna de trenes y el TIY, tanto para el primer arribo, como para el ingreso de los siguientes tres ferrocarriles. En el modelo la condición es salida contenedores.NumberOut==11.OR.salida contenedores.NumberOut==22.

La salida de contenedores es igual a 11 en el momento en que se transfiere la totalidad de la carga de los primeros tres trenes y 22 cuando se transfirieron todos los contenedores de la segunda tanda de ferrocarriles.

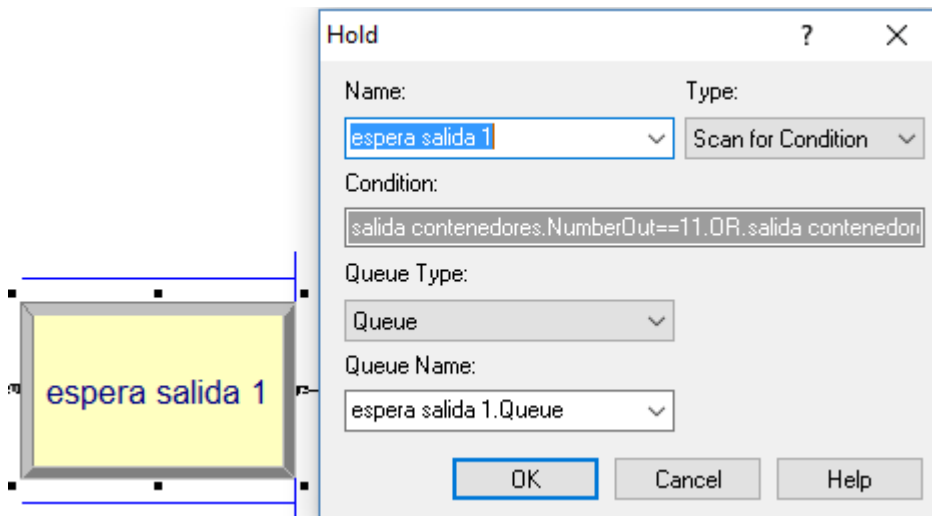


Figura 3.51 Módulo Hold: Espera salida 1

Fuente Elaboración propia

Requerimiento transporte tren importación 1 (Módulo Request): Para graficar de mejor manera la salida de los trenes del terminal, es necesario solicitar el uso de un transporte para el traslado de la carga contenedorizada desde la zona de transferencia hasta la salida del terminal. El ferrocarril es el mismo que ingresó al terminal y su nombre en el modelo es tren 1, la figura 3.52 muestra las especificaciones del tren que sale del terminal con carga de importación.

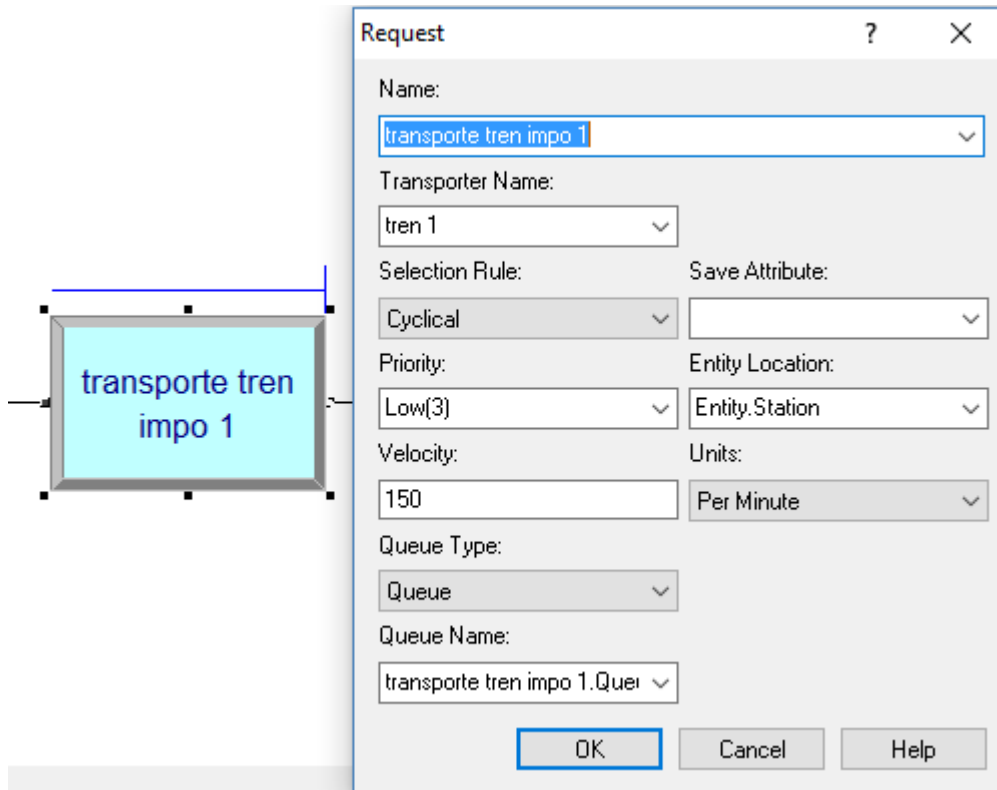


Figura 3.52 Módulo Request: Transporte tren importación 1

Fuente Elaboración propia

Ruta vía 1 (Módulo Route): Para realizar la gráfica en dos dimensiones es necesario especificar la ruta que une la estación de inicio y la estación final que transitará el ferrocarril. En la figura 3.53 se muestra la ruta que recorre el ferrocarril 1 y el tiempo que demora en circular las estaciones. La ruta para los trenes de las vías 2 y 3 es similar, por lo que sólo se describe la ruta 1.

El tiempo en la ruta, como se explicó en el módulo route del ingreso de ferrocarriles, es un supuesto basado en especificaciones técnicas de las locomotoras a utilizar.

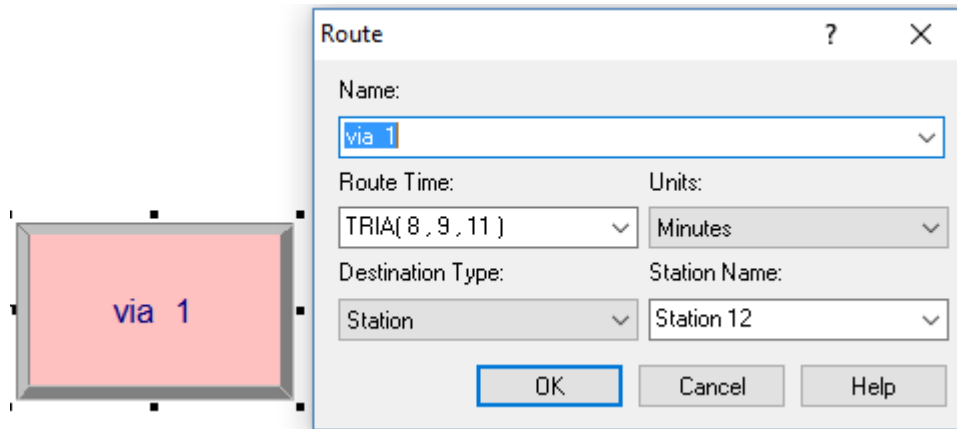


Figura 3.53 Módulo Route: Ruta vía 1

Fuente Elaboración propia

Estación salida terminal intermodal 1 (Módulo Station): Mediante el módulo Station se le asigna un punto de salida al ferrocarril 1 para finalizar su retirada del TIY. El nombre de la estación para el modelo es salida terminal intermodal 1 como se muestra en la figura 3.54.

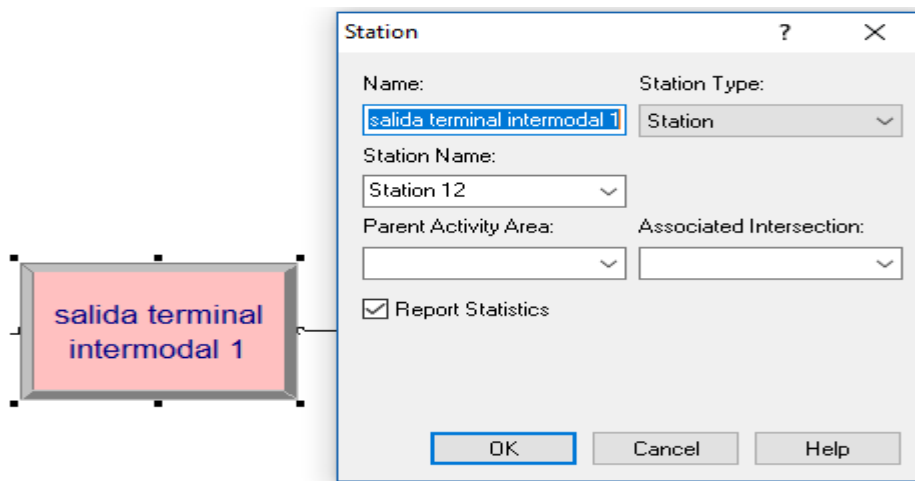


Figura 3.54 Módulo Station: Estación salida terminal intermodal 1

Fuente Elaboración propia

Liberación tren 1 (Módulo Free): En la situación real el transporte no es liberado debido a que traslada los contenedores hacia su destino final. Para la simulación es necesario liberarlo de las entidades para poder finalizar el proceso.

El transporte es liberado a través del módulo Free para que pueda realizar otra actividad, en este caso se libera el ferrocarril para que inicie su retorno hacia Santiago, como se muestra en la figura 3.55.

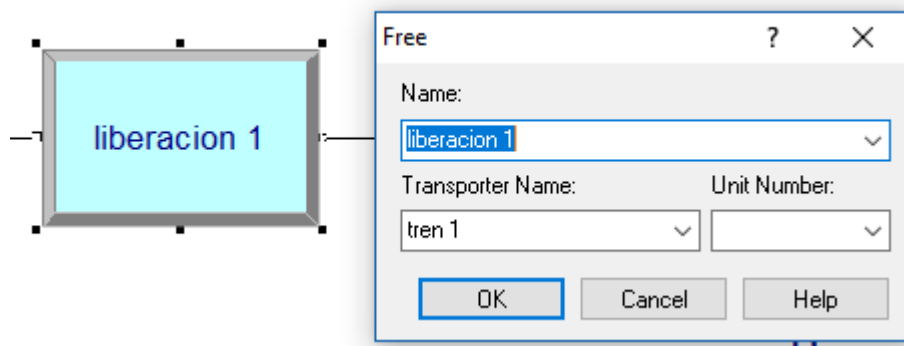


Figura 3.55 Módulo Free: Liberación tren 1

Fuente Elaboración propia

Salida terminal 1 (Módulo Dispose): El modelo siempre debe tener una creación de entidades y una salida de las mismas. La función del módulo dispose es retirar una entidad del modelo, éste se agrega al final de las operaciones en el momento en que la entidad ha llegado a su punto final de la simulación, en este caso con este módulo termina el proceso de salida del tren del terminal intermodal como se muestra en la figura 3.56.

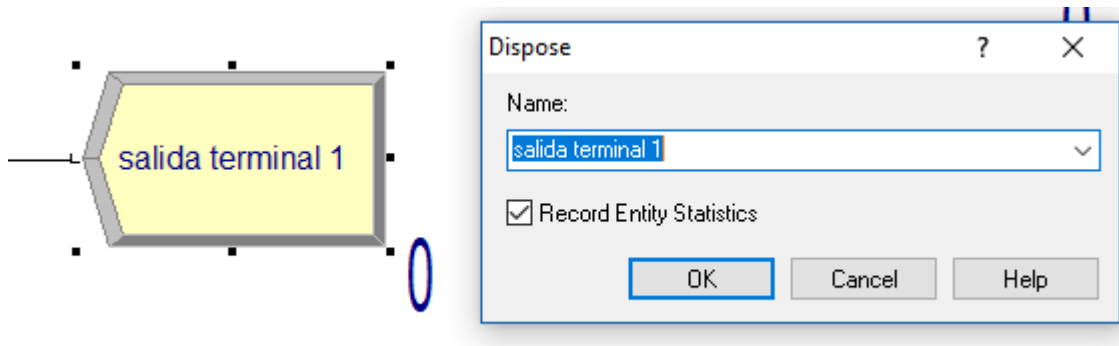


Figura 3.56 Módulo Dispose: Salida terminal 1

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1.5 Módulos de transferencia avanzada

Transportes a utilizar en el modelo (Módulo transporter): Los trenes que ingresan al terminal intermodal con contenedores de exportación y salen rumbo a la Región Metropolitana con carga de importación, y las grúas reach-stacker, que se consideran de manera diferente las que movilizan los contenedores que se cargarán a los trenes y los que se retiran de la zona de transferencia luego de haber sido descargados de los respectivos trenes arena los modela como transportes (transport).

Los transportes son los encargados de transferir las entidades de una estación a otra. La simulación en 2 dimensiones se basa en estaciones de partida y final junto con la ruta que los une. El transporte lleva a la entidad correspondiente a su punto final y vuelve a recoger la siguiente si es requerido.

Para facilitar el modelo, la posición inicial de cada transporte es justo el lugar donde se encuentran las entidades que tomarán control.

Los transportes a utilizar en el modelo se muestran en la figura 3.57.

Transporter - Advanced Transfer								
	Name	Number of Units	Type	Distance Set	Velocity	Units	Initial Position Status	Report Statistics
1	reach impo	1	Free Path	reach impo.Distance	1.0	Per Minute	1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	tren 1	1	Free Path	tren 1.Distance	1.0	Per Minute	1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	tren 2	1	Free Path	tren 2.Distance	1.0	Per Minute	1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	tren 3	1	Free Path	tren 3.Distance	1.0	Per Minute	1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	reach expo	1	Free Path	reach expo.Distance	1.0	Per Minute	1 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Figura 3.57 Módulo Transporter: Transportes a utilizar en el modelo

Fuente: Elaboración propia

Distancias entre estaciones (Módulo distance): Para evitar un error en el modelo, es necesario colocar las distancias en las rutas que circula los diferentes transportes. En el caso del transporte tren 1, traslada la carga desde la estación entrada terminal 1, que corresponde al número de identificación ID station 1 hasta la estación llamada área transferencia vía 1, ID station 4, las cuales se encuentran a una distancia de 700 metros, como lo muestra la figura 3.58. Luego, en la salida del terminal, el tren nuevamente vuelve a recorrer los mismos 700 metros en sentido contrario. Arena no permite a 2 entidades distintas utilizar la misma estación, por lo que se utilizan las estaciones ID station 11 y ID station 12. La estación ID station11 es igual a la estación ID station 4, y la station 12 es igual a ID station 1. Por lo anterior, es que en la figura 3.58 se muestra una distancia de 0 entre las estaciones ID station 1 y 12, y 4 y 11.

Distance - Advanced Transfer			Stations			
	Name	Stations		Beginning Station	Ending Station	Distance
1	tren 1.Distance	6 rows	1	Station 1	Station 4	700
2	tren 2.Distance	6 rows	2	Station 11	Station 12	700
3	tren 3.Distance	6 rows	3	Station 1	Station 12	0
4	reach expo.Distance	1 rows	4	Station 1	Station 11	700
5	reach impo.Distance	1 rows	5	Station 4	Station 12	700
			6	Station 11	Station 4	0

Double-click here to add a new row.

Figura 3.58 Módulo Distance: Distancias que recorren los transportes

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1.6 Corrida del modelo

Se asignó un total de 200 réplicas del modelo, que representan 200 días de funcionamiento del terminal intermodal. Como muestra la figura 3.59 el inicio de la simulación es a las 23:50:00 que es el momento en que llega el primer ferrocarril a la entrada del TIY.

Existe la restricción de horario y se muestra en la configuración de corrida del modelo, que son 6 horas de operación diariamente.

La simulación finaliza cuando se retira el sexto tren del terminal intermodal. En la configuración se muestra como salida terminal 3.NumberOut==2, esto quiere decir que en el momento en que el tercer tren del segundo ciclo de arribos sale del terminal, la simulación termina y comienza una nueva réplica.

La unidad base para el análisis de resultados es en minutos.

