



Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

“Cuantificación de la Capacidad máxima del Camino La  
Pólvora, Proyecto Post ampliación del Terminal 2 del  
Puerto de Valparaíso”

Felipe Ignacio Ponce López

Diciembre, 2018

# Índice General.

Glosario .....	5
Resumen. ....	7
1 Introducción. ....	8
2 Objetivos.....	9
2.1 Objetivo general. ....	9
2.2 Objetivos secundarios. ....	9
3 Antecedentes.....	10
3.1 Puerto de Valparaíso. ....	10
3.1.1 Ubicación y accesos. ....	10
3.1.2 Infraestructura. ....	12
3.1.3 Antecedentes estadísticos. ....	13
3.1.4 Actual modelo logístico. ....	15
3.2 Ruta La Pólvora. ....	16
3.3 ZEAL. ....	18
3.3.1 Zona de Actividades Obligatorias (ZAO). ....	18
4 Marco Teórico.....	22
4.1 Estado del Arte. ....	22
4.2 Teoría de Colas. ....	22
4.2.1 Descripción de la Teoría de Colas. ....	22
4.3 Simulación. ....	25
4.3.1 Ventajas y desventajas de la Simulación. ....	25
4.3.2 Tipos de modelos de Simulación. ....	26
4.3.3 Herramientas de simulación existentes.....	27
4.3.4 Técnica de Bondad de Ajuste y algunas distribuciones. ....	29
4.3.5 Técnica para construir un modelo. ....	32
5 Metodología.....	33
5.1 Formulación del Problema. ....	33

5.2	Recolectar información y construcción de un modelo conceptual. ....	33
5.2.1	Datos año 2016. ....	33
5.2.2	Datos agosto 16. ....	35
5.2.3	Tiempo de traslado desde ZEAL hasta Puerto Valparaíso. ....	36
5.3	Construcción de modelos conceptuales. ....	37
5.4	Programación del Modelo. ....	38
5.4.1	Diseño de Locaciones. ....	39
5.4.2	Consideración de entidades. ....	40
5.4.3	Formulación del proceso. ....	41
5.4.4	Determinación de arribos. ....	43
5.5	¿Es el modelo Programado Válido? ....	48
5.6	Diseño, Conducta y Análisis de los resultados. ....	48
5.6.1	Factor de Carga x 1.5. ....	49
5.6.2	Factor de Carga x 2.0. ....	51
5.6.3	Factor de Carga x 2.2. ....	53
5.7	Documentar y Presentar Los Resultados de la Simulación. ....	55
6	Conclusiones y Recomendaciones. ....	55
7	Bibliografía. ....	57
8	Anexos. ....	58
8.1	Anexo A: Tablas originales del modelo. ....	58
8.1.1	Locaciones Consideradas en el modelo. ....	58
8.1.2	Entidades consideradas en el modelo. ....	58
8.2	Anexo B Herramientas de cálculo de pendiente. ....	59
8.2.1	Viaducto 1. Pendiente promedio 10.2%. ....	59
8.2.2	Viaducto 3 Pendiente promedio 7.7%. ....	59

## Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1: Mapa de conectividad Puerto de Valparaíso.....	11
Ilustración 2: Disposición logística de Modelo Puerto Valparaíso.....	16
Ilustración 3: Sistema Mono – Canal.....	23
Ilustración 4: Sistemas Multi – Cola. ....	24

## Índice de Tablas.

Tabla 1: Evolución de la carga transferida por el Puerto de Valparaíso desde el año 2000 hasta el 2017. ....	13
Tabla 2: Evolución de la carga contenedorizada en el Puerto de Valparaíso desde el año 2000 hasta el 2017 .....	14
Tabla 3: Tabla de resumen de antecedentes y datos estadísticos año 2016. ....	34
Tabla 4: Tiempos estimados entre trayectos.....	37
Tabla 5: Locaciones consideradas en el modelo.....	39
Tabla 6: Características físicas locaciones. ....	40
Tabla 7: Entidades consideradas en el modelo.....	40
Tabla 8: Características entidades ingresadas al modelo. ....	41
Tabla 9: Procesos considerados en el modelo.....	42
Tabla 10: Enrutamiento considerado para cada proceso .....	43
Tabla 11. Tabla de arribos por turnos agosto 2016.....	43
Tabla 12: Arribos considerados en el modelo. ....	47
Tabla 13: Tabla de comparación validación del modelo (ZEAL – EPV).....	48
Tabla 14: Condiciones escenario x 1.5 .....	49
Tabla 15: Tiempos promedio de traslado. ....	49
Tabla 16: Tabla de resultados simulación. ....	50
Tabla 17: Configuración de escenario x 2,0. ....	51
Tabla 18: Tiempos de trayecto entre ZEAL y terminales escenario x 2,0 .....	51
Tabla 19: Tabla de resultados simulación. ....	52
Tabla 20: Escenario con carga aumentada 2.2 veces.....	53
Tabla 21. Resultados en tiempos promedio escenario x2.2 .....	53
Tabla 22: Tabla de resultados simulación. ....	54

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Estacionalidad de camiones registrados año 2016. ....	34
Gráfico 2: Estacionalidad de camiones registrados agosto 16. ....	35
Gráfico 3: Distribución de arribos año 2016. ....	36
Gráfico 4: Torta de distribución de arribos agosto 2016. ....	44
Gráfico 5. Gráficos distribución estadística de arribos por turnos. ....	45
Gráfico 6: Comportamiento de las principales locaciones. ....	50
Gráfico 7: Comportamiento de las principales locaciones. ....	52
Gráfico 8: Comportamiento de las principales locaciones. ....	54

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Criterio de Cramér-Von Mises ( ) = $-\infty \infty F n x - F * x^2 d F *$ (1)....	29
Ecuación 2: Test de Pearson o chi cuadrado (X) .....	29
Ecuación 3: Distribución Binomial: .....	30
Ecuación 4: Distribución Exponencial. ....	30
Ecuación 5: Distribución Lognormal.....	31
Ecuación 6: Distribución Uniforme. ....	31

## **Glosario**

- ZEAL: Zona de Extensión de Apoyo Logístico. Recinto que se encarga de ofrecer servicios a las cargas transferidas por el Puerto de Valparaíso.
  - ZAO: Zona de Actividades Obligatorias. Zona dentro del recinto ZEAL en donde se realizan actividades obligatorias del Puerto Valparaíso en un recinto fuera de sus dependencias directas.
  - RDA: Recinto de Depósito Aduanero. Recinto extraportuario que presta servicios de almacenaje, inspección y diversos servicios complementarios a la carga en el recinto ZEAL.
- EPV: Empresa Portuaria Valparaíso. Empresa estatal a cargo de la administración del Puerto de Valparaíso.
  - TPS: Terminal Pacífico Sur. Empresa privada a cargo de la administración del Terminal 1 del Puerto de Valparaíso a modo de concesión.
  - TCVAl: Terminal Cerros de Valparaíso. Empresa privada a cargo de la administración del Terminal 2 del Puerto de Valparaíso a modo de concesión.
  - VTP S.A.: Valparaíso Terminal de Pasajeros. Sociedad a cargo de operar el terminal de pasajeros del Puerto de Valparaíso a modo de concesión.
- Tipos de cargas
  - Cabotaje: Carga contenedorizada o fraccionada que es transportada entre puertos del mismo país.
  - Contenedorizada: Carga transportada en contenedores.
  - Fraccionada: Carga transportada a granel y/o segmentada en partes.
  - Carga en Tránsito. Mercancías que se encuentran en territorio nacional provenientes del extranjero, destinadas a un tercer país.

- Tipos de Contenedores:
  - TEU: Twenty Foot equivalent Unit. Siglas utilizadas para denominar a un contenedor de 20 pies (6 metros)
  - FEU: Fourty Foot equivalent Unit. Sigla utilizada para denominar a un contenedor de 40 pies (12 metros)
  - Contenedor Reefer: Contenedor con sistema controlado de temperatura y humedad especial para el traslado de mercancías perecibles.
  - Contenedor IMO: Contenedor especializado para el traslado de mercancías peligrosas como combustibles, elementos tóxicos, corrosivos, etc.
  
- Servicios gubernamentales de inspección.
  - MOP: Ministerio de Obras Públicas, Chile
  - SNA: Servicio Nacional de Aduanas, Chile
  - SAG: Servicio Agrícola Ganadero, Chile
  - USDA: United States Department of Agriculture, E.E.U.U.
  
- Documentación:
  - MIC/DTA: Manifiesto Internacional de Carga / Declaración de Tránsito Aduanero. Documento propio de carga en tránsito, verifica que efectivamente se trata de carga en tránsito eximiendo el pago de impuestos en el país de tránsito
  - DUS: Declaración Única de Salida. Documento donde el SNA aprueba la salida del país las cargas.
  
- Teoría de Colas.
  - FIFO: First In First Out. Patrón de servicio en teoría de colas que indica El primero que entra, el primero que sale de un sistema.
  - LIFO: Last In Last Out. Patrón de servicio en teoría de colas que indica. El último que entra, el primero que sale.

## **Resumen.**

El presente informe considera el análisis y la cuantificación vehicular en el acceso sur del camino La Pólvora. Este análisis se debe a la problemática que se presenta en épocas de alta demanda de servicios de transporte específicamente desde los recintos portuarios hasta el recinto de ZEAL.

La EPV, tiene planteada la ampliación del Terminal 2 (TCVAL) a un terminal que pueda duplicar la capacidad de transferencia actual del Puerto de Valparaíso. Dicho proyecto se encuentra en proceso de tramitación ambiental según información recopilada por TCVAL.

(TCVAL, 2018)

Ante el aumento de las transferencias en el Puerto de Valparaíso, surge la siguiente problemática: ¿Será suficiente la actual capacidad de tránsito del Camino La Pólvora para el tránsito vehicular en las nuevas condiciones?

Para responder esta pregunta, se plantea el análisis de las actuales condiciones de la ruta La Pólvora, las instalaciones de ZEAL, y los terminales TPS Y TCVAL. Las actuales cifras se proyectan a las futuras cifras estimadas según las fuentes. Y se realizará el respectivo análisis.

Finalmente, con los análisis y proyecciones, se procederá a realizar un modelo de simulación con tal de estimar en forma cuantitativa las nuevas condiciones del Camino La Pólvora ante el aumento de la demanda por esta ruta. Para ello se ha planteado diversos escenarios explicados en el cuerpo del informe.