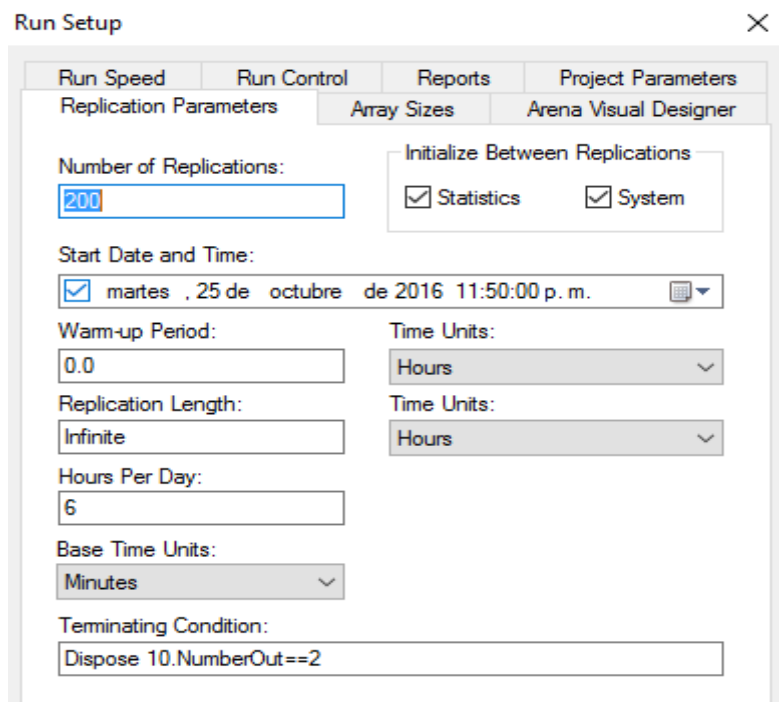


Figura 3.59 Configuración corrida del modelo

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.2 Verificación del modelo

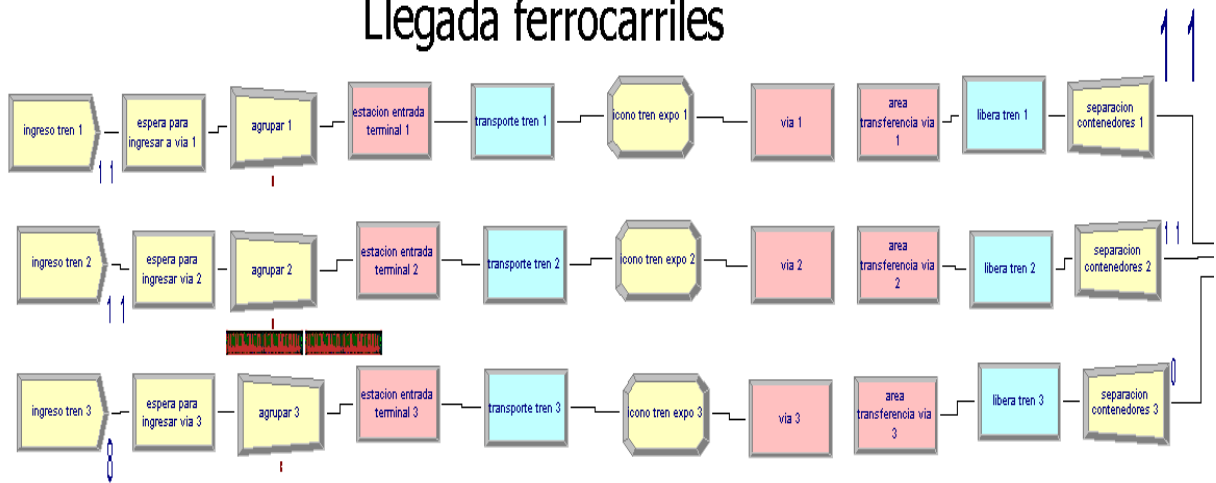
El proceso de verificación consiste en comprobar que el modelo de simulación cumple con los requisitos de diseño para los que se elaboró. Evalúa que el modelo se comporta de acuerdo al diseño propuesto y por ende representa fielmente el sistema a trabajar.

Se procedió a verificar el modelo revisando que las entidades cumplan con todos los pasos que se realizan en el terminal intermodal, éstos son los siguientes:

- Ingreso ferrocarriles zona de transferencia.
- Alineamiento de los 3 ferrocarriles en el terminal intermodal.
- Descarga contenedores exportación por parte de las grúas.
- Carga de contenedores importación por parte de las grúas.
- Traslado de contenedores de importación por grúas reach stacker entre zona de almacenaje y zona de transferencia este.
- Transferencia de carga de exportación por grúas reach stacker desde la zona de transferencia oeste hacia la zona de almacenaje.
- Movimiento de grúa una fila hacia adelante.
- Fin proceso de transferencia.

Los trenes ingresan al terminal intermodal y se dirigen inmediatamente a la zona de transferencia mediante la vía asignada. En la figura 3.60 se muestra el ingreso de las entidades al terminal y paralelamente se observa el inicio del movimiento de grúas reach stacker en la zona de almacenamiento para el proceso de importación y en la zona de transferencia para el proceso de exportación, ambos a la espera de la señal para iniciar el traslado de contenedores. También se muestra en la figura 3.61 el posicionamiento de los trenes en 2D al interior del terminal intermodal.

Llegada ferrocarriles



Movimiento grúas reach stacker

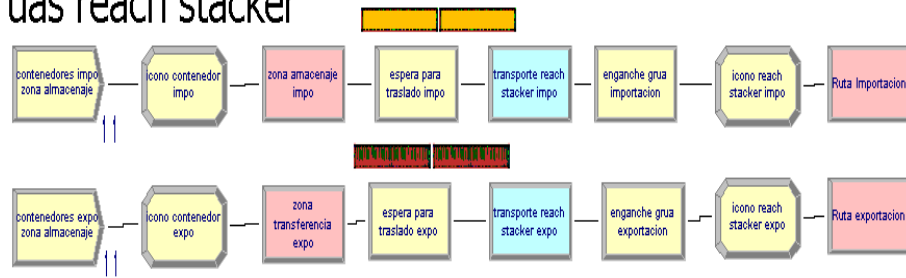


Figura 3.60 Ingreso de trenes cargados al terminal intermodal y espera de grúas reach stacker

Fuente: Elaboración propia

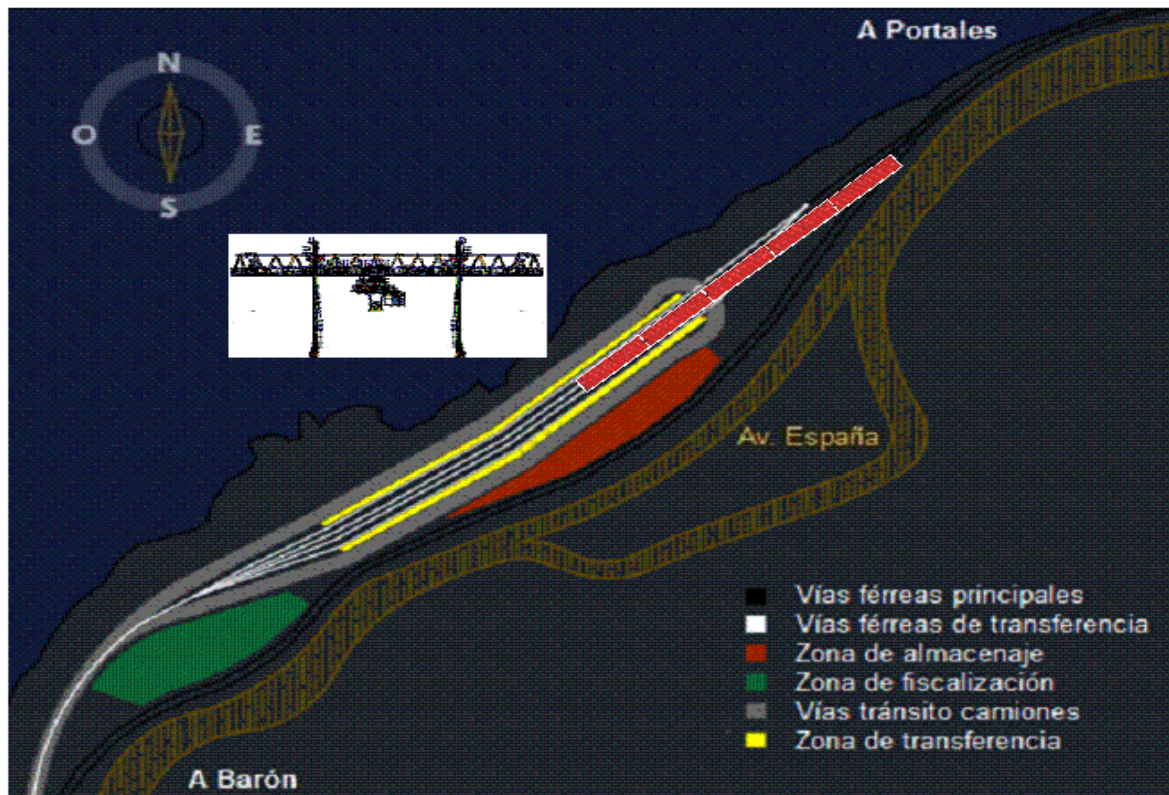


Figura 3.61 Grafica de ingreso de trenes al TIY

Fuente: Elaboración propia

Los ferrocarriles ingresan a la zona de transferencia del terminal intermodal, se posicionan y procede a descargarse el carro de cada tren con contenedores de exportación. Una vez terminada la descarga de dicha línea completa se carga con contenedores de importación como se visualiza en la figura 3.62 para después mover hacia adelante la grúa para continuar con el proceso de transferencia con los contenedores siguientes. Paralelamente comienza a funcionar el traslado de contenedores por las grúas reach stacker, cuando se libera el quinto vagón de los ferrocarriles comienza el movimiento de contenedores de exportación de la zona de transferencia hacia la zona de almacenamiento y posteriormente cuando se libera el noveno vagón de los ferrocarriles se inicia el traslado de contenedores de importación desde la zona de almacenamiento hacia la zona de transferencia. Las liberaciones se designaron en esos momentos debido a que el movimiento de las grúas reach stacker es más veloz que la grúa

RMG, con esto se evita el encuentro entre ambas grúas y se cumple tanto como para el caso de exportación e importación que se retiren de la zona de transferencia y lleven de la zona de almacenaje la totalidad de contenedores en el tiempo establecido antes del arribo de los siguientes ferrocarriles. Además se muestra en la figura 3.63 la operación del proceso de transferencia en 2D donde se visualiza la grúa RMG y grúas reach stacker trabajando.

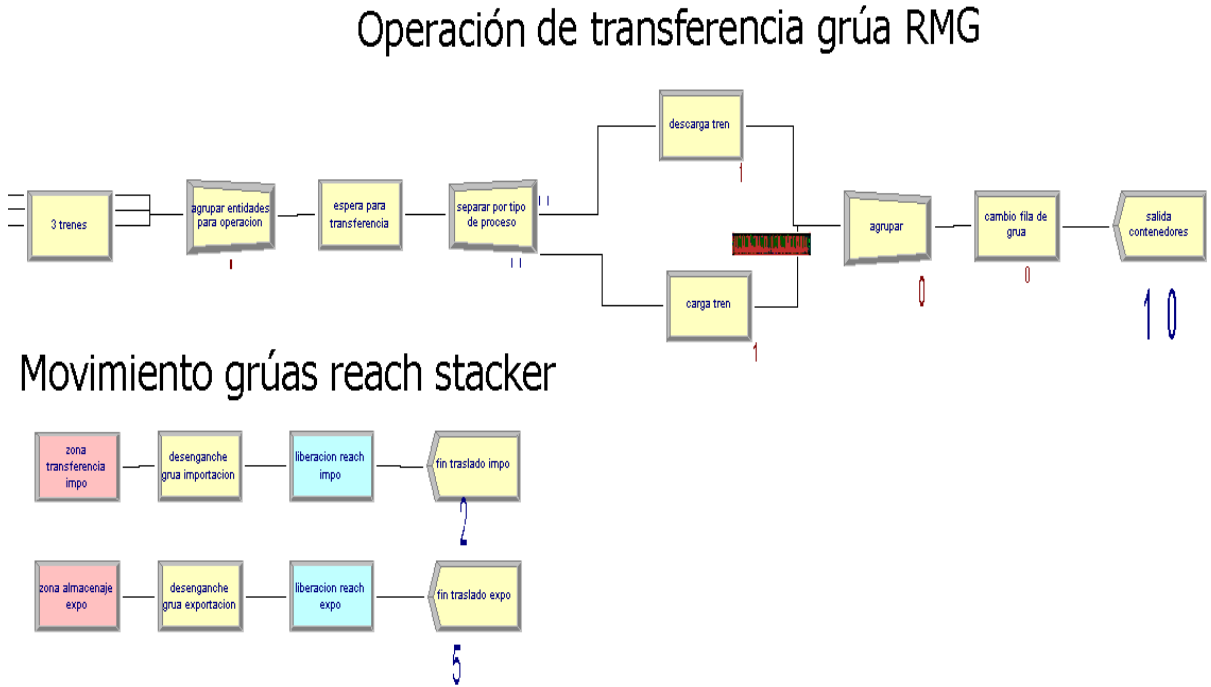


Figura 3.62 Proceso de transferencia terminal intermodal Yolanda

Fuente: Elaboración propia

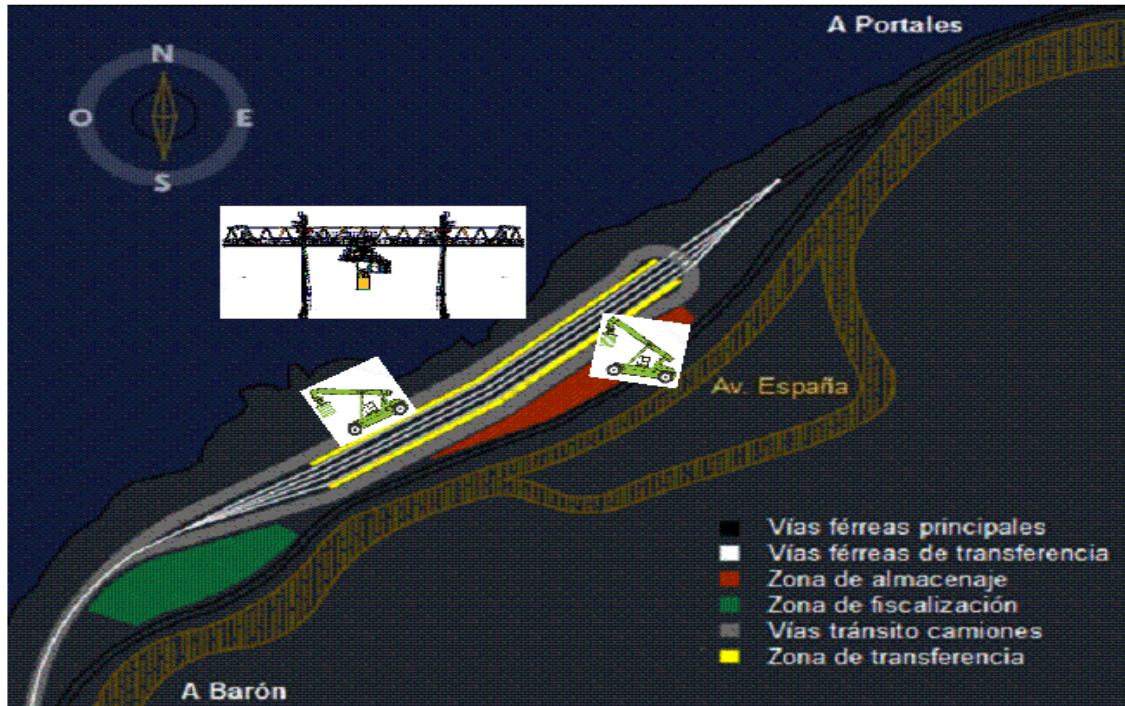


Figura 3.63 Grafica 2D de la transferencia de contenedores en el TIY

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, una vez finalizada la carga de los contenedores de importación cada ferrocarril procede a abandonar el terminal intermodal, mientras que las grúas reach stacker continúan con el traslado de contenedores con la finalidad de que esté liberada la zona de transferencia para el ingreso de los siguientes 3 ferrocarriles que arriban al terminal, como se observa en la figura 3.64 y figura 3.65.

Salida ferrocarriles

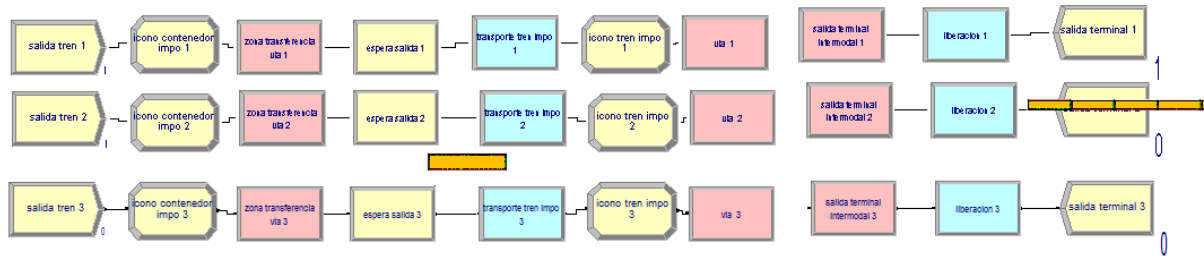


Figura 3.64 Salida ferrocarriles TIY

Fuente: Elaboración propia

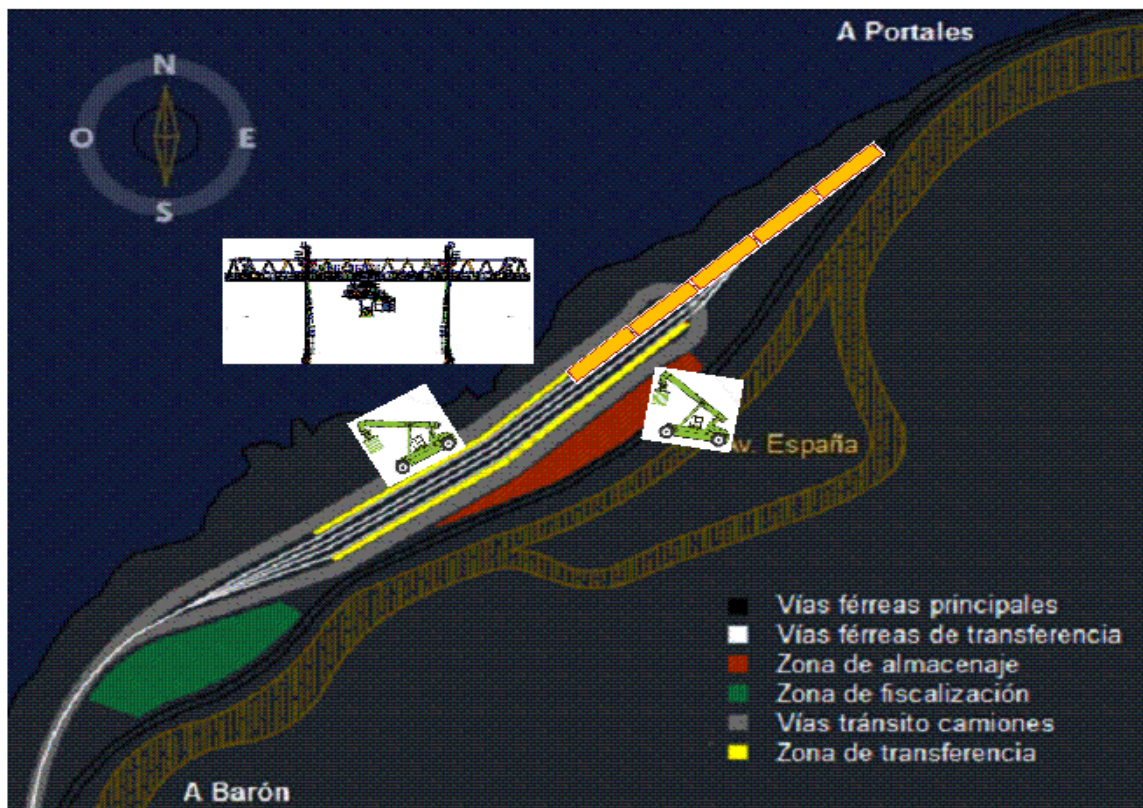


Figura 3.65 Grafica 2D salida de trenes TIY

Fuente: Elaboración propia

Con todo lo anterior se puede concluir que el modelo diseñado realiza todas las operaciones que fueron mencionadas por el estudio que hizo la empresa INECON S.A. sobre el desarrollo del modo ferroviario de carga para el Puerto de Valparaíso por lo tanto podemos decir que el modelo ha sido verificado.