Finalmente, los resultados se han planteado de acuerdo con 3 escenarios. Evaluando la capacidad de tránsito en función del comportamiento del túnel 1, identificado como el punto crítico de la ruta. Todos estos resultados fueron medidos con una simulación la cuál fue validada previamente.

# **1 Introducción.**

El camino La Pólvara, es una ruta que une las instalaciones del Puerto Valparaíso con ZEAL. Además, conecta directamente con la Ruta 68 y Ruta Los Andes en dirección a el Paso Los Libertadores.

Durante el paso del tiempo, la cantidad de carga transferida por el Puerto de Valparaíso ha ido en aumento, llegando a transferir el año 2017 10.770.628 toneladas (Puerto Valparaíso, 2017). Esta cifra representa un aumento con respecto al 2016 de un 5%. Dicha carga es transportada casi en su totalidad vía terrestre en camiones de carga.

Desde el año 2007 hasta la fecha, inició sus actividades ZEAL cuya finalidad es aumentar la capacidad de carga del Puerto de Valparaíso, y evitar que los camiones propios de la actividad portuaria transiten por la ciudad. Fue en ese entonces, cuando el año 2007 se registró un alza de 21% en las transferencias del Puerto Valparaíso, cantidades que se han mantenido hasta la fecha.

Actualmente está en proceso la ampliación del Terminal 2 del Puerto Valparaíso administrado por Terminal Cerros de Valparaíso (TCVAL), quienes buscan duplicar la máxima capacidad de transferencia del Puerto de Valparaíso, estimada en 10.000.000 de toneladas. Logrando así tener una capacidad máxima de transferencia de 20.000.000 de toneladas y 2.000.000 de TEU's (TCVAL, 2017).

La ruta que une las instalaciones de ZEAL con el Puerto de Valparaíso es el Camino La Pólvara, éste cuenta con una extensión de 22 kilómetros, 12 de ellos entre el recinto portuario y las instalaciones de ZEAL. Dicha ruta presenta etapas de congestión debido al alto flujo de camiones que transitan por la ruta originando en algunas etapas retraso en la cadena logística del Puerto.

La actual capacidad de tránsito del Camino La Pólvara, ¿Será suficiente para afrontar el doble de carga que busca transferir el Puerto de Valparaíso? Es esa la interrogante que se busca contestar en este proyecto de título.

## **2 Objetivos.**

### **2.1 Objetivo general.**

- Cuantificar la máxima tasa de camiones capaz de transitar por la ruta La Pólvora antes de su colapso.

### **2.2 Objetivos secundarios.**

- Medir la capacidad de tránsito del camino La Pólvora, ante la ampliación del Terminal 2 del Puerto de Valparaíso.
- Mediante simulación, medir el tiempo promedio de tránsito en escenarios de alta demanda.
- Medir el flujo de camiones por ruta y compararlo con el registro recopilado por los departamentos de estadística de ZEAL.
- Cuantificar la tasa de bloqueo en el acceso al túnel T1. Debido al alcance de su máxima capacidad.

### **3 Antecedentes.**

El capítulo de antecedentes se dividirá en.

- Antecedentes de Puerto de Valparaíso.
- Antecedentes de ZEAL.
- Antecedentes del Camino La Pólvara.

#### **3.1 Puerto de Valparaíso.**

El Puerto de Valparaíso, es administrado por la Empresa Portuaria Valparaíso (EPV), empresa de carácter estatal encargada de la administración, explotación, desarrollo y conservación de las instalaciones y actividades relacionadas al ámbito portuario.

Actualmente, EPV mantiene 4 contratos de concesión para la operatividad del puerto. Estas empresas concesionarias son.

- Terminal Pacífico Sur (TPS).
- Terminal Cerros Valparaíso (TCVAL).
- ZEAL Sociedad Concesionada S.A. (ZSC)
- Valparaíso Terminal de Pasajeros S.A. (VTP).

Ellas en conjunto a EPV, se encargan de la infraestructura, el modelo logístico los accesos al recinto portuario entre otras.

##### **3.1.1 Ubicación y accesos.**

Puerto Valparaíso se encuentra ubicado en la bahía de Valparaíso, comprende una superficie total de 21 hectáreas exclusivas para actividades portuarias y transporte de mercancías. Para los arribos (o salidas) de estas mercancías existen 4 rutas disponibles.

La Ilustración 1 muestra la conectividad del Puerto de Valparaíso.

Ilustración 1: Mapa de conectividad Puerto de Valparaíso.



Fuente: (Puerto Valparaíso, 2017)

- Acceso Sur. Ruta La Pólvara – Ruta CH – 68.

Consiste en el traslado de los camiones de carga mediante la Ruta La Pólvara conectando con la Ruta 68 en dirección Santiago.

- Acceso Sur. Ruta La Pólvara Ruta CH – 60 Los Andes.

Consiste en el mismo acceso por la Ruta La Pólvara, pero conectando con el viaducto Las Palmas y posteriormente la Ruta CH 60 que a su vez conecta con el paso internacional Los Libertadores o la ruta Panamericana.

- Ruta 68 Santos Ossa.

Si bien esta ruta sigue vigente, ya construido el acceso sur al puerto esta ruta quedó con una utilización menor. Aunque aún se permite el tránsito de vehículos de carga, éste quedó restringido entre las 23:00 y las 07:00 horas. De todos modos, se da prioridad al acceso sur.

- Acceso Ferroviario.

Un menor porcentaje de la carga es transportada en ferrocarriles, principalmente se trata de carga a granel, específicamente del rubro de la minería.

Todas estas opciones permiten conectividad con la Región Metropolitana de Santiago, la Panamericana Norte o Sur y el paso Internacional Los Libertadores.

### 3.1.2 Infraestructura.

Anteriormente, se mencionaron las 4 empresas que tienen contratos de concesión con EPV. En este párrafo se especificará cuáles son las tareas de cada una de ellas en función de la infraestructura que mantienen en las instalaciones de Puerto de Valparaíso.

- Terminal Pacífico Sur.

Cuenta con la concesión del terminal 1 del Puerto de Valparaíso, que se especializa como terminal de carga y de pasajeros. Posee en total una superficie de 14,62 hectáreas y administra los sitios 1, 2, 3, 4 y 5. (Puerto Valparaíso, 2017)

- Terminal Cerros Valparaíso.

Tiene a su haber la concesión del Terminal 2 del Puerto de Valparaíso, sus instalaciones permiten ser un terminal de carga y pasajeros. Tiene una superficie total de 6,4 hectáreas y administra los sitios 6, 7 y 8. (Puerto Valparaíso, 2017)

- ZEAL Sociedad Concesionada S.A. (ZSC)

Se considera como la puerta de ingreso desde y hacia los terminales. En estas dependencias se realizan los chequeos e inspecciones ya sean documentales o físicas, para así una vez emitidos los permisos la carga pueda ingresar efectivamente a las instalaciones del Puerto. (Puerto Valparaíso, 2017)

- Valparaíso Terminal de Pasajeros S.A.

Tiene a su haber el embarque y desembarque de pasajeros que ingresan o salen del país mediante cruceros que recalán en el Puerto de Valparaíso. Posee un área de extensión de 10,2 hectáreas. (Puerto Valparaíso, 2017)

- Empresa Portuaria Valparaíso.

Y, por último, la EPV tiene a su haber la administración de espacios como lo son el Muelle Prat y Puerto Barón, que forman parte de la infraestructura de Puerto Valparaíso. (Puerto Valparaíso, 2017)

### 3.1.3 Antecedentes estadísticos.

De toda la infraestructura mencionada anteriormente, sólo los terminales 1 y 2 además de ZSC se dedican a las transferencias de carga ya sea contenedorizada o fraccionada. Estas empresas (TPS, TCVAL y ZSC) movilizaron un aproximado de 10 MM de toneladas el 2017, de las cuales un 95% fue carga contenedorizada, mientras que el 5% restante fue carga fraccionada.

La Evolución de la carga transferida por el Puerto de Valparaíso, se puede observar en la Tabla 1

Tabla 1: Evolución de la carga transferida por el Puerto de Valparaíso desde el año 2000 hasta el 2017.

Año	Ton transferidas	Variación (%)
2000	3.930.417	N/A
2001	4.469.302	13,71
2002	4.665.457	4,39
2003	5.103.507	9,39
2004	6.052.829	18,60
2005	5.699.455	-5,84
2006	7.971.266	39,86
2007	9.713.720	21,86
2008	10.898.860	12,20
2009	7.975.762	-26,82
2010	10.151.112	27,27
2011	10.533.864	3,77
2012	10.367.734	-1,58
2013	10.257.623	-1,06
2014	11.080.861	8,03
2015	10.340.583	-6,68
2016	10.188.946	-1,47
2017	11.836.508	16,17

Fuente: (Puerto Valparaíso, 2017)

En la tabla se muestra la evolución de la carga transferida. Considera exportaciones, importaciones y cabotaje. Ya sea carga contenedorizada, fraccionada u otro tipo.

La columna de Variación muestra la variación porcentual de la carga transferida con respecto al año anterior. El período 2005 a 2006 y 2006 a 2007 que registran alza, debidas a la puesta en marcha del modelo logístico de ZEAL. Además, se registra una baja en el periodo 2008 a 2009 de un 27%, variación debida a la crisis económica global del año 2008 que afecto directamente el negocio internacional.

Del total de carga transferida por el Puerto de Valparaíso, se analizará en la Tabla 3, la evolución de la carga contenedorizada desde el 2000 hasta el 2017.

*Tabla 2: Evolución de la carga contenedorizada en el Puerto de Valparaíso desde el año 2000 hasta el 2017*

Año	Teu's Transferidos	Variación (%)
2000	256.386	N/A
2001	291.403	13,66
2002	300.031	2,96
2003	319.418	6,46
2004	388.353	21,58
2005	377.274	-2,85
2006	614.84	62,97
2007	845.234	37,47
2008	946.951	12,03
2009	677.432	-28,46
2010	878.787	29,72
2011	973.012	10,72
2012	942.647	-3,12
2013	910.78	-3,38
2014	1.010.202	10,92
2015	902.542	-10,66
2016	884.03	-2,05
2017	1.051.725	18,97

Fuente: (Puerto Valparaíso, 2017)

La anterior tabla muestra la evolución de la transferencia de carga contenedorizada del Puerto de Valparaíso, considerando exportaciones, importaciones y cabotaje. Nuevamente tal como en la tabla 1, se observan grandes variaciones en de la temporada 2005 a 2006 y 2006 a 2007 debidas principalmente al inicio de las operaciones de ZEAL.

#### 3.1.4 Actual modelo logístico.

Actualmente, Puerto Valparaíso posee un modelo logístico único en el país. Éste consiste en la separación de los espacios físicos para la realización de la actividad portuaria, todos ellos integrados a SILOGPORT. SILOGPORT es un modelo informático que recopila la información de todos los actores del modelo logístico, tanto particulares, como públicos. SILOGPORT además organiza la logística, tanto para los vehículos de carga como para los procesos documentales.

El modelo logístico se separa en 3 espacios físicos encadenados entre sí.

- ZEAL.
- Ruta la Pólvora.
- Terminales.

##### 3.1.4.1 ZEAL.

Es el lugar donde se realizan el control de la carga a nivel documental y/o físico. Además, se encarga del orden logístico de los vehículos de carga y prestar servicios extra – portuarios. Su función dentro de la cadena logística es brindar espacio físico para el orden logístico, permitiendo el ingreso y egreso de camiones desde y hacia los terminales portuarios y desde y hacia las instalaciones de ZEAL.

##### 3.1.4.2 Ruta La Pólvora.

Ruta de inversión estatal que une los terminales del Puerto Valparaíso con las instalaciones de ZEAL (separadas por 12 Km). Cuenta con 3 viaductos y 3 túneles todos ellos bidireccionales. Actualmente, esta ruta es monitoreada las 24 horas del día verificando el buen funcionar de esta vía y minimizando eventos que puedan causar la interrupción del flujo logístico. El túnel 1 actualmente posee una longitud de 2.183 metros, el más extenso de los 3. Y por motivos de seguridad mantiene una restricción de evitar la circulación de más de 30 vehículos en su interior (sentido ZEAL – Puerto).

Su función dentro de la cadena logística no es más que permitir el libre tránsito entre ZEAL hacia los terminales y viceversa.

### 3.1.4.3 Terminales.

Los 2 terminales dedicados al transporte de carga (TPS y TCVAL), tienen la función dentro del modelo logístico de recibir la carga proveniente de ZEAL y embarcarla dentro de la nave correspondiente.

Por su parte para la carga que viene llegando al país dentro de una nave, ésta debe desembarcarse para ser trasladada a las instalaciones de ZEAL y ser chequeada de acuerdo con los protocolos documentales e inspecciones físicas correspondientes.

## 3.2 Ruta La Pólvara.

La ruta 78 – CH, más conocida como Ruta La Pólvara, es el camino que une los terminales del Puerto Valparaíso con Placilla pasando por las instalaciones de ZEAL. Esta ruta considera 3 viaductos y 3 túneles asociados de la siguiente manera (Ilustración 2).

*Ilustración 2: Disposición logística de Modelo Puerto Valparaíso.*



Fuente: (Puerto Valparaíso, 2017)

El esquema logístico del Puerto de Valparaíso muestra en línea punteada los 3 túneles (T1, T2 y T3) y su disposición. En color rojo el Camino La Pólvara y su extensión.

El MOP el año 2007 entregó el acceso sur al Puerto de Valparaíso. Cuyo principal objetivo es evitar la circulación de vehículos de carga por el centro de la ciudad. Como objetivos secundarios están poner en marcha una zona extraportuaria denominada

ZEAL y potenciar el turismo mediante la descongestión de vehículos de carga por la ciudad (Álvarez, 2006)

El diseño contempla 3 túneles, (T1, T2 y T3) y 3 viaductos, la pendiente promedio del trayecto es del 2,1%. Los túneles tienen una sección transversal de 57 m<sup>2</sup>, el ancho de las pistas es de 8,60 m. Ello permite el tránsito de vehículos en ambos sentidos (1 pista por sentido) e incluye un tercer vehículo detenido por emergencia a un costado de la pista.

La construcción de los túneles considera ductos y extractores para la ventilación. Sin embargo, existe la disposición de una medida de seguridad que impide la circulación de más de 30 vehículos en sentido ZEAL – Puerto (bajada) por el túnel 1.

### **3.3 ZEAL.**

El año 2006, la Empresa Portuaria Valparaíso (EPV) inició las obras del recinto portuario ZEAL, cuya primera fase fue entregada a fines del 2007. Estas obras fueron entregadas a modo de concesión al grupo español AZVI a la empresa ZEAL Sociedad Concesionada S.A. a un plazo de 30 años (2007 – 2037). Durante la operación de ZEAL Sociedad Concesionada S.A., desde ahora en adelante ZEAL se compromete a la administración, ampliación y operación del recinto portuario ZEAL.

Las instalaciones de ZEAL hoy cuentan con variadas áreas de operaciones, pero siendo la ZAO la zona directamente relacionada a la cadena logística que se pretende evaluar.

#### **3.3.1 Zona de Actividades Obligatorias (ZAO).**

La ZAO es la zona de desarrollo de actividades obligatorias del Puerto de Valparaíso. Actividades que corresponden a la fiscalización, control y coordinación de cargas que viajan hacia las instalaciones del Puerto, desde las instalaciones del Puerto o hacia el destino final de la carga. Dentro de estas actividades se encuentran.

- Servicios de tramitación a la carga en tránsito.

Consta de la tramitación documental para carga en tránsito, haciendo este proceso más rápido y expedito.

- Servicios de parqueo y custodia.

La carga puede mantenerse en las instalaciones de ZEAL a la espera de su llamado a Puerto, o de trámites documentales pendientes para poder retirar la carga desde ZEAL. Este servicio se presta en uno de los 590 estacionamientos disponibles para camiones en ZEAL.

Además, puede almacenarse la carga en los almacenes disponibles para ellos.

- Servicios de inspección.

Las instalaciones de la ZAO, constan con andenes disponibles para las inspecciones necesarias por parte de organismos estatales.

- Aduanas.
- SAG.
- USDA.

- Sernapesca.
- Etc.

Toda carga que es registrada en ZEAL puede ser sometida a inspecciones por parte de cualquiera de estos organismos (Siempre y cuando la naturaleza de la carga lo permita). Algunas de estas inspecciones son:

- Medición de gases.

Se dispone de servicios de medición de gases residuales para cargas fumigadas, o cualquier tipo de gas residual que pudiera resultar nocivo. Asegurando que los niveles de éstos se encuentren en norma.

- Servicios de ventilación.

De ser necesario se dispone de un área especializada para la ventilación de contenedores con gases residuales.

#### 3.3.1.1 Instalaciones de la ZAO.

La ZAO consta de un total de 17 Hectáreas, de las cuales la gran mayoría se destina a estacionamientos para vehículos de carga y en segundo lugar andenes de inspección.

Las principales instalaciones son.

- Andenes cubiertos para inspecciones.

Existen 32 andenes cubiertos que permiten realizar inspecciones de cualquier tipo a la carga seca. Los andenes poseen diferentes medidas de seguridad fitosanitarias como sistemas de cortinas de aire en 18 andenes y 9 andenes enmallados. En estos andenes operan los diversos organismos fiscalizadores como lo son.

- SAG.
- USDA.
- Sernapesca.
- SNA.
- Ministerio de Salud.
- Entre otros.

- Andenes para carga en contenedores Reefer.

Existen 2 andenes destinados específicamente para la carga refrigerada. Éstos poseen sistemas de control de temperatura que mantienen la cadena de frío de la carga.

- Andenes descubiertos para inspecciones.

Por su parte existen 8 andenes descubiertos, que se destinan a las inspecciones menores, como lo son las inspecciones de sellos y la verificación de la carga en tránsito MIC DTA (Manifiesto Internacional de Carga / Declaración de tránsito Aduanero)

- Pórticos de Ingreso.

ZEAL consta con 6 pórticos de ingreso, éstos son bidireccionales. Ellos controlan el ingreso y egreso de vehículos de carga con diferentes herramientas como lo son sensores de patentes (OCR), sensores TAG e interconexión con el sistema SILOGPORT.

- Estacionamientos para vehículos de carga.

ZEAL (ZAO) cuenta con 590 estacionamientos que se disponen principalmente para vehículos con carga que posee tramitaciones pendientes, o están a la espera de ser llamados a terminal.

En conclusión, la ZAO de ZEAL es una zona que contribuye positivamente a la descongestión vehicular de la ciudad y el Puerto de Valparaíso. (ZEAL. S.A., 2016)

- Líneas de servicio de operativas en ZEAL.
  - Acopio: Ingreso de carga fraccionada a ZEAL para su exportación.
  - Almacenaje: Ingreso de carga importada a ZEAL, que tiene como destino ser almacenada en los almacenes por orden del cliente.
  - Carga Masiva: Carga de exportación donde el contenedor en ZEAL posee mercancías de un solo dueño.
  - Consolidado Hortofrutícola: Carga de exportación, en ZEAL, donde 1 contenedor almacena a diversos dueños de carga hortofrutícola
  - Consolidado: Carga de exportación, en ZEAL, donde 1 contenedor transporta mercancías de diversos dueños.

- Embarque Hortofrutícola: Carga de exportación, en ZEAL, que almacena mercancías hortofrutícolas de 1 solo dueño.
- Inspección USDA: Carga destinada hacia E.E.U.U. o que realice un paso en tránsito por dicho país, la cual debe pasar por inspección del USDA (United States Department Agriculture) quien aprueba o desaprueba el ingreso en una zona establecida en ZEAL.
- RDA: Carga de exportación que ingresa al almacén extraportuario propio de ZEAL para realizar el proceso previo a la exportación
- Porteo: Traslado de contenedores que tienen paso en tránsito por Chile y deben pasar por ZEAL.
- Servicio de Despacho de Directo Diferido (SDDD): Carga de importación que por temas de logística no puede salir inmediatamente del puerto y es trasladada a ZEAL, acá es retirada por el responsable para su destino final.
- Stacking: Carga de exportación que debe ir desde ZEAL hasta los terminales para embarcar a su destino.