3.1.4 Diseño explicativo Terminal Intermodal Yolanda

Mediante el uso del software Simio, se diseñó el terminal intermodal Yolanda en formato 3d con la finalidad de demostrar de forma más clara el trabajo del terminal ferroviario, no obstante, se logró crear todas las áreas del terminal (Zona de Fiscalización, Zona de Almacenamiento, Zona de Transferencia) pero al momento de hacer funcionar el modelo el software no lo permite, ya que la versión del programa para estudiantes solo permite un máximo de 30 objetos, entiéndase por objeto cualquier herramienta que ofrece la librería del software que se usarán en el modelo (conectores, entrada, salida, servidor, vehículo, nodo de transferencia, nodo básico, recursos, combinación, separador, estación de trabajo) Para lograr el funcionamiento del modelo creado en el software Simio es necesario invertir en la versión profesional de este programa.

A continuación desde la figura 3.66 hasta la 3.72 se muestra el terminal intermodal Yolanda desde distintas perspectivas con la finalidad de aclarar el proyecto a realizarse.

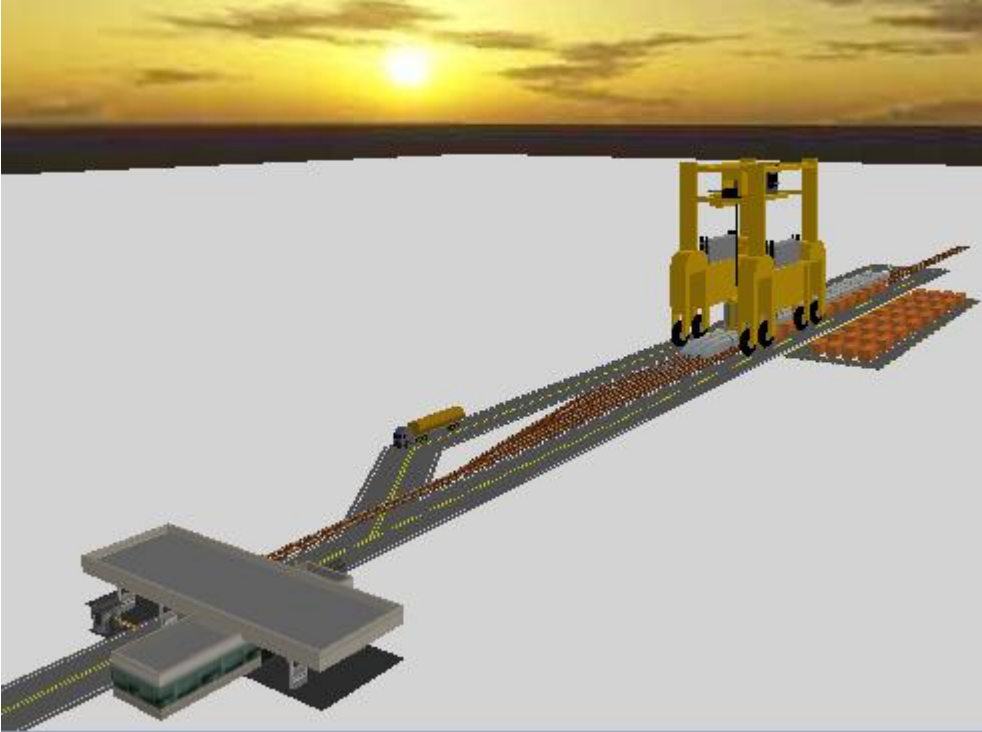


Figura 3.66 Terminal Intermodal Yolanda vista aérea

Fuente: Elaboración Propia

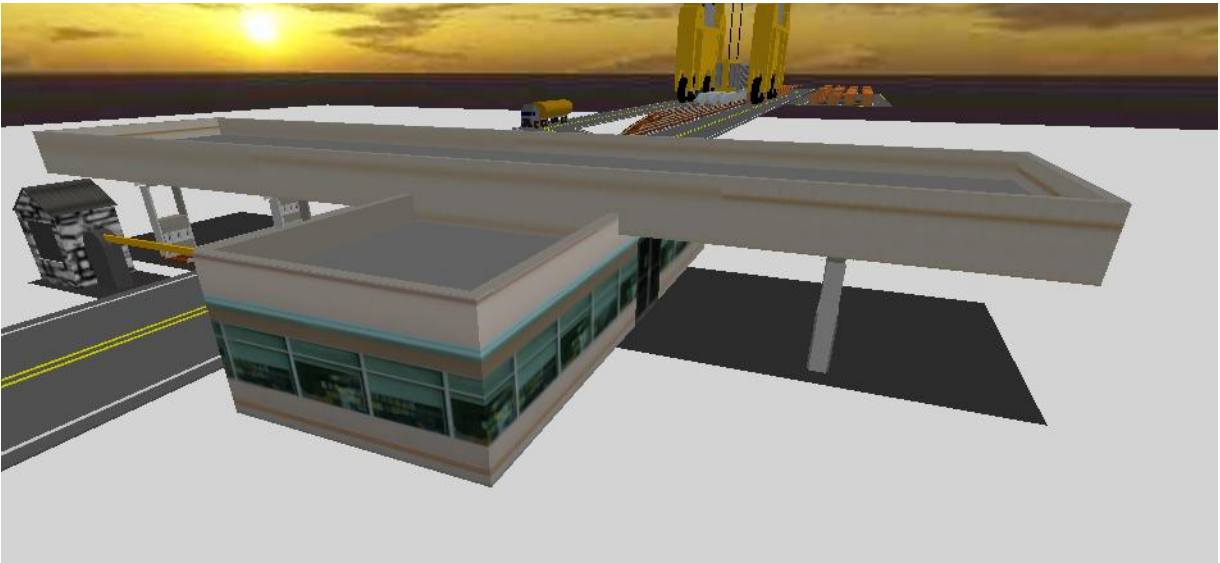


Figura 3.67 Entrada Terminal Intermodal Yolanda y zona fiscalización

Fuente: Elaboración Propia



Figura 3.68 Zona de almacenamiento Terminal Intermodal Yolanda

Fuente: Elaboración Propia

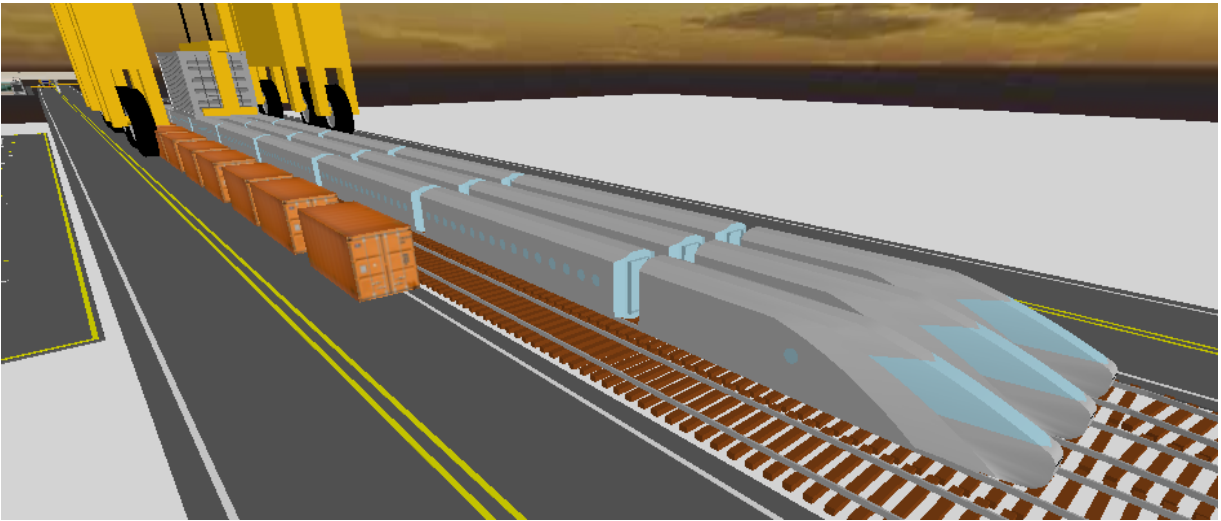


Figura 3.69 Zona de transferencia contenedores importación Terminal Intermodal Yolanda

Fuente: Elaboración Propia

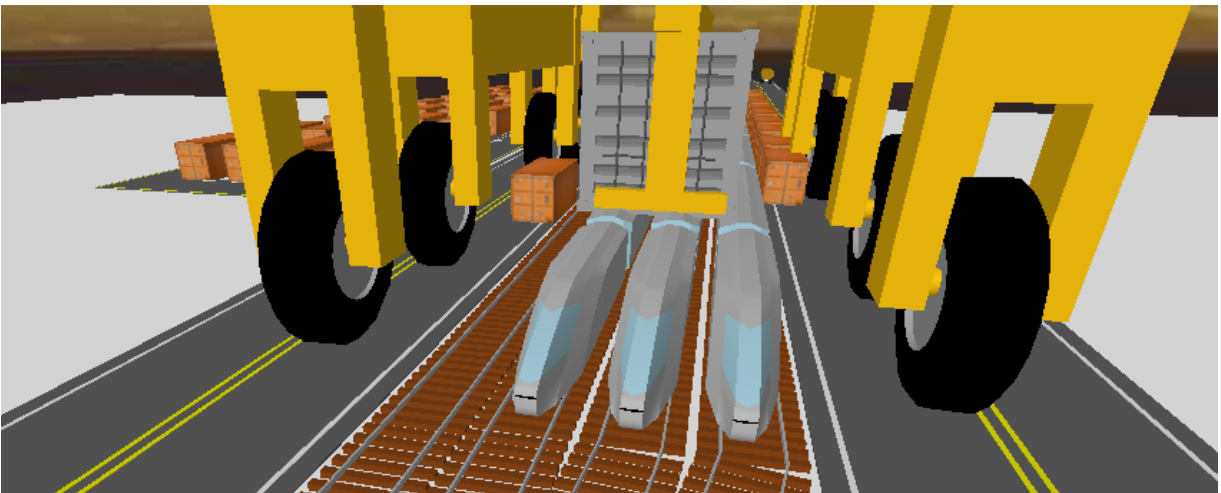


Figura 3.70 Zona de Transferencia Terminal Intermodal Yolanda

Fuente: Elaboración Propia

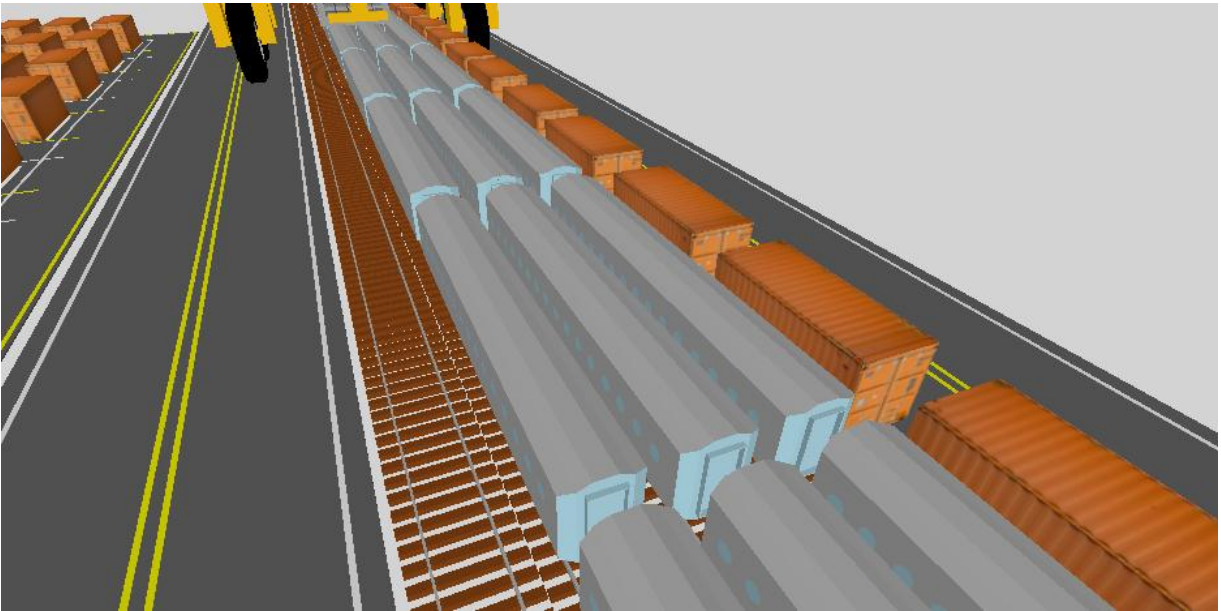


Figura 3.71 Zona de transferencia contenedores exportación Terminal Intermodal Yolanda

Fuente: Elaboración Propia

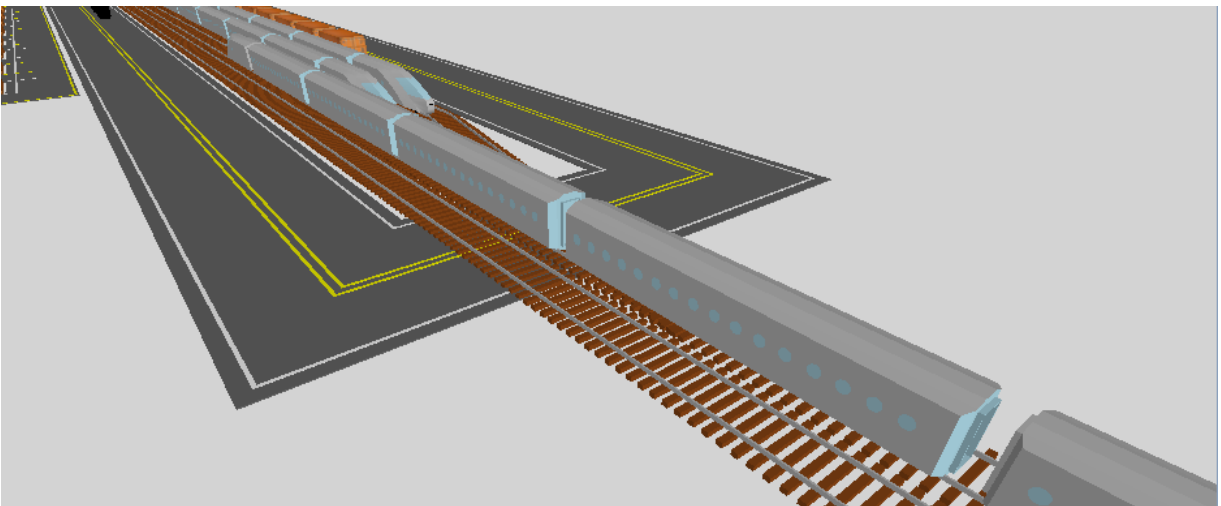


Figura 3.72 Salida ferrocarril Terminal Intermodal Yolanda

Fuente: Elaboración Propia

3.1.5 Experimentación con el modelo diseñado

3.1.5.1 Análisis de resultados simulación inicial

Realizada la construcción del modelo y la verificación del mismo, se procedió a analizar los resultados obtenidos en la simulación.

Primero se muestran los datos del diseño propuesto para el terminal en la tabla 3.1 a continuación. Cabe recordar que existe una restricción horaria, lo que permite sólo la operación de transferencia con los trenes durante máximo 6 horas diarias.

El número de réplicas a realizar en el modelo es de 200, cada réplica que equivale a 6 horas de operación en un día, de un total de 200 días simulados.

Tabla 3.1 Datos para la simulación inicial

Año evaluación	2016
Horario inicio simulación	23:50
Cantidad trenes por día	6
Cantidad de grúas RMG	3
Cantidad de grúas Reach-stacker	3
Número de réplicas	200
Cantidad de vías disponibles	3

Fuente: Elaboración propia

La transferencia entre los trenes y el terminal es el proceso principal de este modelo, por lo que se basará en los resultados de dicha operación para realizar el análisis de los reportes que entrega Arena Rockwell.

Los resultados obtenidos luego de las 200 repeticiones de la simulación se muestran en la tabla 3.2 a continuación.

Tabla 3.2 Tiempos obtenidos en la simulación

Proceso	Promedio (min)	Mínimo (min)	Máximo (min)
Descarga tren	4.89	4.23	5.86
Carga tren	5.05	4.25	5.95
Cambio fila grúa RMG	0.19	0.16	0.23
Total tiempo transferencia	10.14	8.65	12.05
Total tiempo simulación	377.09	350.22	402.4

Fuente: Elaboración propia

El proceso de carga del tren es más lento que la descarga del mismo, ya que la maniobra de desenganchar un contenedor en un carro de ferrocarril posee mayor dificultad que soltar el contenedor directamente en el piso.

Se realizó un total de 200 réplicas, el tiempo total de cada réplica, es decir, el tiempo total en el terminal para el ingreso, proceso de transferencia y salida de seis trenes completamente cargados se muestra en la figura 3.73, recordando que el límite máximo de operación permitido es de 360 minutos.

El promedio de tiempo del proceso de transferencia por fila de contenedores, incluyendo los 3 ferrocarriles, es de 10.14 minutos, su tiempo mínimo de operación es de 8.65 minutos y su tiempo máximo es sobre 12 minutos. La variación se debe a que es más de un proceso (descarga, carga y cambio de fila), y depende de las maniobras del operario de la grúa RMG.

Los resultados de la simulación arrojan que el promedio del tiempo total todas las réplica es de 377.09 minutos, este valor es superior al máximo permitido que es 360 minutos o 6 horas. El tiempo máximo obtenido en una réplica es de 402.4 minutos, tiempo que ocurre solamente una vez en la simulación y estando por sobre el máximo tiempo permitido por más de 42 minutos.

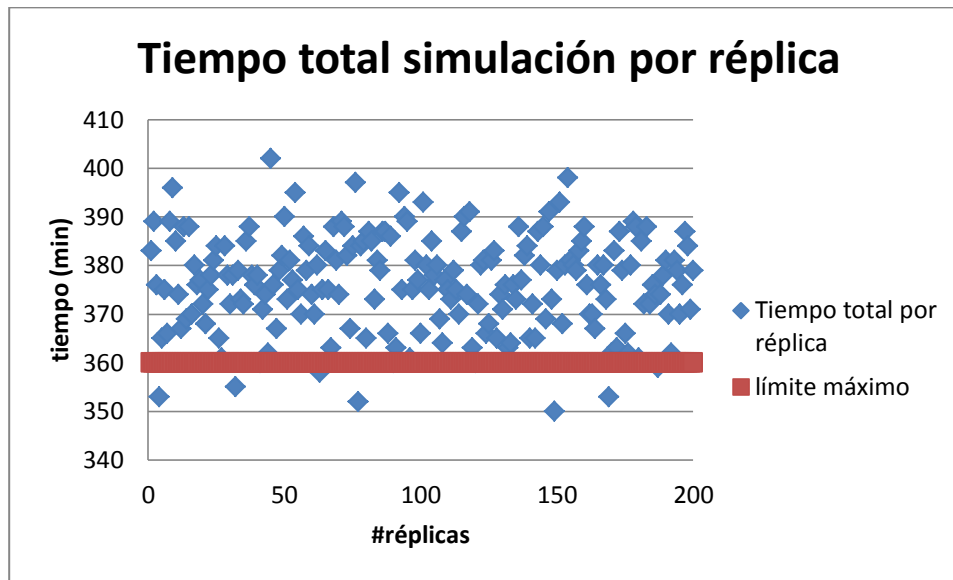


Figura 3.73 Gráfico dispersión de excel: Tiempo total por simulación escenario 0

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.73 se visualiza claramente que gran cantidad de repeticiones de la simulación sobrepasan el tiempo máximo de operación.

Para obtener resultados más concretos, se realizó un análisis estadístico mediante el programa Minitab, con el fin de saber el comportamiento de las muestras de la simulación. En la figura 3.74 se muestra la representación de distribuciones de las frecuencias, mediante un histograma.

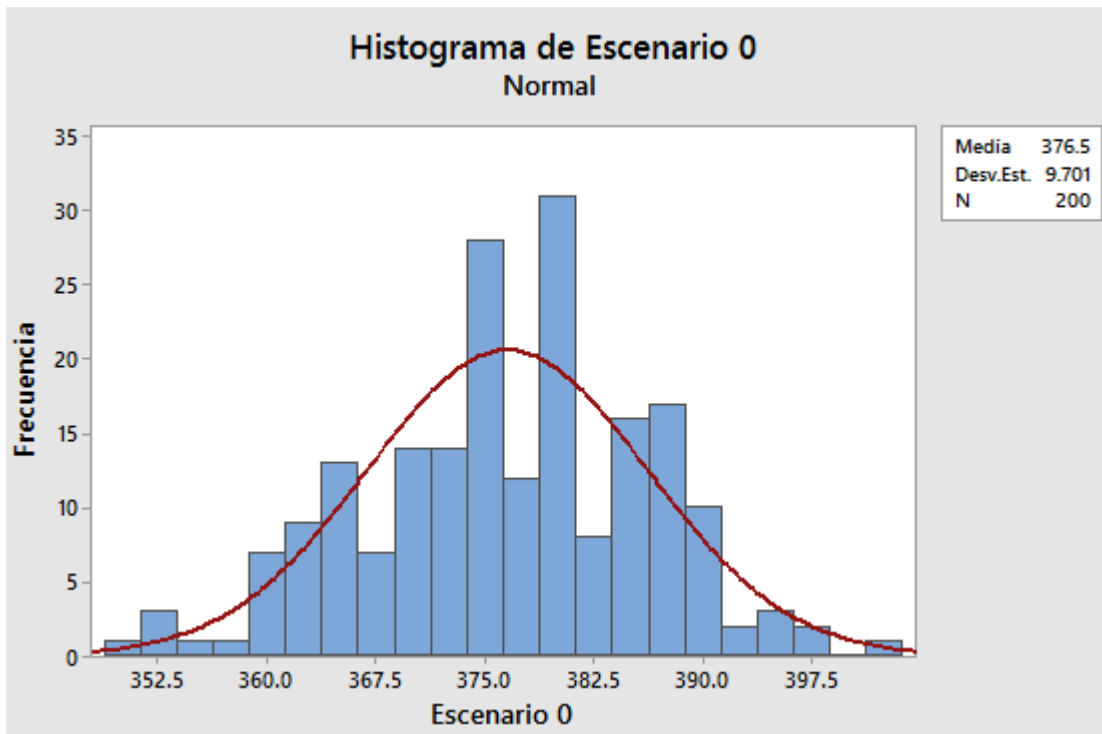


Figura 3.74 Histograma: Distribución de las frecuencias escenario 0

Fuente: Minitab

La gráfica nos muestra que la distribución de los resultados de la simulación, que equivale a un día de operación de transferencia entre el terminal y los ferrocarriles (6 horas), es una normal con media 376.5 minutos y una desviación estándar de 9.701 minutos.

Para saber la probabilidad de ocurrencia de que el proceso de transferencia sobrepase el límite de 6 horas, se utilizó la gráfica de distribución de probabilidad, que se muestra en la figura 3.75 a continuación.

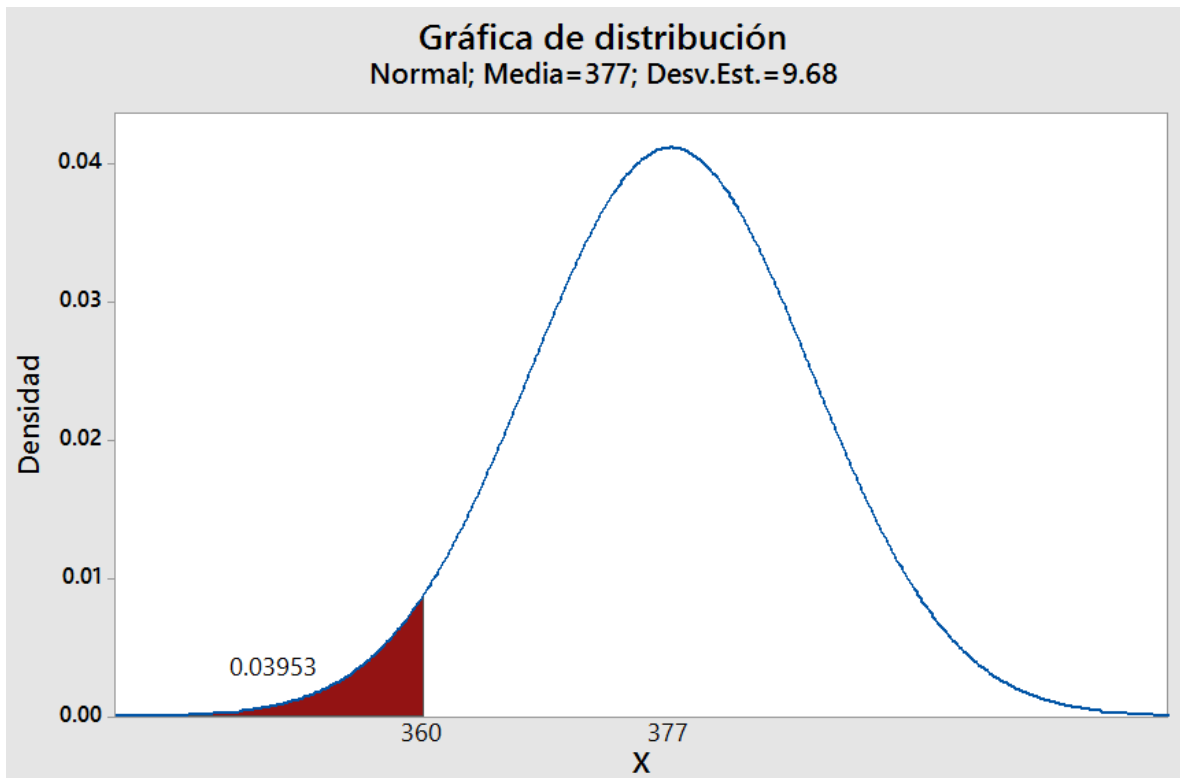


Figura 3.75 Distribución de probabilidad escenario 0

Fuente: Minitab

La figura 3.75 muestra que la probabilidad que una muestra sea bajo las 6 horas permitidas, es menos del 4%. Estos resultados demuestran que el diseño inicial del terminal entregado por la empresa INECON S.A no permite un funcionamiento adecuado con las restricciones horarias existentes. Es por lo anterior que es necesario realizar modificaciones al diseño presentado en un inicio, con el fin de que se incluya las condiciones mínimas propuestas por EPV y se cumpla la restricción horaria.

3.1.5.2 Experimentación

3.1.5.2.1 Evaluación de escenarios

Luego de haber obtenido los resultados de la simulación, se evaluaron diferentes escenarios, con el fin de no sólo evaluar el diseño conceptual entregado por Empresa Portuaria Valparaíso, sino que también tener otras propuestas de operación del terminal intermodal.

Las simulaciones de los escenarios se basaron en cambios en el diseño operativo del terminal, a continuación se presentan los escenarios:

- 1- Ingresan 6 ferrocarriles diarios y se retiran 3 del TIY
- 2- Agregar una grúa RMG y una grúa Reach Stacker a la operación del TIY
- 3- Ingresan 5 ferrocarriles diarios al TIY

Escenario 1: Ingresan 6 ferrocarriles diarios y se retiran 3 del TIY

En este escenario, se cambió la salida de los ferrocarriles, en vez de que se retiren la totalidad de los trenes hacia Santiago como en la simulación principal, los últimos 3 se quedan en el terminal intermodal durante todo el día, retirándose del terminal en la noche cuando finalice la jornada de Merval. Este escenario permite tener más tiempo para la operación de transferencia sin preocuparse de la restricción horaria. Este escenario se simuló desde la salida de los trenes que estuvieron en el día al interior del terminal, hasta el ingreso de los últimos tres ferrocarriles provenientes de RM, esto debido a que la operación de estos últimos puede exceder el límite de horario.

Las condiciones de funcionamiento para este escenario se muestran en la tabla 3.3

Tabla 3.3 Datos para el escenario 1

Año evaluación	2016
Horario inicio simulación	23:50
Cantidad trenes por día	6
Cantidad de grúas RMG	3

Cantidad de grúas Reach-stacker	3
Número de réplicas	200
Cantidad de vías disponibles	3

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del escenario 1 se muestran en la siguiente tabla 3.4

Tabla 3.4 Tiempos obtenidos en la simulación para el escenario 1

Proceso	Promedio (min)	Mínimo (min)	Máximo (min)
Descarga tren	4.87	3.78	6.33
Carga tren	5.09	3.69	6.56
Cambio fila grúa RMG	0.19	0.15	0.25
Total tiempo transferencia	10.16	7.61	13.14
Total tiempo simulación	265.70	245.30	286.50

Fuente: Elaboración propia

El promedio de tiempo del proceso de transferencia por fila de contenedores, es de 10.16 minutos, su tiempo mínimo de operación es de 7.61 minutos y su tiempo máximo es de 13.14 minutos. La variación se debe a que es más de un proceso (descarga, carga y cambio de fila), y depende en gran manera de las maniobras del operario de la grúa RMG.

Al analizar los resultados obtenidos de la simulación en el escenario 1 se observa que cumple el modelo con las restricciones de horario establecidas para el funcionamiento del terminal intermodal, arrojando como promedio por réplica diaria de 265.70 minutos, siendo su tiempo mínimo 245.30 minutos y su tiempo máximo 286.50 minutos, ambos con una sola repetición de ese tiempo, muy lejanos a los 360 minutos de tiempo tope para operar.

Para analizar los resultados de la simulación del escenario 1, se muestra un gráfico de dispersión del tiempo total de la repetición en la figura 3.76, un histograma de la distribución de las frecuencias en la figura 3.77 y en la figura 3.78 la distribución de probabilidad de ocurrencia que no supere el tiempo límite.

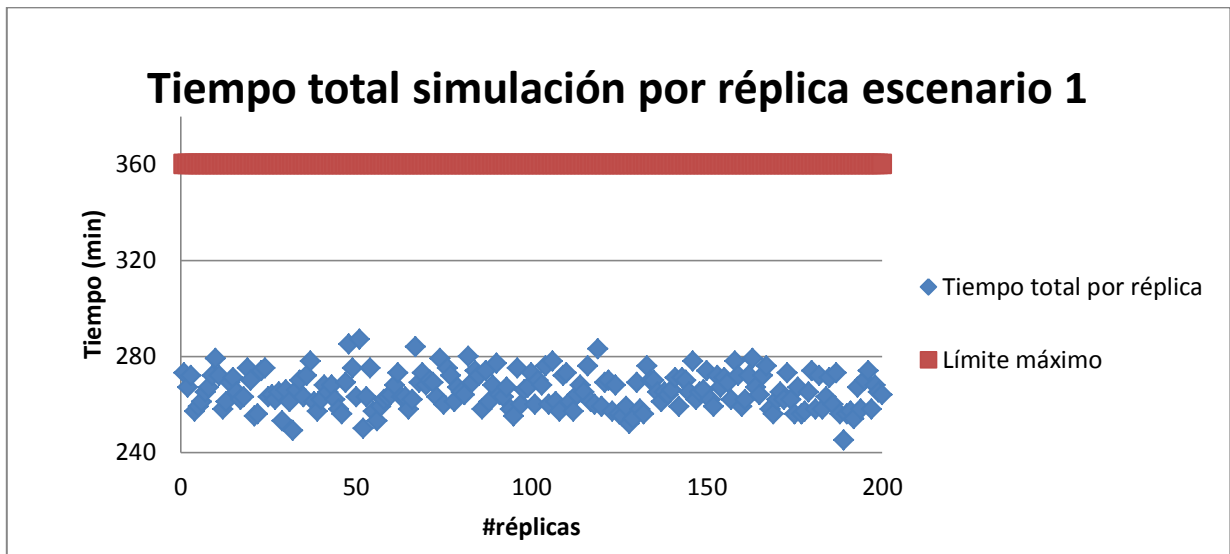


Figura 3.76 Tiempo total simulación por réplica escenario 1

Fuente: Elaboración propia

La figura 3.76 muestra que la totalidad de simulaciones realizadas están dentro de las seis horas permitidas, por lo que cumple con la restricción horaria.