## **4 Marco Teórico.**

### **4.1 Estado del Arte.**

Durante el transcurso del tiempo, se han realizado diversas simulaciones en el ámbito marítimo portuario. Entre ellas destacan los puertos de Valparaíso, San Antonio, San Vicente, etc.

Sin embargo, el año 2005, la empresa SIMULART realizó el modelo teórico y de simulación del nuevo modelo logístico a implementar en el Puerto de Valparaíso. Éste fue llevado a cabo a través de la herramienta PROMODEL.

### **4.2 Teoría de Colas.**

El modelo de la ruta La Pólvora, trata de mostrar un proceso que constantemente sufre de cuellos de botella, lo cual puede ser explicado por la Teoría de Colas.

#### **4.2.1 Descripción de la Teoría de Colas.**

La teoría de colas es descrita como un conjunto de entidades que esperan a ser procesadas por una locación, siempre y cuando la locación no realiza el proceso de forma inmediata. La espera de estas entidades es denominada Teoría de Colas. (García, 2015)

Las características que describen un sistema de colas son las siguientes.

- Patrón de llegada de las entidades.
- Patrón de atención de las Locaciones.
- Disciplina de la cola.
- Capacidad del Sistema.
- Número de Canales de Servicio.
- Número de etapas de Servicio.

##### **4.2.1.1 Patrón de Llegada de las Entidades.**

Habitualmente el arribo de las entidades es estocástico, de ser así será necesario conocer la distribución entre arribos de locaciones. También los arribos pueden darse

de forma individual, o en lotes. Si las entidades representan a clientes, muchas veces estos pueden impacientarse y retirarse de la cola. (García, 2015)

#### 4.2.1.2 Patrón de Servicio de las Locaciones.

Las locaciones pueden realizar los procesos a entidades individuales, o lotes de estas. Los tiempos de operación pueden ser variables o fijos. (García, 2015)

#### 4.2.1.3 Disciplina de la Cola.

La forma en que las Entidades se ordenan para ser atendidas por las locaciones es la Disciplina de la Cola. Ésta puede ser FIFO, LIFO, estas son las más comunes de encontrar. También existen otro tipo de reglas dependiendo de prioridades para ciertos atributos o variables. Por ejemplo, preferir la operación de la entidad A por sobre la B en una misma locación. (García, 2015)

#### 4.2.1.4 Capacidad del Sistema.

Algunos sistemas tienen una capacidad de cola finita, éstos son denominados Situación de Cola Finita.

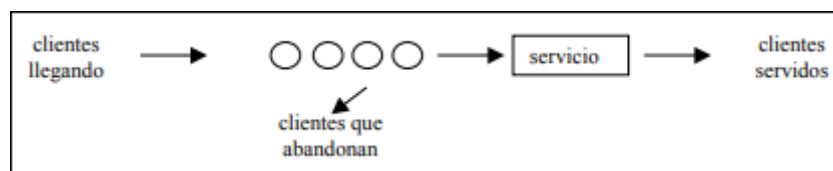
Por el contrario, hay sistemas de cola en donde el número de entidades en cola no está determinado. (García, 2015)

#### 4.2.1.5 Número de canales de servicio.

Existen 2 tipos de canales de servicio, denominados Multi – Canal y Mono – Canal.

El primero consta de una cola a la espera de 1 locación tal como lo muestra la Ilustración 3. (García, 2015)

*Ilustración 3: Sistema Mono – Canal.*



Fuente: (García, 2015)

El sistema Multi – Canal puede ser con una cola para múltiples locaciones, varias colas para igual número de locaciones. La Ilustración 4 muestra esquemas de ello.

Ilustración 4: Sistemas Multi – Cola.



Fuente: (García, 2015)

#### 4.2.1.6 Etapas de Servicio.

Los sistemas pueden ser Uni – etapa o Multi – Etapa, En el sistema Uni – Etapa, todas las entidades realizan los mismos procesos. Por su parte el sistema Multi – Etapa permite que no todas las entidades realicen los mismos procesos, permitiendo re – procesos, omisión de algunos procesos, entre otros. (García, 2015)

### **4.3 Simulación.**

Una simulación es una abstracción de la realidad. La simulación corresponde a la técnica de investigar una o varias hipótesis utilizando modelos. Representando sistemas reales y llevando a cabo experiencias con él a lo largo de varios períodos, estableciendo los límites y criterios para el correcto funcionamiento. (Shannon & Johannes, 1976)

En la Actualidad existen diversas herramientas que permiten ejecutar modelos matemáticos de Simulación. Para la utilización de cada una de ellas es necesario un mínimo de conocimiento acerca de estas herramientas.

#### **4.3.1 Ventajas y desventajas de la Simulación.**

A continuación, se muestran ventajas y desventajas de la simulación observadas por Tapia, s/f

- Ventajas.
  - Adquirir Rápida experiencia a muy bajo costo y sin riesgos.
  - Identificar un sistema complejo en aquellas áreas con problemas.
  - Utilizar simulación para probar medidas estratégicas y comparar escenarios.
  - Ensayo de operaciones sin alterar el funcionamiento de las operaciones (Reales).
  - Aplica muy bien para el diseño de sistemas, Lay – Outs, procesos, etc.
- Desventajas.
  - No es propicio utilizar cuando hay técnicas analíticas que permiten plantear, resolver u optimizar el sistema.
  - No es posible asegurar que un modelo sea válido en su totalidad.
  - No existe un criterio científico para seleccionar alternativas a simular.
  - Existen riesgos de utilizar modelos fuera de los límites del sistema, queriendo realizar simulaciones para las que el modelo no es válido.

#### 4.3.2 Tipos de modelos de Simulación.

- Por tiempo:
  - Modelos Estáticos: El estado de las variables, no cambia al hacer un cálculo
  - Modelos Dinámicos: El estado de las variables cambia al hacer un cálculo
- Por Variables:
  - Continua: La variable puede adquirir infinitos valores en un intervalo determinado, y siempre entre valores observables existirán terceros valores intermedios.  
  
Posee un inevitable error de medida puesto a los infinitos valores que ésta puede tomar.  
  
Por ejemplo: La talla de una persona.
  - Discreta: La variable puede tomar valores establecidos dentro de un intervalo, siempre entre 2 valores existirán posibles valores en un rango finito. Los valores son números enteros.

En la práctica las variables Continuas son el resultado de medir algo, aplicando criterios de redondeos, y las variables Discretas son el resultado de contar algo.

- En base a función
  - Estocástica: El estado de las variables futuras, es posible determinar con los datos actuales
  - Determinística: El estado de las variables futuras, no es posible determinar con el valor de los datos actuales.

Los modelos de simulación se sitúan como modelos dinámicos, de variable discreta y son capaces de estimar los valores de las variables en base a los datos existentes.

#### 4.3.3 Herramientas de simulación existentes.

- PROMODEL.

Software de Promodel Corporation que trabaja bajo el ambiente Windows, simula, analiza y optimiza todo tipo de sistemas. Es fácil de utilizar, flexible a la hora de simular diversos tipos de sistema y posee un motor gráfico de animaciones bastante intuitivo.



- MEDMODEL.

Software de Promodel Corporation, trabaja con el mismo motor que Promodel, acogido en el mismo sistema operativo (Windows).

Se diferencia de este último ya que MedModel se especializa en desarrollar modelos de hospitales, consultas médicas, modelos enfocados al área de la salud.



- Arena Simulation Software.

Software de propiedad de Rockwell Automation, trabaja con una interfaz de Windows en base a diagramas de flujo. Simula, analiza y analiza todo tipo de sistemas siendo un software sumamente flexible. Trabaja en base a diagramas de flujos y éste, a diferencia de los 2 anteriores, no cuenta con un motor gráfico de animaciones.

**Arena**<sup>®</sup>  
Simulation  
Software

- PROCESS SIMULATOR.



Software propiedad de Promodel Corporation, trabaja en interfaz

Windows y se basa en diagramas de flujo al igual que arena. Éste no cuenta con interfaz gráfica de animaciones como ProModel o MedModel.

También existen otros softwares como.

- HYSYS (Industria Química)
- Aspen Plus (Industria Química)
- CHEMCAD (Industria Química)
- SIMNET II (Industria de Telecomunicaciones)
- OR Brainware Decision Tools (Herramienta especializada en Teoría de Colas)
- Otras.

En base al estado del arte, la simplicidad, las animaciones intuitivas, fácil acceso a su licencia, Promodel es un Software que se destaca por sobre el resto. Por lo que se optó por desarrollar el modelo de simulación en base a este Software. Este modelo específico, trabajará desarrollando modelos dinámicos, de variable discreta y en base a funciones estocásticas.

#### 4.3.4 Técnica de Bondad de Ajuste y algunas distribuciones.

La técnica de bondad de ajuste corresponde a identificar cuán bien se ajusta una muestra de datos observados a los valores esperados.

Existen pruebas para verificar si una distribución en específico se ajusta al conjunto de observaciones. Algunas de ellas son no paramétricas, sin embargo, se especificará los métodos paramétricos, debido a que las herramientas de simulación trabajan con distribuciones conocidas y parametrizadas previamente. Entre las técnicas de bondad de ajuste y distribuciones están.

Ecuación 1 Criterio de Cramér-Von Mises ( )

$$= \int_{-\infty}^{\infty} [F_n(x) - F^*(x)]^2 dF^* \quad (1)$$

$F_n =$  Distribución Empírica

$F^* =$  Distribución teórica

El valor , a medida que toma menores valores estima a que la distribución empírica dista muy poco de la teórica.

Ecuación 2: Test de Pearson o chi cuadrado (X)

$$X^2 = \sum_i \frac{(Observada_i - teórica_i)^2}{teórica_i} \quad (2)$$

Nuevamente a medida que el valor  $X^2$  es menor, se estima que la distribución observada dista poco de la distribución teórica. Sin embargo, este criterio es más sensible a los valores de la distribución teórica.

Las técnicas de bondad de ajuste no paramétricas, no se consideran como apropiadas para comprobar el ajuste de datos a un modelo de simulación. Debido a que carecen elementos cuantitativos para establecer la relación de ajuste entre distribuciones.

Distribuciones propias del software PROMODEL.

- BINOMIAL:

Distribución de probabilidad discreta que considera la cantidad de aciertos de una secuencia tras n intentos de la distribución de Bernoulli. Tiene p probabilidades de éxito, repitiéndose el experimento n veces.