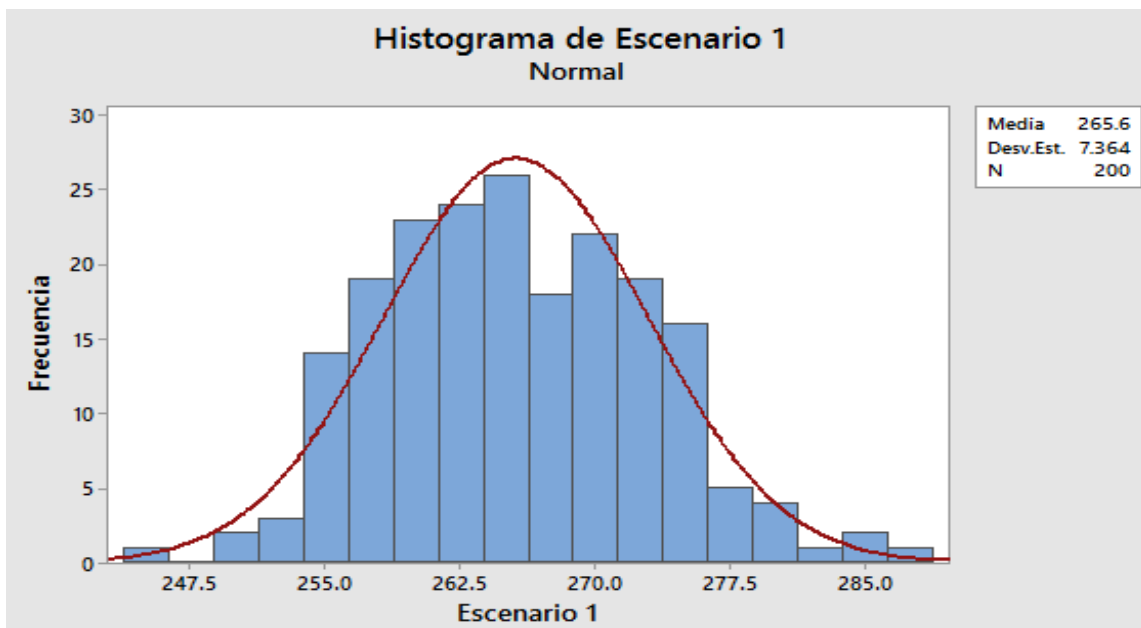


Figura 3.77 Histograma: Distribución de las frecuencias escenario 1

Fuente: Minitab

La gráfica de distribuciones que genera el escenario 1 nos muestra que la distribución de los resultados de la simulación es una normal con media 265.6 minutos y una desviación estándar de 7.364 minutos.

Para saber la probabilidad de ocurrencia de que el proceso de transferencia sobrepase el límite de 6 horas, se utilizó la gráfica de distribución de probabilidad, que se muestra en la figura 3.78 a continuación.

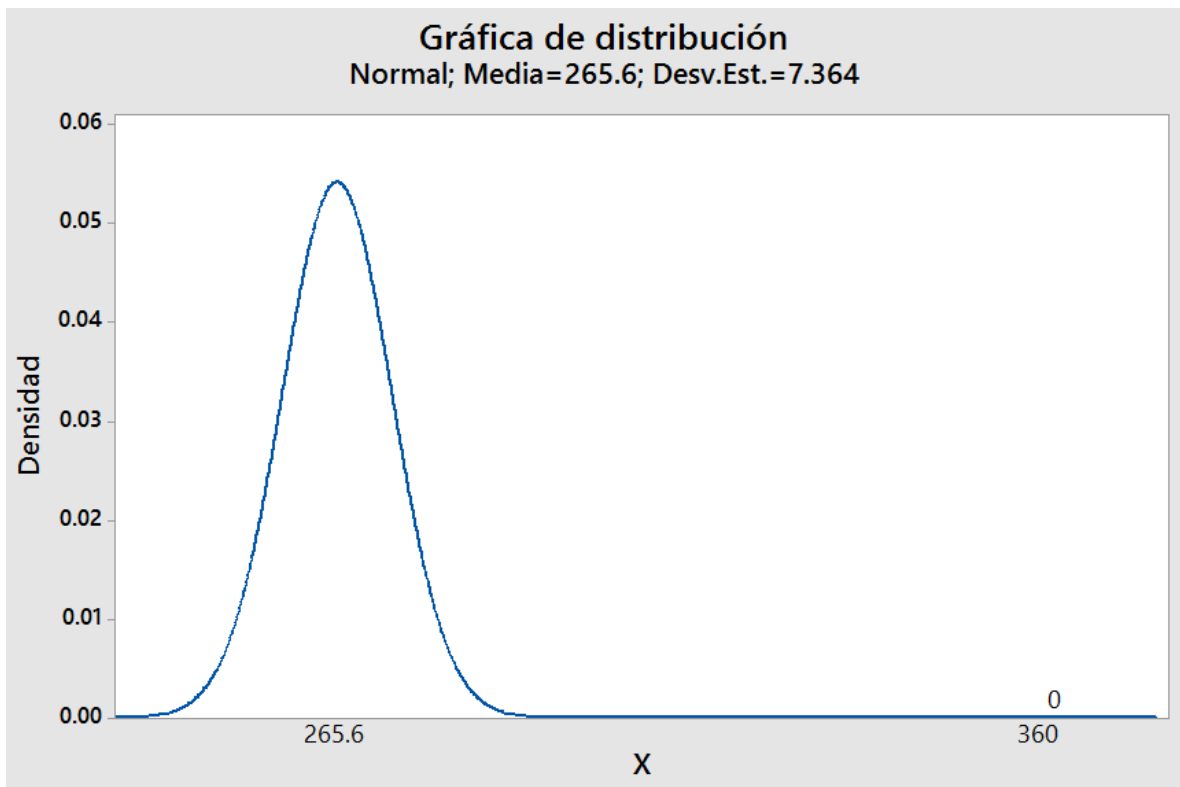


Figura 3.78 Distribución de probabilidad escenario 1

Fuente: Minitab

La probabilidad mostrada en la figura 3.78 del escenario 1 sea menor a las 6 horas establecidas, es del 100%, estos resultados comprueban que el diseño creado para el escenario 1 permite un funcionamiento adecuado con las restricciones horarias existentes.

También es necesario mencionar que a pesar de cumplir con la restricción horaria, el hecho de que los trenes estén todo el día paralizados al interior del terminal puede generar

costos negativos para la empresa, y se necesitaría una mayor cantidad de trenes para el traslado entre el puerto de Valparaíso y la Región Metropolitana. Se debe cumplir que diariamente ingresen 6 trenes al terminal intermodal y, al retirarse 3 de ellos la noche siguiente a su arribo, es necesario que operen 9 trenes diariamente aumentando los costos para la empresa de ferrocarriles y disminuyendo la eficiencia de la operación.

Por ende se analizó los escenarios 2 y 3 con la finalidad de encontrar la propuesta que entregue más beneficios a EPV. Cabe destacar que la transferencia del segundo arribo de trenes se realiza de igual manera que en el modelo inicial, la diferencia es que éstos no deben retirarse la misma noche que arriban.

Escenario 2: Agregar una grúa RMG y una grúa Reach Stacker a la operación del TIY

En este escenario, se agrega una grúa adicional RMG y una grúa adicional Reach Stacker al modelo de simulación principal con la finalidad de agilizar la operación del TIY.

Las condiciones de funcionamiento para este escenario se muestran en la tabla 3.5

Tabla 3.5 Datos para el escenario 2

Año evaluación	2016
Horario inicio simulación	23:50
Cantidad trenes por día	6
Cantidad de grúas RMG	4
Cantidad de grúas Reach-stacker	4
Número de réplicas	200
Cantidad de vías disponibles	3

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del escenario 2 se muestran en la siguiente tabla 3.6

Tabla 3.6 Tiempos obtenidos en la simulación para el escenario 2

Proceso	Promedio (min)	Mínimo (min)	Máximo (min)
Descarga tren	4.85	3.83	6.11
Carga tren	5.07	3.99	6.33
Cambio fila grúa RMG	0.19	0.16	0.24
Total tiempo transferencia	10.11	7.98	12.67
Total tiempo simulación	303.93	286.84	326.42

Fuente: Elaboración propia

Las cifras arrojadas por el escenario 2 también informan que se cumple con la restricción horaria establecida ya que el tiempo de réplica promedio al agregar una grúa RMG y una grúa Reach Stacker es de 303.93 minutos con un tiempo mínimo de 286.84 minutos y un tiempo máximo de 326.42 minutos al igual que el escenario propuesto anteriormente bajo los 360 minutos exigidos como máximo, esta propuesta al igual que el escenario 1 requiere aumentar la inversión del proyecto debido a la incorporación de dos máquinas adicionales para operar el terminal, una grúa RMG y una grúa Reach Stacker

En las figuras 3.79, 3.80 y 3.81 se muestran los resultados de la simulación de manera gráfica y las distribuciones de frecuencia y probabilísticas del escenario 2.

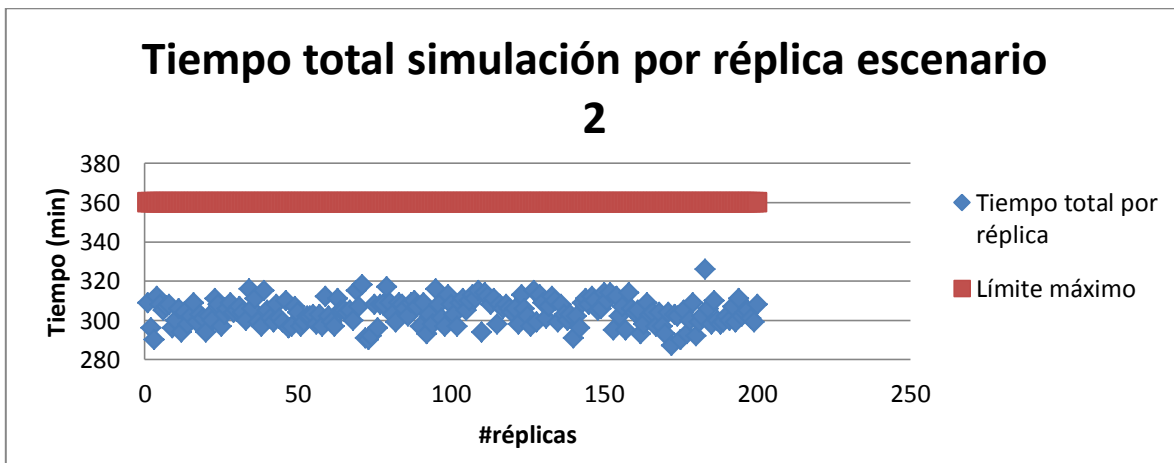


Figura 3.79 Tiempo total simulación por réplica escenario 2

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la gráfica 3.79 la totalidad de las operaciones analizadas en el escenario 2 cumplen con la restricción horaria, arrojando cifras que están más cercanas al tiempo límite, generando un menor tiempo de inactividad por parte de las maquinarias.

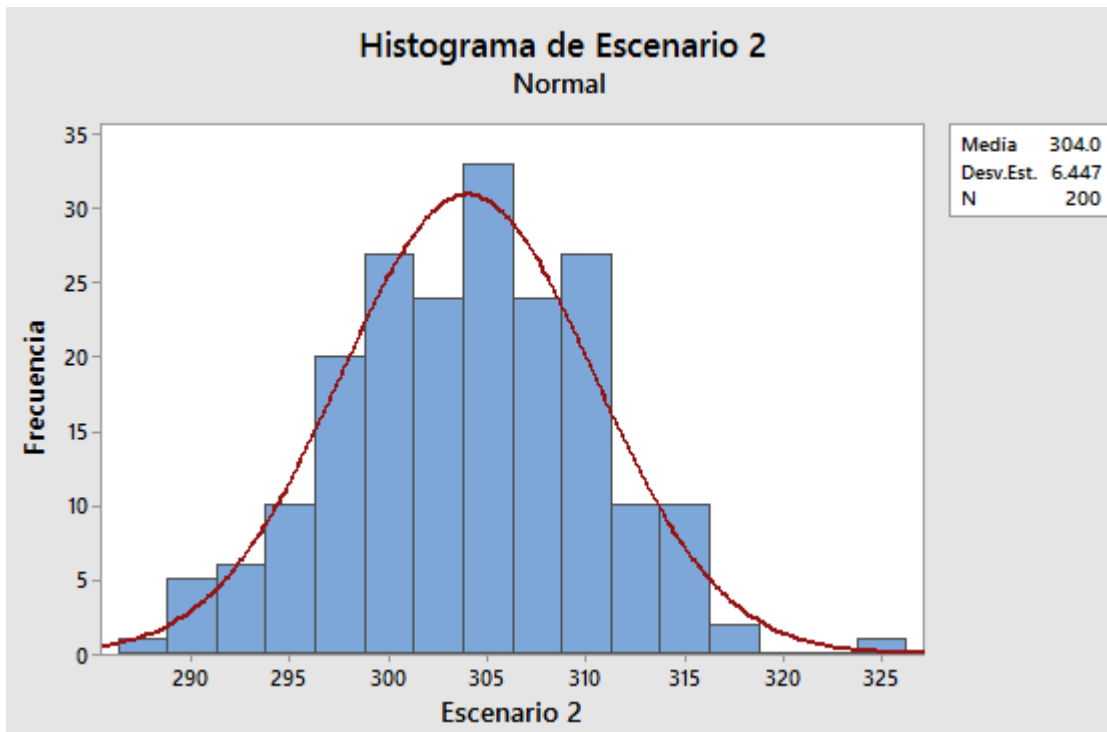


Figura 3.80 Histograma: Distribución de frecuencias escenario 2

Fuente: Minitab

La distribución de las frecuencias del escenario 2 nos muestra que los resultados de la simulación es una normal con media 304 minutos y una desviación estándar de 6.447 minutos.

Para saber la probabilidad de ocurrencia de que el proceso de transferencia sobrepase el límite de 6 horas, se utilizó la gráfica de distribución de probabilidad, que se muestra en la figura 3.81 a continuación.

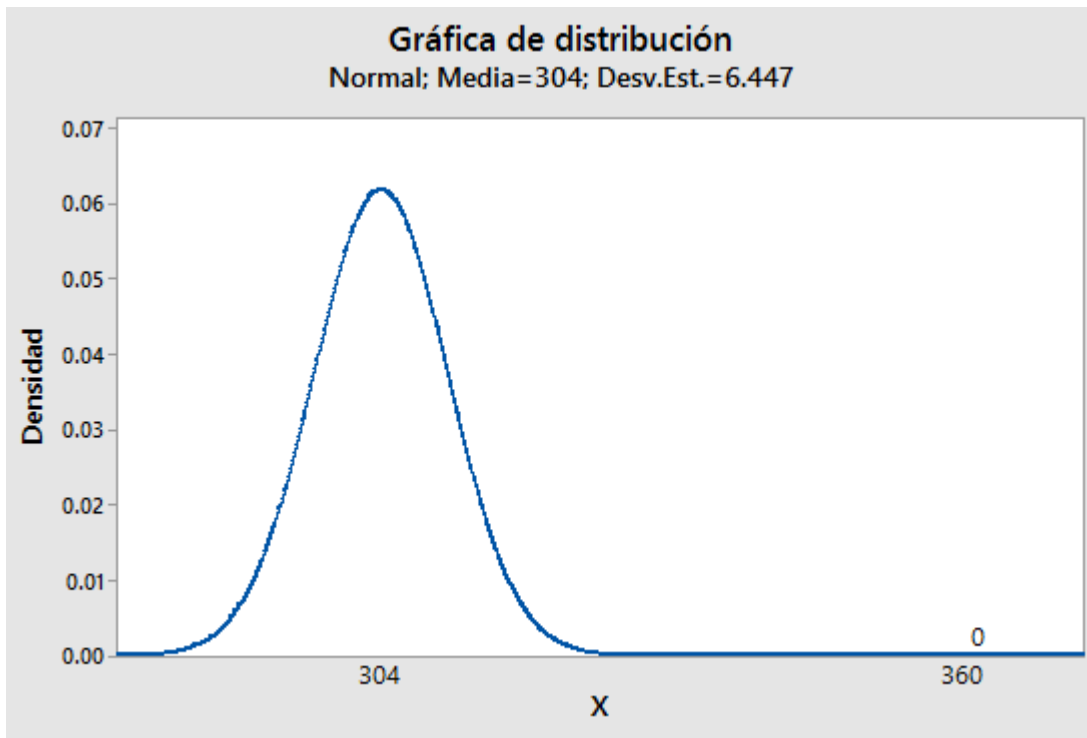


Figura 3.81 Distribución de probabilidad escenario 2

Fuente: Minitab

La distribución de probabilidad del escenario 2 que se observa en la figura 3.81 representa que el 100% de las operaciones cumplen con la restricción horaria establecida. Además en los resultados obtenidos se aprecia que el tiempo total de operación por día es mayor que en el escenario 1. Se analizará el escenario 3 para comparar la propuesta más útil para la empresa.

Escenario 3: Ingresan 5 ferrocarriles diarios al TIY

En este escenario, se mantienen la cantidad de grúas pero se modifica el ingreso de ferrocarriles, en vez de ingresar 6 trenes diarios como en la simulación principal, acá ingresan sólo 5 distribuyéndose de la siguiente manera: ingresan los primeros 3 al igual que la simulación principal pero al segundo arribo de ferrocarriles en vez de ingresar 3 sólo llegan 2 trenes. Las condiciones de funcionamiento para este escenario se muestran en la tabla 3.7

Tabla 3.7 Datos para el escenario 3

Año evaluación	2016
Horario inicio simulación	23:50
Cantidad trenes por día	5
Cantidad de grúas RMG	3
Cantidad de grúas Reach-stacker	3
Número de réplicas	200
Cantidad de vías disponibles	3

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del escenario 3 se muestran en la siguiente tabla 3.8

Tabla 3.8 Tiempos obtenidos en la simulación para el escenario 3

Proceso	Promedio (min)	Mínimo (min)	Máximo (min)
Descarga 3 trenes	4.87	3.92	6.17
Carga 3 trenes	5.05	3.90	6.21
Cambio fila grúa RMG	0.19	0.15	0.26
Tiempo transferencia 3 trenes	10.12	7.97	12.65
Descarga 2 trenes	4.04	3.21	5.36
Carga 2 trenes	4.23	3.06	5.87
Cambio fila grúa RMG	0.19	0.15	0.25
Tiempo transferencia 2 trenes	8.46	6.42	11.49
Total tiempo simulación	279.46	251	300.64

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 3.8, los procesos se dividieron en la operación de 3 trenes, que es el primer arribo, y la operación de 2 trenes, que corresponden al segundo arribo del día.

Los resultados conseguidos en el escenario 3 también cumplen con las restricciones del tiempo de trabajo establecido, el valor promedio de un total de 200 réplicas es de 279.46 minutos, cuyo tiempo mínimo de operación es de 251 minutos y el tiempo máximo que

demora una réplica es de 300.64 minutos. Esta propuesta tiene como desventaja la reducción de un ferrocarril diario, reflejando una baja en el movimiento de contenedores para el puerto.

En las figuras 3.82, 3.83 y 3.84 que se muestran a continuación, se grafica los resultados de la simulación del escenario 3, con el fin de analizar la totalidad de repeticiones de esta tercera propuesta.

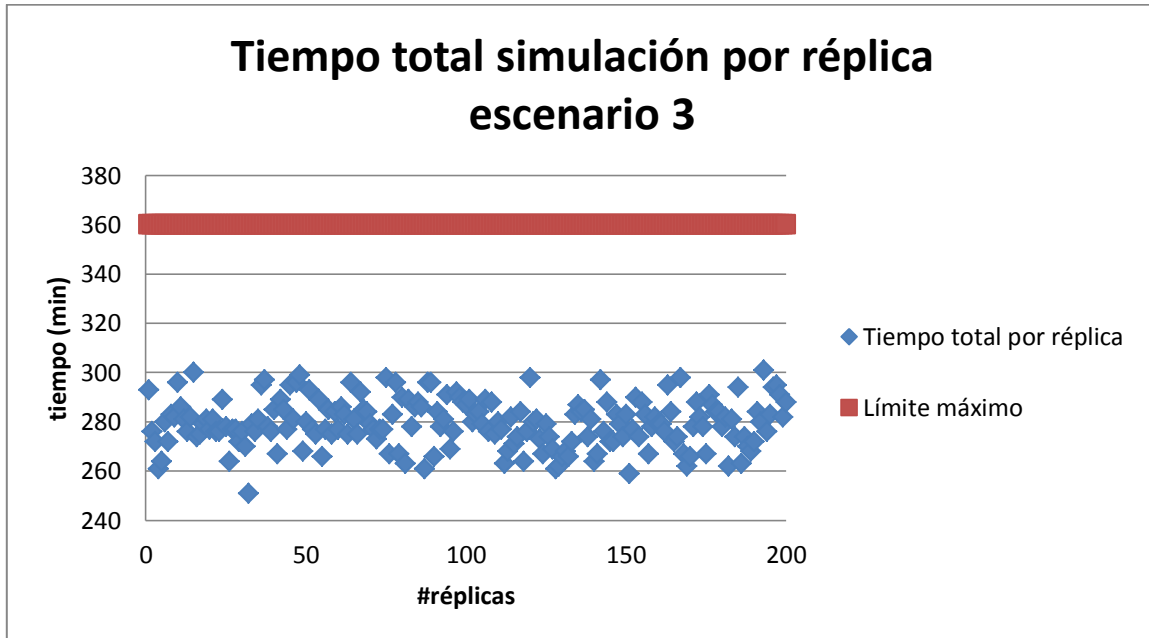


Figura 3.82 Tiempo total simulación por réplica escenario 3

Fuente: Elaboración propia

La figura 3.82, al igual que los escenarios estudiados anteriormente muestran el tiempo total por simulación del escenario 3, la totalidad de las operaciones analizadas cumple con la restricción horaria, proyectando cifras que están lejanas al tiempo límite establecido.

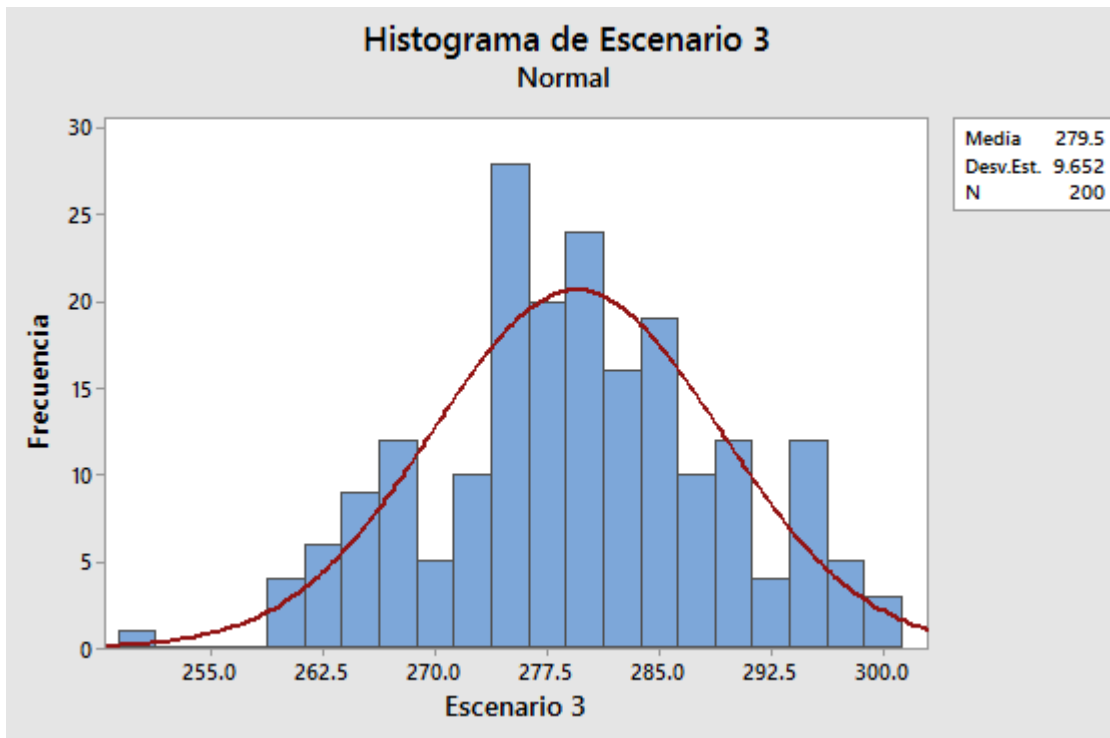


Figura 3.83 Histograma: Distribución de frecuencias escenario 3

Fuente: Minitab

La distribución de las frecuencias del escenario 3 es una normal con media 279.5 minutos y una desviación estándar de 9.652 minutos.

Para saber si la probabilidad de ocurrencia del proceso de transferencia sobrepasa el límite de 6 horas, se utilizó la gráfica de distribución de probabilidad, que se muestra en la figura 3.84 a continuación.

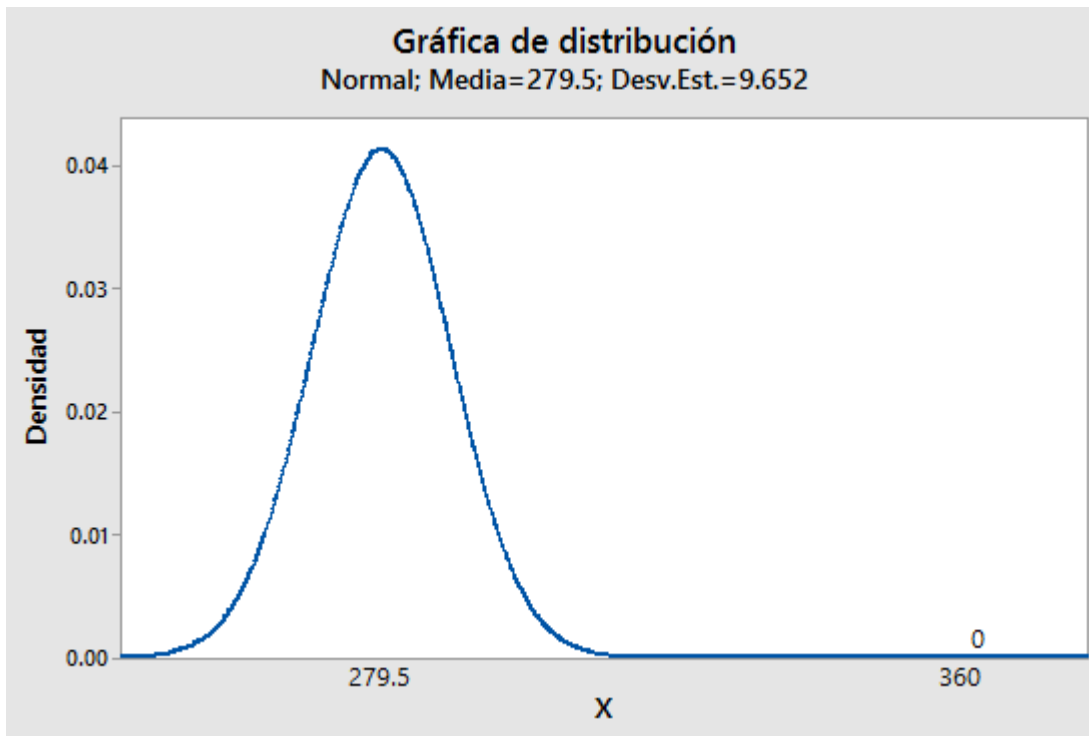


Figura 3.84 Distribución de probabilidad escenario 3

Fuente: Minitab

La distribución de probabilidad obtenida del escenario 3 se representa de la siguiente manera, el 100% de las operaciones analizadas cumplen con la condición mínima horaria establecida por EPV. Además, al transferir un ferrocarril menos diariamente no se cumple con el objetivo que busca la empresa, que es aumentar o mantener los niveles de eficiencia de ZEAL. Este proyecto permite la disminución en gran medida de los camiones que ingresan diariamente al puerto, por lo que el arribo de un tren menos aumenta la cantidad de camiones necesarios para cumplir con la demanda diaria.

3.1.5.2.2 Elección de escenario

Tabla 3.9 Resumen de los escenarios propuestos

	Diseño propuesto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Cantidad de trenes necesarios diariamente	6	9	6	5
Trenes transferidos diariamente	6	6	6	5
Requiere inversión extra	-	SI	SI	NO
Cumple restricciones horarios	NO	SI	SI	SI
Tiempo promedio operación	377.09	265.70	303.93	279.46
Tiempo máximo simulación	402.40	286.50	326.42	300.64

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 3.9 todos los escenarios propuestos cumplen con la condición horaria, pero se diferencian uno de otro en la cantidad de inversión extra que se debe agregar al proyecto para el funcionamiento de cada escenario.

A continuación se especifica cada escenario con la finalidad de explicar la elección tomada.

Para el escenario 1, al ingresar 6 ferrocarriles diarios al terminal intermodal y que sólo se retiren 3 luego de la operación de transferencia obliga a incorporar 3 trenes más a la flota, los trenes que se quedan en el terminal se retiran la noche siguiente cuando Metro Valparaíso cierra su operación, lo que significa aumentar la inversión para la empresa que opera los ferrocarriles. El costo de cada ferrocarril adicional bordea los 5 millones de dólares [INECON 14]. Este escenario cumple con lo que pretende PV que es descongestionar ZEAL y la ruta La Pólvara.

Para el escenario 2, agregar una grúa RMG y una grúa Reach Stacker a la operación del TIY hace efectivo el funcionamiento del terminal. Cada grúa RMG se encarga de transferir 8 filas de contenedores de manera simultánea lo que agiliza el proceso de transferencia y permite que se cumpla con las restricciones horarias establecidas. Al llevar a cabo este escenario se debe aumentar la inversión del proyecto en 1.5 millones de dólares por la compra de las grúas mencionadas por parte de PV [INECON 14].

Para el escenario 3, ingresan 5 ferrocarriles diarios al TIY, primero ingresan 3 ferrocarriles al terminal, una vez realizada la operación de transferencia éstos salen con carga de importación, luego ingresan solamente 2 ferrocarriles, los cuales son descargados y cargados en el terminal intermodal y luego salen rumbo a la RM. Este escenario no requiere de ninguna inversión adicional pero tiene como desventaja la disminución en la cantidad de contenedores a transferir diariamente, ya sean de importación o exportación situación perjudicial que no ayuda al plan de EPV.

En términos de operación, los tres escenarios propuestos cumplen con el funcionamiento del terminal, cada uno obtuvo una distribución distinta. La figura 3.85 muestra las distribuciones de frecuencias de las tres propuestas.

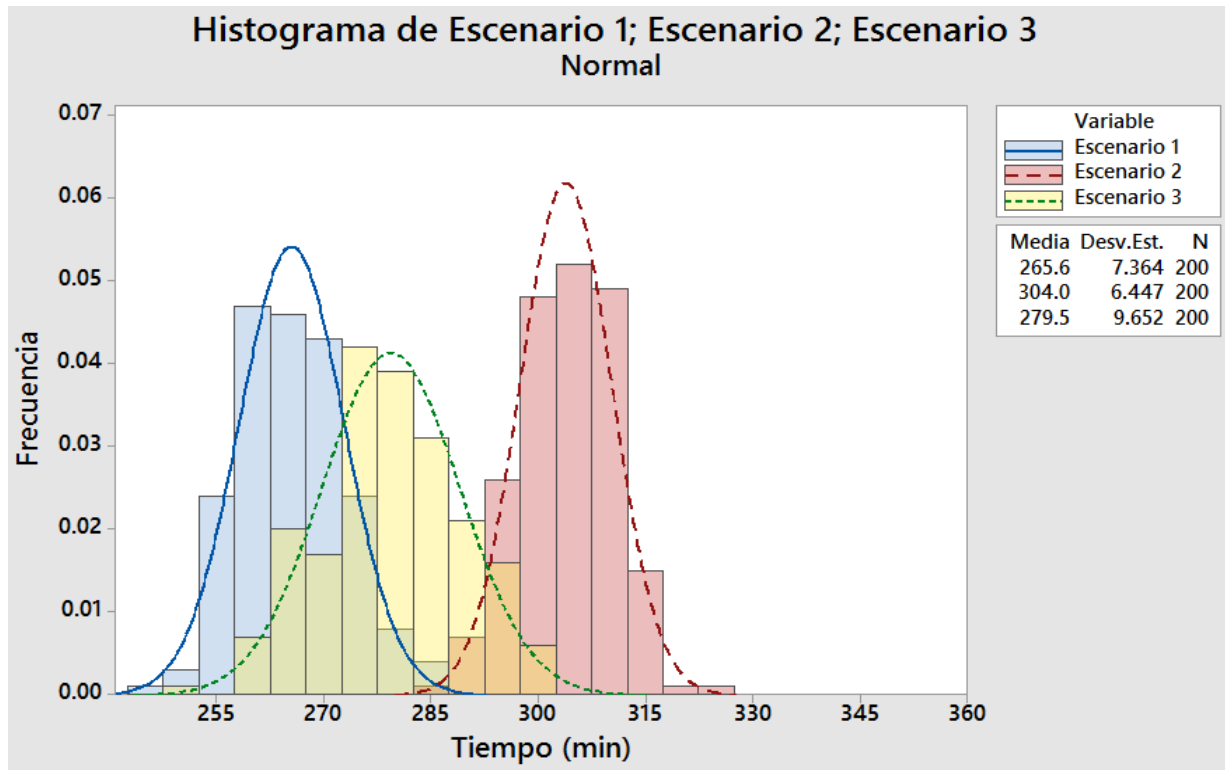


Figura 3.85 Histograma: Comparación de las distribuciones escenarios propuestos

Fuente: Minitab

En base a estas comparaciones y sin manejar la información certera si la empresa y entidades a cargo del proyecto poseen recursos adicionales a los otorgados para invertir en más maquinarias, el escenario que se considera más conveniente para la empresa es el escenario 2, debido a que el escenario 1, al tener retenidos los ferrocarriles en el terminal durante todo el día, se genera un costo de oportunidad para la empresa que opera dichas máquinas, y el escenario 3 no cumple con los objetivos por los cuales se realiza este estudio de funcionamiento de un terminal intermodal, que es mantener los niveles de operación en ZEAL a mediano plazo. El escenario 2 se debe realizar una inversión por la compra de las grúas respectivas, pero cumple con todo lo propuesto por la Empresa Portuaria Valparaíso, sin generar costos de oportunidad a empresas externas.

Conclusión

Este segundo estudio realizado mediante un modelo de simulación con el fin de validar el diseño conceptual del terminal intermodal Yolanda presentado por la Empresa Portuaria Valparaíso arrojó como resultado que no es factible la operación del mismo con las restricciones, infraestructura y dotación presentada en la propuesta inicial, debido a que en gran parte de los casos se excede el límite máximo de tiempo permitido para la operación de transferencia de carga entre el terminal y los ferrocarriles, esto por la restricción horaria de tránsito de trenes de carga que existe en el trayecto Limache-Puerto.