Para n = 1 la distribución se convierte en una distribución de Bernoulli.

La siguiente ecuación muestra la forma de la distribución Binomial.

*Ecuación 3: Distribución Binomial:*

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad (3)$$

$$0 \leq p \leq 1, x = \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

- Exponencial

Corresponde a una distribución de probabilidad continua (debido a que es una distribución continua, está restringida a sólo algunos usos dentro de PROMODEL) cuya distribución de probabilidad viene dada por:

*Ecuación 4: Distribución Exponencial.*

$$f(x) = P(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Esta distribución está definida para  $\lambda > 0$

- Lognormal

La distribución Lognormal, corresponde a una distribución de probabilidad cuyo logaritmo está normalmente distribuido. Es decir, si  $X$  es una variable aleatoria con una distribución normal, entonces  $e^x$  tiene una distribución Lognormal.

La siguiente ecuación representa la función de densidad de probabilidad.

*Ecuación 5: Distribución Lognormal*

$$f_{(x;\mu,\sigma)} = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

*Para  $x > 0$*

*Donde  $\mu$  es la media*

*y  $\sigma$  es la desviación estándar*

Fuente: Distribución Lognormal

- Uniforme

La distribución Uniforme corresponde a una distribución de probabilidad de variables donde cada una de éstas son igual de probables. La distribución Uniforme viene dada por la siguiente Ecuación.

*Ecuación 6: Distribución Uniforme.*

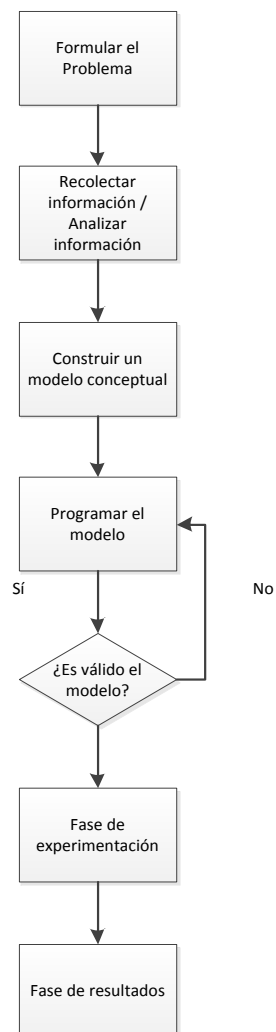
$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{Para } a \leq x \leq b, \\ 0 & \text{Para } x < a \text{ ó } x > b \end{cases} \quad (6)$$

*a y b: Valores mínimos y máximos del dominio de la función.*

#### 4.3.5 Técnica para construir un modelo.

Se revisó las metodologías de formular un problema de simulación, encontrando similitudes en todas ellas. El documento “How to build a valid and credible simulation model” estableció el año 2009 una metodología específica para modelos de simulación, la cuál se presenta a continuación.

*Flujo 1: Los 7 pasos que conducen a un exitoso estudio de simulación.*



(Averill & McComas, 2009)

## **5 Metodología.**

Para la construcción del modelo se basará en la teoría de Averill & McComas planteada en el 6.3.5.

Cada uno de los pasos se detallará este capítulo.

### **5.1 Formulación del Problema.**

Para formular y conocer el problema, se debe responder a las preguntas. ¿Qué se quiere simular? y ¿Por qué se quiere simular?

Para este caso, se busca simular la capacidad máxima del Camino La Pólvora de Valparaíso con la finalidad de estimar su capacidad máxima en temporadas altas y su comportamiento ante el supuesto que duplica su capacidad de transferencia máxima del Puerto Valparaíso.

### **5.2 Recolectar información y construcción de un modelo conceptual.**

Una vez identificado el problema y el porqué de realizar dicha simulación, se debe disponer de información para la realización del modelo. En el capítulo de Antecedentes se dispone de toda la información estadística con respecto a los egresos e ingresos de vehículos de carga a ZEAL Además de las características físicas del Camino La Pólvora, y las instalaciones de los terminales de Puerto Valparaíso.

#### **5.2.1 Datos año 2016.**

El sistema de ingresos y egresos a ZEAL y el Puerto, se produce mediante las casetas, éstas operan en 3 turnos para cubrir las 24 horas del día. Los turnos son de la siguiente forma. (López, comunicación personal, Septiembre 2016)

- Turno 1: 08:00 – 16:00
- Turno 2: 16:00 – 00:00
- Turno 3 00:00 – 08:00

El año 2016, se registró un total de 482489 ingresos y egresos a los recintos ZEAL y EPV. Éstos se distribuyeron tal como muestra la

Tabla 3:

Camiones ingresados por Línea Logística - Año 2016													
Línea Logística	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	Total
Camiones ingresados por Línea Logística - Año 2016													
Línea Logística	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	Total
Carga Masiva	10.884	11.441	9.264	12.133	7.966	8.693	10.110	12.048	11.045	12.015	12.002	13.080	132.734
Almacenaje	2.196	1.676	2.058	1.856	1.572	2.234	1.725	1.623	1.251	1.674	1.750	1.902	21.317
Carga Masiva	10.884	11.441	9.264	12.053	7.966	8.693	10.110	12.048	11.045	12.015	12.002	13.080	132.164
Cons.	20	21	10	32	31	25	38	39	30	33	35	38	352
Hortofrutícola	1.984	5.073	5.063	998	0	0	0	0	0	0	0	0	13.058
USDA	30	27	10	32	23	25	28	38	30	33	35	38	459
Hortofrutícola	1.984	5.073	5.063	998	0	0	0	0	0	0	0	0	13.058
USDA	6.320	4.674	455	435	508	382	586	446	354	380	408	423	15.851
USDA	10.496	8.208	9.475	9.388	11.965	10.15	10.15	11.928	11.625	12.078	13.369	14.053	133.120
Porteo	6.790	4.674	455	435	508	382	586	446	354	380	408	423	15.851
Stabing	10.296	10.009	15.495	9.484	11.456	10.49	10.65	12.768	13.673	14.38	15.464	16.84	156.20
Stabing	41.212	40.534	43.426	40.84	33.496	33.49	34.57	39.763	38.493	42.82	44.484	48.34	486.89
Total	41.712	42.534	42.496	40.34	33.696	33.62	34.57	39.463	38.391	42.53	44.434	48.33	482.13
				8		9	0			1		1	5

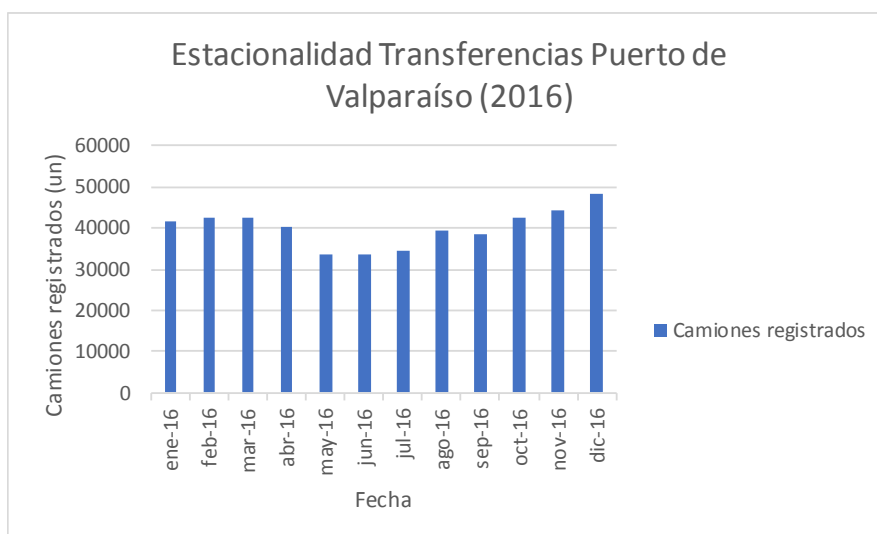
Tabla 3: Tabla de resumen de antecedentes y datos estadísticos año 2016.

Fuente: ZEAL

Como se muestra en el Tabla 4 a continuación, se puede apreciar un efecto de estacionalidad en la carga transferida a lo largo de un año calendario. Se muestra un alza de camiones entre las fechas ene 16 y abr 16. Y luego una nueva alza en ago 16 y dic 16. Alzas debidas a la temporada hortofrutícola y las fiestas de fin de año.

(Guzmán, 2016)

Gráfico 1: Estacionalidad de camiones registrados año 2016.

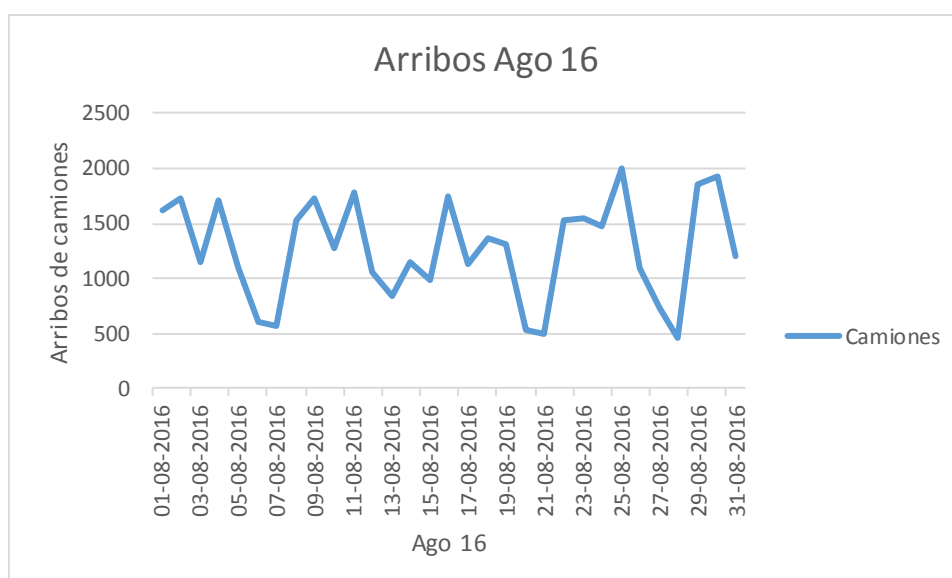


Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2 Datos agosto 16.

Mediante el Departamento de Operaciones de ZEAL, específicamente por el Jefe de Operaciones Sr. Patricio Guzmán, se logró acceder al sistema SILOGPORT para poder descargar un reporte detallado de camiones ingresados a ZEAL el mes de agosto 16. A continuación el gráfico muestra el comportamiento en detalle del mes de agosto 16.

Gráfico 2: Estacionalidad de camiones registrados agosto 16.

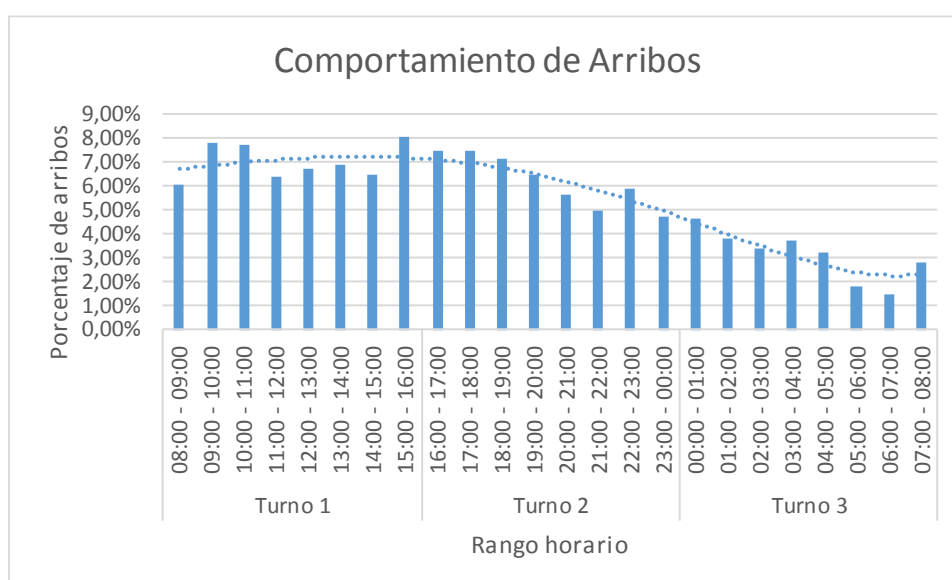


Fuente: Elaboración propia

Durante el mes de agosto 16, se registraron 29.463 camiones en los pórticos de ZEAL de esta estadística, se logra dilucidar un comportamiento cíclico con una frecuencia aproximada de 5 días. De este comportamiento será posible realizar algunas simplificaciones que se considerarn  más adelante.

La distribución de arribos para los camiones está dada por el siguiente gráfico a continuación, donde se muestra su distribución acorde al rango horario correspondiente.

Gráfico 3: Distribución de arribos año 2016.



Fuente: Elaboración propia.

La distribución de arribos para el año 2016, muestra que los mayores arribos se producen en el turno 1 y 2. Además es posible inferir que su comportamiento no es característico a ninguna distribución establecida.

### 5.2.3 Tiempo de traslado desde ZEAL hasta Puerto Valparaíso.

Este análisis corresponde a los tiempos promedios que tarda un camión en bajar desde las instalaciones de ZEAL hasta EPV y desde EPV hasta ZEAL, el tiempo de los camiones fue obtenido de un promedio elaborado por la plataforma SILOGPORT.

Por su parte el recorrido desde ZEAL a EPV y vice - versa fue realizado en un vehículo entregando los resultados que se muestran en la siguiente tabla

Tabla 4: Tiempos estimados entre trayectos.

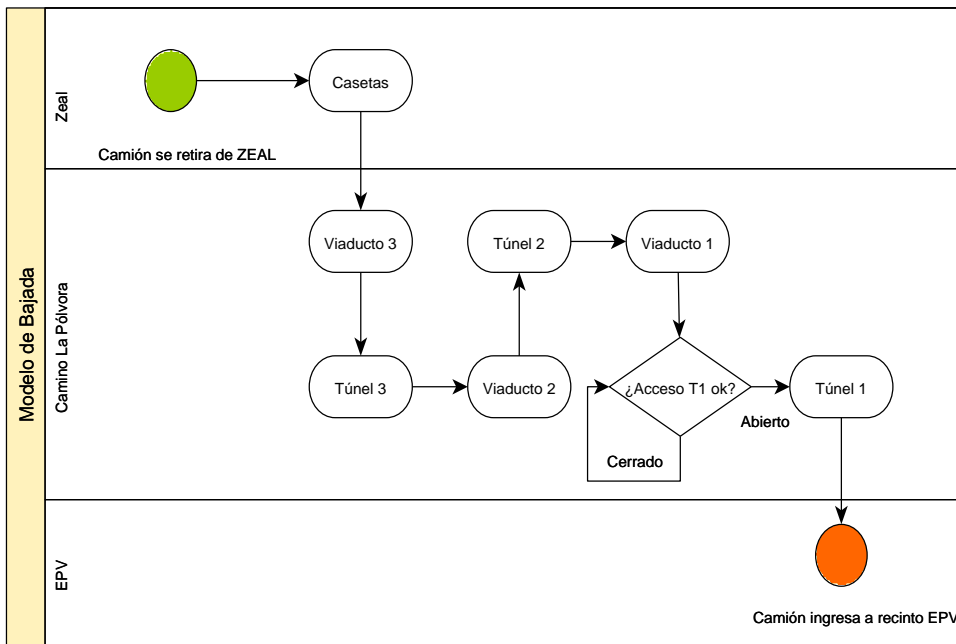
Trayecto	Camión Tiempo prom	Auto Tiempo medido
ZEAL – EPV	33 min	24 min
EPV – ZEAL	26 min	13 min

Fuente: Elaboración propia a base de información desde SILOGPORT y medición propia

### 5.3 Construcción de modelos conceptuales.

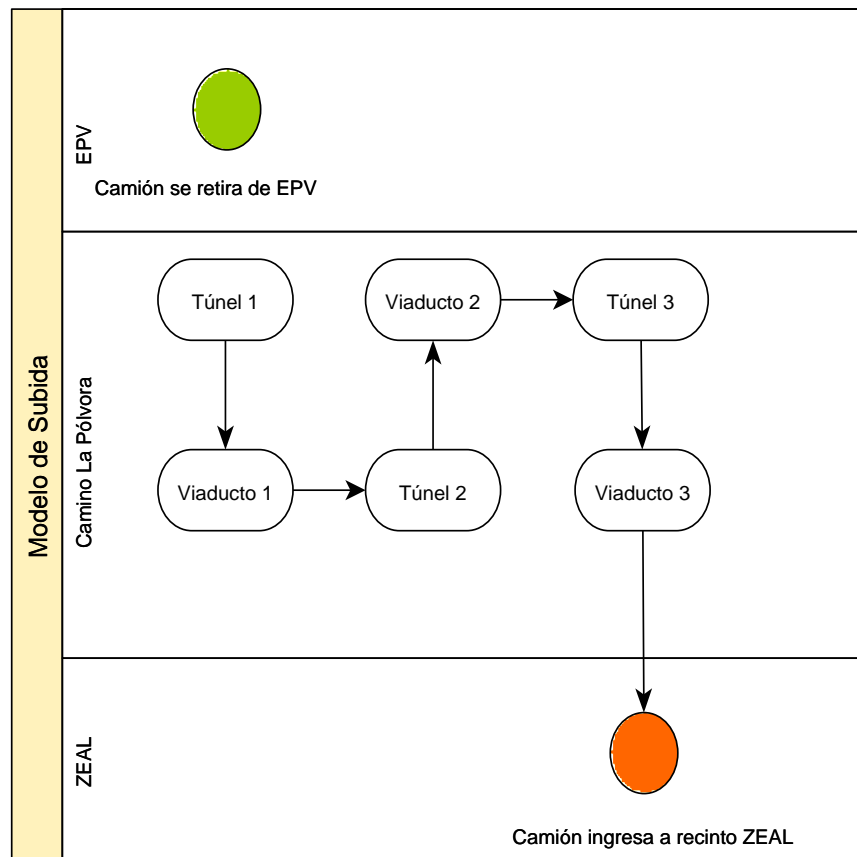
Con la información ya disponible, se crea un flujo conceptual que busca abstraer la realidad a un modelo. Por motivos de simplicidad, se representarán 2 flujos, uno para el trayecto de ida y otro para el trayecto de vuelta. Los siguientes flujos, muestran dichos modelos conceptuales.

Flujo 2: Flujo modelo conceptual ZEAL – EPV



Fuente: Elaboración propia.

Flujo 3: Flujo modelo conceptual EPV – ZEAL



Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4 Programación del Modelo.

Ya definido el sistema, identificado el problema, recopilado y analizado los datos e identificados los procesos más relevantes se procede a ingresar dicha información a la herramienta de simulación definida (PROMODEL).

Pero, con la finalidad de simplificar el problema, se optó por simular solamente el diagrama conceptual Flujo 2, la razón se debe a que es el trayecto de bajada el que representa problemas de atochamiento debido a la barrera que cierra el túnel una vez existan 20 vehículos de forma simultánea en el túnel, con dirección a los terminales portuarios. El motivo de esta restricción se debe a que una vez fuera del túnel, existen aproximadamente 250 metros antes de llegar al primer punto de control de ingreso al recinto portuario implicando en época de alta demanda atochamientos. El trayecto desde el recinto portuario hasta ZEAL, es ininterrumpido, puesto a que existen 10

kilómetros de trayecto desde la salida del túnel 1 hasta el recinto ZEAL, razón por la cual no presenta mayores problemas. Para generar la simulación, el flujo teórico descrito anteriormente debe ser transformado a lenguaje de PROMODEL.

#### 5.4.1 Diseño de Locaciones.

Para este modelo se han considerado como locaciones fijas del sistema las que se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 5: Locaciones consideradas en el modelo.

Locaciones					
Nombre	Capacidad	TM's	Estadística	Regla	Notas
Layout	1	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo	
ZEAL	INF	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo	
Pólvora_C3	INF	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO	
Pólvora_T3	INF	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO	
Pólvora_C2	INF	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO	
Pólvora_T2	INF	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO	
Pólvora_C1	INF	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO	
Caseta	1	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo	
Pólvora_T1	30	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO	
Acceso Terminales	1	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo	
Terminales	INF	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo	
Salida Vehículo Menor	INF	Ninguno	Series de Tiempo	Más Tiempo, FIFO	

1

Fuente: Elaboración propia

Para cada una de las locaciones de la tabla, se considera un ícono, un nombre de la locación, su capacidad, las unidades de la locación, los tiempos muertos, la estadística que arrojarán los resultados la regla de salida de cada locación y notas asociadas a cada locación.