En la simulación del diseño conceptual, que consiste en la operación de 6 trenes por día, trabajando de manera simultánea 3 ferrocarriles y 3 grúas RMG en la operación de transferencia, se obtuvo que el tiempo máximo de operación fue de 402.4 minutos, lo que implica que en esta única repetición se sobrepasa en 42 minutos el máximo permitido. Además el 96% de las réplicas sobrepasa las 6 horas de simulación, teniendo un promedio total de simulación de 377 minutos, lo que implica que no es factible realizar el proyecto con la dotación original.

Realizando modificaciones en la operación del terminal, principalmente en la cantidad de grúas y en la cantidad de trenes a utilizar es que se obtuvo 3 escenarios que cumplen con el funcionamiento y las restricciones del proyecto.

De los experimentos realizados, el escenario 3 es el único que no requiere de una inversión extra en el proyecto y cumple con la restricción horaria. Este escenario disminuye a cinco la cantidad de trenes que arriban al terminal diariamente, el tiempo máximo de operación en la simulación fue de 327 minutos, por debajo de los 360 que corresponde al límite máximo.

El hecho de que ingresen sólo 5 trenes genera una disminución en los ingresos para EPV y la empresa encargada de la operación del terminal y dificulta el cumplimiento del objetivo principal de este proyecto, que es mediante una alternativa externa, mantener los niveles de operación en la fiscalización e inspección de la carga en ZEAL en el mediano plazo.

Los escenarios 1 y 2 cumplen con todos los requerimientos del sistema pero se necesita realizar una inversión no considerada en el proyecto original, ya que involucra un aumento en la dotación de transporte de carga.

El escenario 1 requiere adicionar 3 ferrocarriles para lograr su funcionamiento, ya que como se mencionó anteriormente necesita un total de 9 trenes operativos. Al simular este escenario en Arena Rockwell se obtiene un tiempo de simulación máximo de 286.5 minutos.

El escenario 2 también necesita incorporar maquinaria adicional para su operación, en este caso se solicita adquirir una grúa RMG y una grúa Reach Stacker. El tiempo máximo de la simulación obtenido en este escenario es de 326.42 minutos.

Este trabajo de título se centró exclusivamente en la operación de transferencia del terminal por ende todos los escenarios propuestos cumplen con el límite de horario establecido.

En términos de operación proponemos el escenario 2 que cumple con todos los requisitos para un buen funcionamiento del terminal intermodal y abarca el total de la demanda que es lo que se espera, además la inversión que necesita este escenario la puede llevar a cabo la EPV sin depender de empresas externas como en el caso del escenario 1 que requieren el aporte de EFE.

Este proyecto nace como una alternativa a mediano plazo de satisfacer el aumento de demanda que se espera para los próximos años sin colapsar ZEAL ni la ruta La Pólvara. Realizando la operación de transferencia para 6 trenes diarios se satisface cerca del 14% del total de carga contenedorizada que ingresa a Puerto Valparaíso. El escaso espacio que existe en el sector Yolanda no permite en un futuro aumentar la capacidad de transferencia del terminal, por lo que se requiere de otros proyectos a largo plazo para contrarrestar el aumento de demanda manteniendo los niveles de servicio de ZEAL.

Puerto Valparaíso tiene contemplado el proyecto Puerto a gran escala, que consiste en expandir la zona de acopio del puerto hacia el mar y construir frentes de atraque para el arribo de naves post-panamax. Este gran proyecto se ubica en el sector de Yolanda, y contempla la

operación de trenes de carga de manera permanente, por lo que el terminal intermodal va en la misma dirección que los objetivos a largo plazo de Puerto Valparaíso.

El modelo realizado en el software Arena puede ser utilizado para establecer más escenarios modificando la dotación de trenes, grúas RMG y grúas Reach stacker, por lo cual se cumple con el objetivo de diseñar una herramienta que ayude en la toma de decisiones con respecto al funcionamiento del terminal intermodal, principalmente en la operación de transferencia y porteo interno.

Bibliografía

[INECON14] Desarrollo del Modo Ferroviario de Carga en Puerto Valparaíso. INECON S.A. Chile, 2014

[INECON11] Análisis de la competitividad entre el transporte camionero y ferroviario respecto del Acceso a Puertos. INECON S.A. Chile, 2011 (Disponible vía web en <http://www.subtrans.gob.cl/subtrans/doc/Informe%20Final%20Acceso%20a%20Puertos%20VF.pdf> visitada en Marzo de 2016)

[MAPV15] Memoria Anual Puerto Valparaíso. Valparaíso, Chile. 2015 (disponible vía web en <http://www.puertovalparaiso.cl>)

[SARGENT03] Sargent, Robert. Verification and Validation of Simulation Models, Proceedings of the 2003 winter simulation conference, Department of electrical engineering and computer science, Syracuse University. 2003

[WINSTON94] Winston Waine. Simulación De análisis de modelos estocásticos. México: Editorial Mc. Graw Hill, 1994.

Anexo 1

Tiempos movimiento de portacontenedor y grúa pórtico.

Tssc (seg)	Ttsc (seg)	Tbsc (seg)	Te (seg)	Tscc(seg)	Ttcc (seg)	Tbcc(seg)	Td (seg)	Tmg(seg)
0	6.09	2.06	8.85	7.57	5.47	7.98	21.16	21.57
13.57	8.18	1.40	7.37	2.91	5.27	14.95	15	22.96
0	0	0	0	9.02	16.08	10.22	46.4	12.49
10.84	9.47	1.57	10.57	3.57	11.21	16	19.64	11.98
9.45	11.71	2.12	10.97	9.86	15.47	11.37	21.87	22.78
0	14.59	1.43	13.18	2.96	11.48	21.62	46.01	14.53
0	0	1.69	9.38	3.92	11.18	19.33	46.79	9.98
0	0	0	9.86	6.6	6.1	18.23	12.61	21.81
5.2	7.75	2.31	6.96	6.63	3.99	12.73	15.3	13.8
10.14	12.45	2.15	7.46	6.12	6.43	7.39	19.3	24.17
17.97	9.25	1.18	6.73	6.16	5.82	14.69	18.17	11.46
0	0	0	23.99	3.21	6.88	22.08	27.1	10.35
0	0	0	8.53	7.33	13.9	17.24	38.83	23.94
5.34	10.07	1.96	19.03	9.64	13.41	19.15	33.99	25.03
0	0	0	25.11	9.12	7.01	10.52	28.51	27.37
0	0	0	18.75	7.79	4.29	9.02	21.29	12.81
0	0	0	6.31	4.94	9.3	9.06	35.36	17.3
6.75	9.03	1.59	15.93	7.09	11.42	18.63	29.44	19.01
5.2	9.77	1.76	19.99	5.14	10.58	6.39	19.45	15.39
0	0	0	7.98	4.19	10.33	14.29	36.92	25.43
0	0	0	9.91	6.19	9.32	17.48	19.83	15.79
0	0	0	15.18	6.79	12.15	19.43	29.14	8.41
0	0	0	9.08	8.44	14.1	21.36	21.09	17.85
0	0	0	12.02	5.11	9.65	14.28	19.33	20.79
0	0	0	8.33	6.32	11.92	6.43	39.05	19.34
5.28	10.24	1.39	6.63	6.11	9.32	17.15	22.37	28.82
0	0	0	8.96	4.57	11.86	20.28	18.14	29.08
0	0	0	4.66	3.07	13.3	16.76	32.96	7.94
6.71	12.53	1.72	7.93	5.41	9.27	12.07	16.9	33.8
7.88	6.62	1.79	6.62	4.59	13.19	21.15	28.6	27.64
0	0	0	4.88	4.62	13.78	15.71	65.73	30.16
0	0	0	10.08	6.03	4.39	15.69	25.35	16.71
0	0	0	16.13	6.14	7.56	19.59	36.3	33.62

0	0	0	6.01	6.24	10.58	12.23	28.86	32.18
10.4	6.36	2.72	16.31	9.24	14.03	19.42	19.68	47.21
0	0	0	11.27	4.38	10.48	16.09	28.72	20.93
5.58	9.46	2.12	10.09	6.13	11.96	6.23	51.13	14.26
6.68	14.02	3.10	12.3	6.2	12.41	15.49	27.66	18.79
0	0	0.00	13.73	4.38	10.62	10.48	46.33	21.57
0	0	0.00	9.13	3.82	5.17	6.15	19.31	22.96
6.06	5.36	1.17	14	11.68	11.61	11.13	19.77	12.49
0	0	0.00	9.73	4.07	3.58	3.64	16.49	11.98
0	0	0.00	12.74	6.11	4.71	9.13	18.43	22.78
5.48	7.17	2.05	9.61	6.43	8.58	17.41	29.68	14.53
0	0	0.00	16.91	6.84	11.32	14.26	23.14	9.98
0	0	0.00	13.24	4.46	12.85	6.92	18.32	21.81
4.93	5.34	2.31	9.49	7.88	15.11	7.95	27.42	13.8
5.42	7.38	1.45	15.91	6.49	12.13	21.49	45.17	24.17
0	0	0.00	9.51	6.07	12.19	8.48	21.73	11.46
0	0	0.00	17.13	5.41	8.12	7.19	19.39	10.35
5.63	6.47	1.38	10.34	4.96	9.12	18.39	31.45	23.94
0	0	0.00	7.64	8.15	7.11	4.79	21.39	25.03
0	0	0.00	18.32	8.12	9.35	15.49	45.16	27.37
3.48	7.34	1.46	11.24	7.46	8.4	12.31	51.41	12.81
3.95	6.31	1.80	10.21	8.41	17.04	6.41	56.36	17.3
0	0	0.00	6.45	8.39	5.41	12.91	29.49	19.01
0	0	0.00	6.59	4.19	4.71	11.31	23.46	15.39
0	0	0.00	9.18	7.34	10.21	9.47	37.18	25.43
4.51	5.16	1.98	15.01	7.57	11.48	13.16	51.95	15.79
0	0	0.00	9.91	8.96	7.9	13.34	19.47	8.41
0	0	0.00	9.01	12.19	12.24	7.93	29.49	17.85
8.41	6.47	1.78	11.96	5.75	8.62	11.87	39.47	20.79
0	0	0.00	10.89	5.19	2.81	4.46	13.44	19.34
3.87	9.35	2.61	17.46	4.89	9.51	5.59	47.37	28.82
8.48	10.41	2.74	16.36	6.41	11.96	17.34	29.44	29.08
21.72	9.91	2.83	41.16	6.3	6.94	21.08	19.1	7.94
0	0	0.00	19.29	13.64	11.93	21.41	37.17	33.8
13.52	10.75	2.30	13.81	15.83	6.68	12.07	31.49	27.64
0	0	0.00	16.27	9.48	8.17	15.63	51.96	30.16
9.78	9.56	1.45	14.74	7.15	15.51	19.14	34.29	16.71
0	0	0.00	12.86	7.56	13.75	23.43	27.08	33.62
13.42	10.99	1.44	14.2	10.94	9.48	22.41	46.03	32.18

10.41	4.72	2.29	27.15	9.34	15.48	10.93	34.18	47.21
0	0	0.00	14.49	6.99	14.47	16.38	26.41	20.93
0	0	0.00	7.23	7.3	11.5	12.2	23.74	14.26
8.62	6.72	2.04	7.67	6.47	11.41	13.7	19.71	18.79
6.67	5.71	2.27	13.96	14.6	9.39	19.48	27.47	21.57
8.45	7.68	2.47	14.87	13.41	17.27	24.31	68.28	22.96
6.17	14.01	1.46	11.27	7.29	9.46	21.09	29.59	12.49
0	0	0.00	24.51	17.06	11.22	26.49	36.57	11.98
0	0	0.00	19.39	16.07	12.37	25.41	59.39	22.78
7.82	5.34	1.56	11.37	21.47	15.11	29.41	45.31	14.53
6.41	6.19	1.86	25.38	15.01	17.58	17.12	41.39	17.32
4.11	9.29	1.30	7.87	5.21	11.57	19.32	28.58	19.44
0	0	0.00	10.92	5.19	13.48	18.91	31.42	21.42
3.89	7.21	1.43	15.22	10.01	6.71	15.47	14.47	
0	0	0.00	17.21	6.17	17.19	9.41	28.99	
0	0	0.00	8.98	10.11	9.98	20.03	19.63	
7.64	6.49	3.36	21.5	9.63	11.71	15.11	41.21	
0	0	0.00	12.7	6.15	8.28	31.47	59.13	
0	0	0.00	13.29	7.28	9.15	17.53	19.72	
0	0	0.00	17.41	10.21	9.31	18.48	13.99	
0	0	0.00	13.98	9.15	8.21	19.28	45.05	
4.12	5.38	3.00	12.03	11.19	9.41	8.98	36.21	
0	0	0.00	16.27	6.16	16.46	18.33	25.71	
0	0	0.00	9.36	8.45	12.21	15.23	49.69	
0	0	0.00	9.21	6.45	8.15	17.67	66.18	
0	0	0.00	8.93	7.51	9.21	16.41	28.01	
4.11	9.11	1.28	16.96	10.12	8.31	9.62	29.45	
0	0	0.00	14.92	12.19	18.31	6.41	17.67	
0	0	0.00	21.41	7.89	15.11	6.36	19.29	
0	0	0.00	17.27	8.69	8.41	12.67	45.12	
0	0	0.00	31.48	6.7	8.95	15.27	59.49	
0	0	0.00	22.36	4.87	7.21	14.91	54.66	
7.49	12.37	2.07	11.93	6.92	10.68	8.21	44.05	
0	0	0.00	12.9	3.87	9.19	7.07	26.09	
4.91	8.29	3.15	16.85	4.83	10.24	14.47	19.66	
3.78	9.39	2.71	24.56	21.9	12.33	5.92	54.81	
9.34	7.18	1.64	12.47	8.35	7.64	14.21	39.16	
6.37	12.44	2.80	17.47	6.11	7.69	12.91	19.31	
10.94	8.68	2.49	18.55	4.27	8.31	12.49	31.42	

0	0	0.00	15.21	5.24	6.37	17.29	18.49	
6.02	11.38	2.31	17.83	8.16	9.06	21.36	47.18	
0	0	0.00	31.41	11.93	9.03	18.47	66.26	
14.11	8.41	1.59	12.46	6.99	13.29	17.37	16.26	
0	0	0.00	18.1	15.88	12.47	17.91	47.29	
0	0	0.00	14.97	12.29	17.89	10.48	24.36	
0	0	0.00	9.4	6.37	8.49	12.81	34.67	
0	0	0.00	18.58	6.12	7.96	9.67	29.41	
0	0	0.00	21.96	6.61	14.36	14.61	41.32	
0	0	0.00	27.37	4.49	8.27	12.06	17.42	
0	0	0.00	9.41	12.01	16.15	17.67	38.88	
0	0	0.00	14.92	6.21	16.18	21.72	56.18	
4.14	10.21	2.42	12.98	8.49	13.63	41.27	61.31	
0	0	0.00	19.43	7.27	9.49	11.36	31.48	
3.92	8.17	1.79	29.4	5.56	14.01	31.41	17.28	
0	0	0.00	24.36	8.48	8.63	18.98	69.91	
0	0	0.00	12.03	7.98	9.76	8.41	41.61	
0	0	0.00	17.21	7.07	6.47	14.81	36.87	
6.9	9.64	2.83	18.01	5.96	15.54	13.43	26.15	
0	0	0.00	18.15	6.16	15.2	21.35	60.19	
0	0	0.00	9.57	6.46	10.94	11.28	48.68	
4.09	5.53	3.16	10.45	6.33	5.98	9.01	31.79	
7.15	6.81	1.97	8.58	7.93	14.02	16.35	45.94	
3.93	8.43	2.07	21.31	7.12	11.24	15.16	37.69	
0	0	0.00	24.47	4.41	7.9	18.1	68.17	
0	0	0.00	9.33	5.94	14.22	19.41	24.72	
7.39	4.22	1.92	12.66	10.13	9.57	15.78	27.01	
7.68	3.56	2.11	11.85	10.89	10.47	21.03	37.4	
3.69	5.4	1.56	15.28	9.36	9.72	18.62	22.44	
9.64	6.08	2.83	14.1	4.38	11.31	15.81	19.15	
0	0	0.00	15.09	4.56	11.74	17.72	21.72	
0	0	0.00	13.88	4.81	8.32	9.78	36.23	
6.86	5.29	2.99	12.4	7.6	11.06	15.22	41.99	
4.7	4.53	1.99	12.31	7.79	12.42	18.35	41.29	
0	0	0.00	12.05	8.04	9.38	15.98	23.87	
8.1	10.79	2.08	17.09	7.61	11.31	13.52	21.11	
10.39	14.5	3.01	17.37	13.89	9.8	15.83	14.59	
6.79	4.89	2.50	19.23	10.18	16.01	19.19	39.3	
0	0	0.00	13.28	6.7	8.81	9.18	19.81	

0	0	0.00	13.65	6.62	8.55	22.29	71.42	
8.85	6.18	2.08	9.53	8.28	11.08	14.26	25.84	
11.05	8.53	3.12	10.99	8.14	13.69	17.19	49.39	
5.61	6.56	2.32	11.83	6.27	7.96	18.41	19.03	
5.77	4.39	2.62	12.99	8.38	8.49	27.63	51.41	
0	0	0.00	13.53	9.14	6.63	15.09	31.15	
7.07	9.23	2.57	12.82	7.91	10.44	23.17	42.98	
8.69	9.34	2.72	13.35	15.64	9.67	16.28	27.07	
8.62	7.27	1.23	16.71	12.12	10.34	13.1	57.01	
0	0	0.00	22.37	17.31	15.45	19.69	23.47	
0	0	0.00	13.49	10.12	18.11	21.45	54.36	
0	0	0.00	17.27	5.18	8.05	15.32	26.96	
4.8	5.13	1.74	14.32	5.96	9.04	25.77	46.53	
6.41	4.76	1.82	19.43	7.99	19.42	19.88	27.18	
5.84	9.81	1.44	15.81	6.37	16.31	20.2	25.19	
7.89	6.93	2.15	17.52	11.53	14.26	15.17	37.28	
0	0	0.00	21.1	12.97	20.33	12.12	56.16	
8.49	7.16	1.44	25.65	8.28	12.47	12.23	39.47	
8.43	9.76	2.66	13.6	10.3	13.27	12.96	19.45	
9.2	7.26	1.25	20.79	6.97	7.88	17.34	18.95	
8.03	4.45	3.26	9.64	9.82	7.35	15.38	33.27	
4.12	5.17	2.73	13.9	6.72	16.86	11.71	43.18	
6.43	8.67	2.70	9.35	6.85	18.54	10.32	32.67	
0	0	0.00	11.93	8.7	9.55	8.79	25.93	
0	0	0.00	15.77	7.77	14.88	24.3	24.35	
0	0	0.00	11.24	5.42	15.96	15.82	28.02	
4.63	13.57	3.13	10.31	8.41	14.02	9.56	29.69	
5.62	13.76	1.75	11.29	6.92	7.18	38.06	18.31	
4.85	13.58	1.23	16.2	15.27	16.46	12.2	50.38	
6.46	13.33	2.09	15.82	8.4	8.19	9.09	28.44	
12.07	6.37	3.14	19.39	12.84	22.15	24.84	27.56	
8.1	9.03	2.78	9.42	9.19	15.28	5.73	49.82	
13.9	5.02	2.44	15.27	4.97	5.36	11.83	68.21	
10.43	5.18	2.13	14.48	10.26	7.41	18.92	47.37	
0	0	0.00	24.31	5.89	7.68	12.21	19.21	
0	0	0.00	27.17	6.99	8.41	5.42	45.21	
4.34	5.43	1.96	11.04	5.4	7.71	16.71	27.93	
7.01	7.89	2.22	18.31	10.83	6.73	11.95	18.37	
7.07	10.92	2.57	10.46	10.31	8.28	11.89	40.07	

0	0	0.00	8.45	7.55	6.47	12.32	21.86	
0	0	0.00	22.13	6.44	9.6	11.04	53.22	
5.78	7	2.95	17.85	5.51	13.2	15.8	12.86	
4.82	6.57	1.64	9.07	6.18	16.09	7.76	14.25	
5.56	5.9	1.93	11.69	6.09	6.69	12.02	19.68	
11.85	6.41	1.66	17.27	10.5	8.67	8.57	25.35	
5.88	7.57	1.76	14.07	8.11	14.74	13.43	34.46	
0	0	0.00	12.15	6.31	10.27	11.07	38.13	
0	0	0.00	21.35	9.65	9.35	16.7	42.73	
5.88	4.22	1.97	29.65	5.28	8.34	26.14	48.95	
5.51	4.89	1.97	25.32	8.44	8.04	19.95	19.05	
5.05	6.02	1.49	8.91	5.06	9.68	9.36	53.92	
5.73	4.36	1.76	11.09	4.98	7.26	20.22	56.29	
4.31	6.53	2.83	14.91	11.3	10.82	30.73	31.38	
0	0	0.00	23.17	7.77	9.79	15.08	65.81	
0	0	0.00	14.85	8.08	7.41	10.88	41.02	
5.47	6.86	2.18	12.89	5.89	10.58	11.52	52.29	
9.67	6.49	1.77	26.94	9.88	5.43	10.94	22.32	
12.2	6.47	2.64	12.39	11	8.33	21.8	66.12	
13.45	5.79	1.60	19.24	9.77	6.49	13	26.24	
6.41	6.51	2.04	11.78	9.29	9.45	17.67	43.79	
0	0	0.00	8.23	7.54	15.82	18.9	32.01	
8.97	8.41	2.12	16.31	7.31	12.32	10.28	14.34	
5.08	4.42	1.65	12.41	10.26	6.47	2.04	4.44	
5.53	2.75	2.12	12.52	17.41	18.13	3.09	8.6	
2.19	4.39	2.32	11.46	24.57	5.51	7.74	7.85	
4.12	19.98	1.06	5.14	20.71	39.6	17.58	38.99	
4.22	6.9	2.61	24.18	24.01	15.78	14.17	48.25	
8.24	5.87	1.61	15.06	7.47	11.53	15.86	25.17	
7.64	12.42	2.68	12.25	25.66	22.54	12.99	39.6	
7.91	8.85	1.81	19.62	12.34	10.61	12.08	19.89	
12.13	11.39	3.21	10.34	24.15	18.16	14.18	55.7	
6.53	4.31	2.75	20.35	5.81	14.92	13.25	48.76	
10.96	9.19	3.09	18.53	13.63	13.29	14.88	35.87	
8.64	7.39	1.65	14.21	23.76	12.41	20.91	41.13	
8.41	13.65	1.46	20.55	9.62	11.97	16.21	24.55	
8.62	11.23	2.93	10.13	2.95	5.55	11.77	40.43	
6.29	4.95	3.23	35.88	7.45	9.4	9.98	16.01	
15.04	4.31	1.78	9.02	2.78	6.55	22.64	30.85	

13.31	4.46	2.34	14.87	3.96	6.41	17.42	9.4	
13.7	4.44	1.28	6.04	4.4	11.31	11.21	57.21	
10.33	4.28	1.21	10.54	4.16	8.38	9.75	26.46	
6.65	4.61	1.35	11.76	4.29	15.16	8.3	39.63	
9.27	8.27	1.06	16.15	8.91	14.14	12.26	47.25	
8.79	11.39	2.14	16.07	7.67	20.17	13.39	30.34	
15.35	12.28	1.36	20.86	9	18.72	14.79	23.27	
20.53	11.95	1.77	15.6	4.23	12.07	18.72	26.28	
14.66	17.18	3.17	11.35	5.47	8.71	11.45	19.71	
8.03	8.18	1.66	6.2	4.18	6.66	15.71	44.81	

Anexo 2

Tiempo de grúa reach stacker

Tenganche (seg)	Ttcc (seg)	Tdesenganche (seg)	Ttsc (seg)	Ttexpo (seg)
43.05	205.32	66.63	186.57	394.32
66.36	197.58	48.33	202.17	521.58
81.48	176.22	58.17	162.99	408.22
74.43	214.77	26.22	171.36	547.77
38.82	234.09	58.02	159.81	588.59
49.41	193.86	55.14	190.62	582.36
64.62	208.98	18.69	169.08	631.48
90.36	164.43	46.47	178.47	398.43
64.35	177.48	31.44	160.38	609.48
57.93	237.93	18.45	171.54	558.93
75.84	184.26	33.39	155.85	418.26
56.28	205.47	40.92	208.41	572.47
67.77	171.54	27.39	148.47	416.54
68.43	198.78	52.23	148.41	464.78
69.06	228.78	42.78	160.32	540.78
69.72	141.87	20.76	142.11	462.87
70.38	193.08	23.85	178.32	480.08
71.01	224.01	64.47	207.3	523.01
71.94	208.23	25.44	171.51	484.23
73.53	183.96	21.57	154.47	450.96
74.67	232.26	55.17	155.88	471.26
42.99	206.64	14.37	132.87	604.64

57.96	168.54	46.47	171.24	555.54
55.29	183.93	36.93	138.09	527.93
76.47	124.44	19.23	132.54	274.44
46.68	141.84	38.73	169.23	308.84
34.11	209.73	33.93	191.22	397.73
64.86	214.83	28.41	209.13	421.13
57.99	230.61	39.48	202.41	455.91
54.69	168.45	40.02	144.84	412.75
38.19	180.57	23.79	178.77	443.87
52.17	206.04	35.61	169.71	488.34
44.07	185.37	43.38	178.17	486.67
66.24	167.82	28.77	135.93	488.12
51.72	203.07	52.02	124.17	542.37
57.45	204.51	63.24	145.74	562.81
31.56	224.16	64.23	184.26	601.46
27.06	171.03	36.21	163.41	364.03
87.18	148.95	46.89	236.97	385.95
55.89	153.48	57.42	178.89	446.48
49.17	162.45	70.29	123.63	446.45
42.87	229.2	67.23	177.39	502.2
52.44	238.92	32.79	209.16	451.92
58.29	185.61	49.14	131.97	383.61
64.08	198.03	38.46	135.15	376.03
42.84	200.37	41.61	207.39	388.37
19.29	217.83	58.44	226.62	382.83
51.45	255.9	72.93	191.85	546.9
60.84	177.9	63.27	177.39	462.4
50.28	174.51	79.47	144.39	490.61
36.21	231.3	76.23	174.39	579
63.45	266.49	88.23	154.08	645.79
47.13	251.97	51.36	146.31	662.87
47.07	145.53	57.96	176.31	588.03
58.77	183.87	56.73	161.85	461.87
36.69	136.08	46.41	203.31	453.08
58.26	208.32	28.23	196.62	421.32
48.27	178.35	60.09	184.08	550.45
37.41	260.76	28.59	206.31	600.36
52.41	209.49	32.97	214.08	566.92
55.65	237.42	35.49	203.31	612.68

45.63	153.27	38.97	198.54	546.36
53.49	177.99	40.59	158.85	361.22
94.23	177.15	38.46	181.08	362.47
37.38	187.11	40.05	177.39	359.56
54.39	174.42	50.13	166.62	374.42
44.91	188.88	67.11	158.85	509.88
29.82	230.7	40.47	233.31	353.7
55.74	175.8	51.81	218.85	340.8
65.88	197.19	42.96	206.31	380.19
82.11	196.05	58.29	128.85	430.05
28.23	198.9	47.43	143.31	527.9
44.76	146.58	52.56	163.08	384.58
38.94	239.04	63.57	195.54	584.04
58.29	206.16	76.95	139.62	441.16
87.12	153.39	40.68	165.54	564.39
73.08	202.98	62.37	173.31	425.98
36.09	228.99	28.92	196.08	506.99
51.63	177.93	40.77	181.08	411.93
54.03	209.31	28.05	170.94	575.31
54.45	229.47	35.79	137.58	550.47
28.71	205.29	47.31	130.71	416.29
31.35	149.04	33.72	162.96	292.04
25.74	219.42	30.93	196.02	500.42
63.93	174.96	41.64	177.36	445.96
73.41	202.26	37.38	143.07	467.26
27.99	135.51	36.93	153.93	500.51
37.98	185.19	36.15	194.43	506.19
35.55	298.17	51.27	164.01	495.17
45.84	124.35	52.11	208.23	269.35
42.33	214.17	57.69	123.96	380.17
45.27	135.48	39.84	202.26	300.48
64.77	154.23	40.95	168.57	418.23

Anexo 3

Distancia de desplazamiento de cada contenedor en el terminal intermodal.

		Dbsc (mts)	Dscc (mts)	Dtcc (mts)	Dbcc (mts)	Dssc (mts)	Dtsc (mts)
DESCARGA	Contenedor 1	4.95	3.59	11.5	4.82	2.23	8
	Contenedor 2	1	3.59	8	2.23	1	4.5
	Contenedor 3	2.36	4.95	4.5	1	1	17
CARGA							
	Contenedor 1	1	1	15	4.95	2.36	15
	Contenedor 2	1	1	11.5	2.36	1	11.5
	Contenedor 3	2.23	2.23	8	1	4.95	----
Distancia descarga total (mts)				Distancia carga total (mts)			
86.22				86.08			

Anexo 4

Tiempos réplicas para cada escenario en minutos.

Tiempos Principal	Tiempos Escenario1	Tiempos Escenario2	Tiempos Escenario 3
383	273	309	293
389	267	296	276
376	272	290	272
353	257	312	261
365	259	308	264
375	261	305	280
366	265	307	272
389	267	308	283
396	272	296	282
385	279	300	296
374	272	306	286
367	258	294	281

388	261	304	276
369	269	298	282
388	271	302	300
370	265	309	274
380	262	299	275
376	263	303	279
377	275	301	281
372	270	294	277
368	255	302	281
375	256	300	276
378	274	311	276
381	275	308	289
384	263	297	278
365	264	303	264
361	262	306	277
384	265	309	277
378	253	304	272
372	266	305	276
378	261	307	270
355	249	304	251
379	266	300	279
373	270	316	276
372	263	306	281
385	272	311	295
388	278	299	297
378	261	297	278
376	257	315	276
378	262	305	285
360	268	301	267
371	265	299	289
374	268	308	285
362	262	301	277
402	258	299	295
376	256	310	281
367	269	296	296
379	285	297	299
382	275	307	268
390	263	304	280
373	287	297	293

381	250	299	277
377	263	302	275
395	275	302	289
375	257	303	266
370	253	298	277
386	259	303	285
379	262	297	275
384	263	312	284
374	264	302	277
370	268	299	286
380	273	297	283
358	263	311	275
375	263	305	296
383	258	305	281
375	262	304	275
363	284	305	292
388	269	300	285
381	273	315	284
374	268	307	279
389	270	318	277
388	269	291	273
382	263	290	277
367	279	292	277
384	260	308	298
397	275	296	267
352	272	308	283
384	261	308	296
385	267	317	267
365	265	309	290
387	264	303	263
385	280	299	289
373	269	309	278
381	274	308	286
379	272	306	288
387	258	302	286
387	274	309	261
366	261	310	296
386	268	307	296
360	277	297	266

363	264	309	284
395	263	293	278
375	267	303	281
390	258	298	291
389	255	316	269
361	275	308	276
375	260	301	292
381	266	297	290
377	267	313	288
366	273	308	287
393	260	303	289
380	270	297	280
375	268	309	283
385	276	311	284
378	260	305	279
380	278	310	289
369	261	313	276
364	257	311	288
377	272	315	275
375	273	294	280
373	261	314	277
379	257	312	263
375	264	308	268
370	268	311	282
387	265	298	271
390	276	308	274
374	261	306	284
391	260	308	264
363	283	306	276
360	259	304	298
372	269	306	280
380	270	298	281
381	257	313	273
366	268	306	267
368	256	302	279
381	255	297	274
383	259	315	269
365	252	299	261
374	254	313	262

371	269	309	266
376	258	301	268
363	256	307	266
364	276	312	272
376	270	310	283
373	270	299	287
388	265	308	284
377	261	303	285
382	265	300	274
384	264	303	281
365	266	291	264
372	271	302	267
365	259	296	297
387	271	309	276
380	270	311	288
388	265	308	272
369	278	312	272
391	262	310	283
373	265	305	279
350	266	306	274
379	274	314	283
393	262	310	259
368	259	314	277
380	272	295	290
398	267	312	274
381	271	302	288
380	269	307	283
379	262	295	267
383	278	314	278
385	272	306	282
388	259	304	279
376	262	305	279
370	272	293	276
370	279	298	295
367	267	309	284
380	264	303	272
376	272	304	274
380	276	297	298
373	258	304	267

353	256	297	262
362	262	293	266
383	265	304	278
363	262	287	288
387	273	303	282
379	262	302	278
366	256	290	267
362	267	305	291
380	256	293	287
389	257	300	284
388	265	309	284
361	274	292	278
385	258	299	282
372	272	302	262
388	258	326	281
372	263	306	274
376	271	298	294
374	260	310	263
359	273	300	274
374	256	298	270
378	245	299	268
381	256	302	272
370	257	300	284
362	254	307	280
381	267	299	301
379	258	311	276
370	270	302	283
376	274	304	294
387	258	305	295
384	268	301	291
371	265	299	282
379	264	308	288

Anexo 5

Reportes escenarios estudiados

Escenario 0

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cambio fila de grua	0.1938	< 0	0.1616	0.2342	0.0909	0.5884
carga tren	5.0524	< 0	4.2547	5.9510	2.5590	13.1543
descarga tren	4.8934	< 0	4.2293	5.8642	2.4826	12.9697
Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
tiempo total	377.09	1	350.22	402.40		

Escenario 1

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cambio fila de grua	0.1928	< 0	0.1474	0.2508	0.0911	0.5330
carga tren	5.0979	< 0	3.6889	6.5618	2.5277	12.1559
descarga tren	4.8650	< 0	3.7764	6.3253	2.5027	12.7616
Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
tiempo total	265.70	1	245.30	286.50		

Escenario 2

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cambio fila de grua	0.1925	< 0	0.1557	0.2358	0.0901	0.5190
carga tren	5.0677	< 0	3.9969	6.3255	2.5519	13.0388
descarga tren	4.8549	< 0	3.8259	6.1064	2.4656	12.1938
Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
tiempo total	303.93	1	286.84	326.42		

Escenario 3

Process

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
cambio fila de grua	0.1946	< 0	0.1530	0.2659	0.0911	0.4943
cambio fila de grua 45	0.1965	< 0	0.1477	0.2574	0.0918	0.5366
carga tren	5.0554	< 0	3.9047	6.2177	2.5590	12.1121
carga tren 45	4.2289	< 0	3.0642	5.8738	1.5508	13.6731
descarga tren	4.8737	< 0	3.9198	6.1727	2.4842	10.8787
descarga tren 45	4.0383	< 0	3.2094	5.3669	1.6514	12.2588
Output	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
tiempo total	279.46	1	251.00	300.64		