La siguiente tabla, muestra las características físicas del Camino La Pólvora incorporadas al modelo.

---

<sup>1</sup> La sigla TM's corresponde al ítem Tiempos Muertos de las locaciones.

Tabla 6: Características físicas locaciones.

Locación	Longitud (m)	Pendiente (%)
Viaducto 1	1262	10.2
Viaducto 2	80	1.2
Viaducto 3	5030	7.7
Túnel 1	2180	2.2
Túnel 2	308	1.2
Túnel 3	437	1

Fuente: (Zañartu Consultores, 2003 y Google Earth)

Las pendientes de los tramos serán consideradas para adecuar la velocidad promedio de tránsito para los 3 tipos de vehículos. Las pendientes de los viaductos, han sido estimadas en función de la herramienta Google Earth. Para más información, visitar Anexo B.

#### 5.4.2 Consideración de entidades.

Las entidades correspondientes al modelo de simulación son las siguientes:

- Camiones con carga (Full)
- Camiones sin carga (Plano)
- Vehículos menores (Particulares)

La siguiente tabla muestra cómo se consideraron las entidades en el modelo.

Tabla 7: Entidades consideradas en el modelo.

Entidades			
Nombre	Velocidad (mpm)	Estadística	Notas
Camión Full	500	Serie de Tiempo	
Camión Plano	700	Serie de Tiempo	
Particular	1000	Serie de Tiempo	

Fuente: Elaboración propia

Y la siguiente tabla muestra las características físicas de las entidades.

Tabla 8: Características entidades ingresadas al modelo.

Entidades	Largo (m)	Ancho (m)	Velocidad Km /Hr
Camión Full	19,77	2,44	30
Camión Plano	7,44	2,44	42
Vehículo menor	4,36	1,99	60

Fuente: (www.Renault.cl, www.kaufmann.cl y ZEAL)<sup>2</sup>

Las medidas ingresadas a esta tabla corresponden al vehículo pesado FREIGHTLINER CASCADIA 113 6x2 52K DD13 450 Año 2018 (ya sea para camión plano y full). Y el vehículo menor un RENAULT SYMBOL Año 2018. Las velocidades expresadas en Km/Hr en el simulador deben ser expresadas en m/min. Dichas velocidades son en base a experiencia de funcionarios de ZEAL

#### 5.4.3 Formulación del proceso.

El proceso corresponde al seguimiento de los vehículos elaborado en los diagramas conceptuales. Para ello se deberá transformar el flujo conceptual a lenguaje comprendido por PROMODEL considerando las variables, tiempos y procesos en general.

La siguiente imagen muestra la distribución del proceso en PROMODEL.

---

<sup>2</sup> [https://www.cdn.renault.com/content/dam/Renault/CL/personal-cars/symbol/l46-symbol/l46-phase1/product-brochures/SYMBOL\\_2018.pdf](https://www.cdn.renault.com/content/dam/Renault/CL/personal-cars/symbol/l46-symbol/l46-phase1/product-brochures/SYMBOL_2018.pdf) (Julio 2018)

[http://www.kaufmann.cl/trucks/content/BROCHURE\\_NEW\\_CASCADIA\\_WEB.pdf](http://www.kaufmann.cl/trucks/content/BROCHURE_NEW_CASCADIA_WEB.pdf) (Julio 2018)

Tabla 9: Procesos considerados en el modelo.

Entidad...	Locación...	Operación...
Camión_Full	ZEAL	Wait (3) min
Camión_Full	Pólvora_C3	
Camión_Full	Pólvora_T3	
Camión_Full	Pólvora_C2	
Camión_Full	Pólvora_T2	
Camión_Full	Pólvora_C1	
Camión_Full	Caseta	
Camión_Full	Pólvora_T1	
Camión_Full	Acceso_terminales	Wait (3) min
Camión_Full	Terminales	
Camión_plano	ZEAL	Wait (1) min
Camión_plano	Pólvora_C3	
Camión_plano	Pólvora_T3	
Camión_plano	Pólvora_C2	
Camión_plano	Pólvora_T2	
Camión_plano	Pólvora_C1	
Camión_plano	Caseta	
Camión_plano	Pólvora_T1	
Camión_plano	Acceso_terminales	Wait (1) min
Camión_plano	Terminales	
Particular	Pólvora_C3	
Particular	Pólvora_T3	
Particular	Pólvora_C2	
Particular	Pólvora_T2	
Particular	Pólvora_C1	
Particular	Caseta	
Particular	Pólvora_T1	
Particular	Salida_vehículo_menor	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10: Enrutamiento considerado para cada proceso

Blk	Salida...	Destino...	Regla...	Lógica de Movimiento...
1	Camión_plano	Pólvora_C2	FIRST 1	

Fuente: Elaboración propia.

Para cada uno de los procesos, tiene que haber un enrutamiento. En el caso de las imágenes anteriores se ve el proceso y enrutamiento para la línea 13. El detalle de cada uno de los procesos y sus enrutamientos se puede observar en el Anexo A.

#### 5.4.4 Determinación de arribos.

Los arribos corresponderán a la forma de distribución de los ingresos de vehículos al sistema. Las siguientes tablas, muestran el comportamiento de arribos de camiones por rango horario durante todo el mes de agosto.

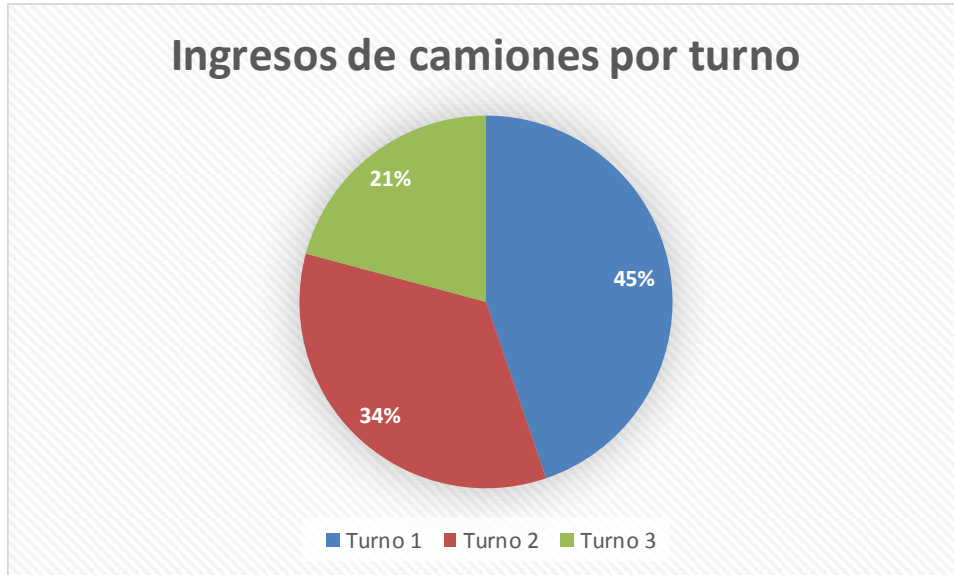
Tabla 11. Tabla de arribos por turnos agosto 2016.

Turno 3			Turno 1			Turno 2		
Rango Hora	Nro	% Relativo	Rango Hora	Nro.	% Relativo	Rango Hora	Nro	% Relativo
00:00 - 01:00	1.399	18,69%	08:00 - 09:00	1.823	10,83%	16:00 - 17:00	2.242	15,01%
01:00 - 02:00	1.141	15,24%	09:00 - 10:00	2.331	13,85%	17:00 - 18:00	2.253	15,08%
02:00 - 03:00	1.007	13,45%	10:00 - 11:00	2.323	13,81%	18:00 - 19:00	2.131	14,26%
03:00 - 04:00	1.125	15,03%	11:00 - 12:00	1.910	11,35%	19:00 - 20:00	1.949	13,04%
04:00 - 05:00	976	13,04%	12:00 - 13:00	2.022	12,02%	20:00 - 21:00	1.702	11,39%
05:00 - 06:00	544	7,27%	13:00 - 14:00	2.059	12,24%	21:00 - 22:00	1.480	9,91%
06:00 - 07:00	448	5,99%	14:00 - 15:00	1.931	11,48%	22:00 - 23:00	1.762	11,79%
07:00 - 08:00	845	11,29%	15:00 - 16:00	2.428	14,43%	23:00 - 00:00	1.422	9,52%
	7.485	100,00%		16.827	100,00%		14.941	100,00%

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla, puede obtenerse el siguiente gráfico de arribos de camiones por turno.

Gráfico 4: Tarta de distribución de arribos agosto 2016.



Fuente: Elaboración propia.

El mayor porcentaje de ingreso de camiones se produce en el turno 1: (entre las 08:00 – 16:00) Lo cual según la experiencia del personal de ZEAL es repetitivo en toda la temporada.

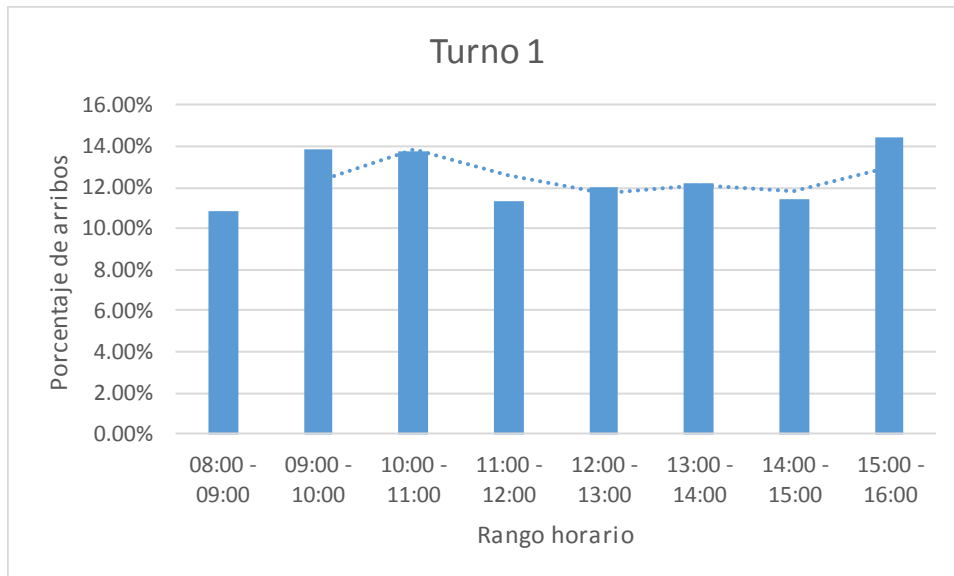
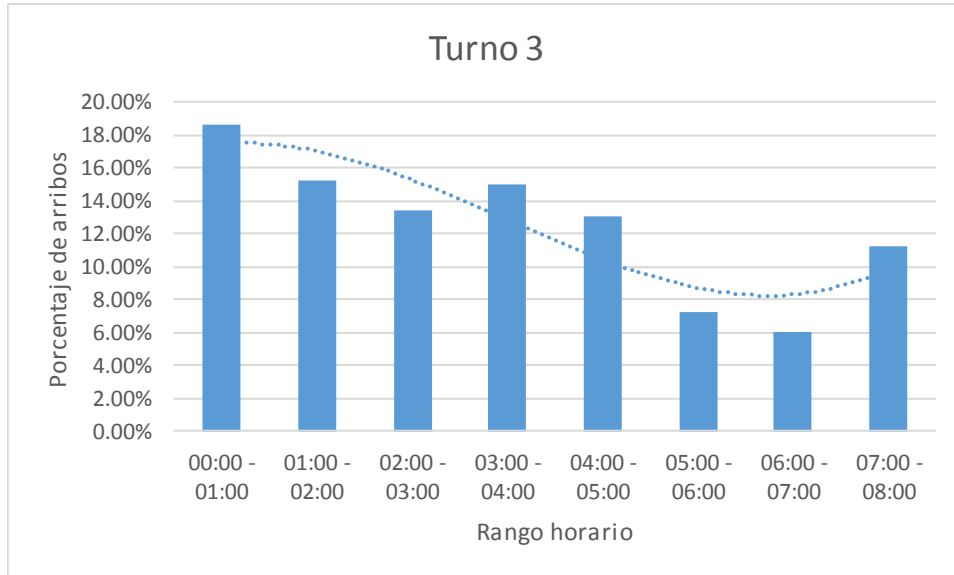
(Guzmán, entrevista acerca de ZEAL 2016)

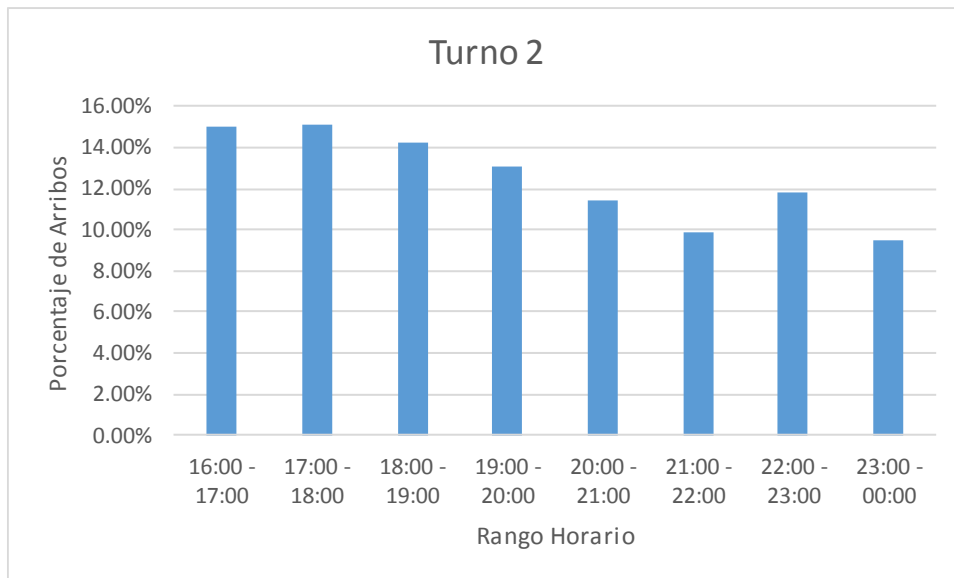
Esta información, no contempla específicamente a qué tipo de camión hace referencia (FULL o Plano) sin embargo se estima que la relación de camiones Full / Plano está en el rango de 0.95 a 1.05 (López, Entrevista acerca de procesos PROYCOM, 2016)

Razón por la cual se ha considerado trabajar con una relación Plano / Full = 1.00

Los arribos muestran que se dio la mayor cantidad de ellos en el turno 2, ellos se distribuyen tal como lo muestran los siguientes gráficos.

Gráfico 5. Gráficos distribución estadística de arribos por turnos.



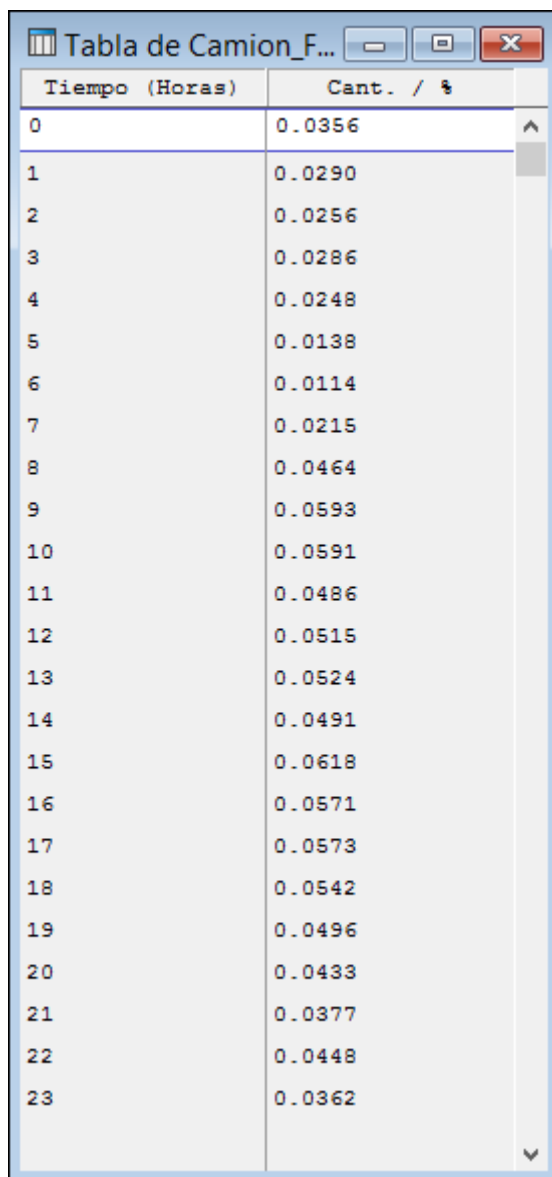


Fuente: Elaboración propia.

Con esta información, se generó un modelo con arribos definidos para simular la situación conocida y medida de agosto 2016.

La forma de ingresar los arribos al modelo se muestra en la siguiente Tabla

Tabla 12: Arribos considerados en el modelo.



Tiempo (Horas)	Cant. / %
0	0.0356
1	0.0290
2	0.0256
3	0.0286
4	0.0248
5	0.0138
6	0.0114
7	0.0215
8	0.0464
9	0.0593
10	0.0591
11	0.0486
12	0.0515
13	0.0524
14	0.0491
15	0.0618
16	0.0571
17	0.0573
18	0.0542
19	0.0496
20	0.0433
21	0.0377
22	0.0448
23	0.0362

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó los ingresos de los vehículos de acuerdo con una distribución personalizada. De esta forma se pretende minimizar el error debido a que los datos ingresados son los registrados históricamente. Los vehículos particulares, según Patricio Guzmán, se acercan al 30% del total de vehículos de carga (Guzmán, 2016) y se asumió una distribución igual a la de vehículos de carga ya que no se dispone de mayor detalle en los datos de vehículos particulares.

## 5.5 ¿Es el modelo Programado Válido?

Una vez determinado el problema y simulado, se debe validar cuán bien representa a la realidad dicho modelo. Por lo que se evaluará el comportamiento de los resultados comparativamente con datos ya existentes permitiendo así calibrar el modelo hasta encontrar una buena representación de la realidad.

Se optó por simular el mes de agosto 2016. Se introdujo la estadística de los arribos y se simuló. La siguiente tabla muestra el comportamiento de la realidad v/s los resultados que arrojó el modelo.

Tabla 13: Tabla de comparación validación del modelo (ZEAL – EPV).

Entidad	Tiempo medido	Tiempo simulación	% Error	Error Promedio
Camión Full	23 min	19,06 min	20,67%	17,36%
Camión Plano	23 min	19,52 min	17,83%	
Vehículo meno	21 min	18,49 min	13,57%	

Fuente: Elaboración propia

Los tiempos entregados por el modelo, tienen un grado de inexactitud, pero para efectos prácticos se considerarán como tiempos válidos ya que el error promedio ronda el 17%.

## 5.6 Diseño, Conducta y Análisis de los resultados.

Con el modelo ya validado y los análisis pertinentes, se realizan análisis de sensibilidad para proyectar la nueva situación que contempla el doble de carga para alcanzar los 2 MM de TEU's transferidos. Para ello, se considerará el mes de mayor demanda histórica de transferencias (diciembre, ver tabla 4) y se generarán 3 escenarios donde se aplicarán los siguientes factores de carga.

- Factor de carga x1.5
- Factor de carga x2.0
- Factor de carga x2.2

Los resultados se presentan a continuación.

### 5.6.1 Factor de Carga x 1.5

Al aumentar en 1.5 veces las transferencias del Puerto de Valparaíso, inicialmente el escenario queda así.

Tabla 14: Condiciones escenario x 1.5

x1,5	
Entidades	Unidades
Camión Plano	36.248
Camión Full	36.248
Particulares	21.749

Fuente: Elaboración propia.

Bajo el supuesto de aumentar la carga de diciembre con un factor 1.5, los resultados son los siguientes.

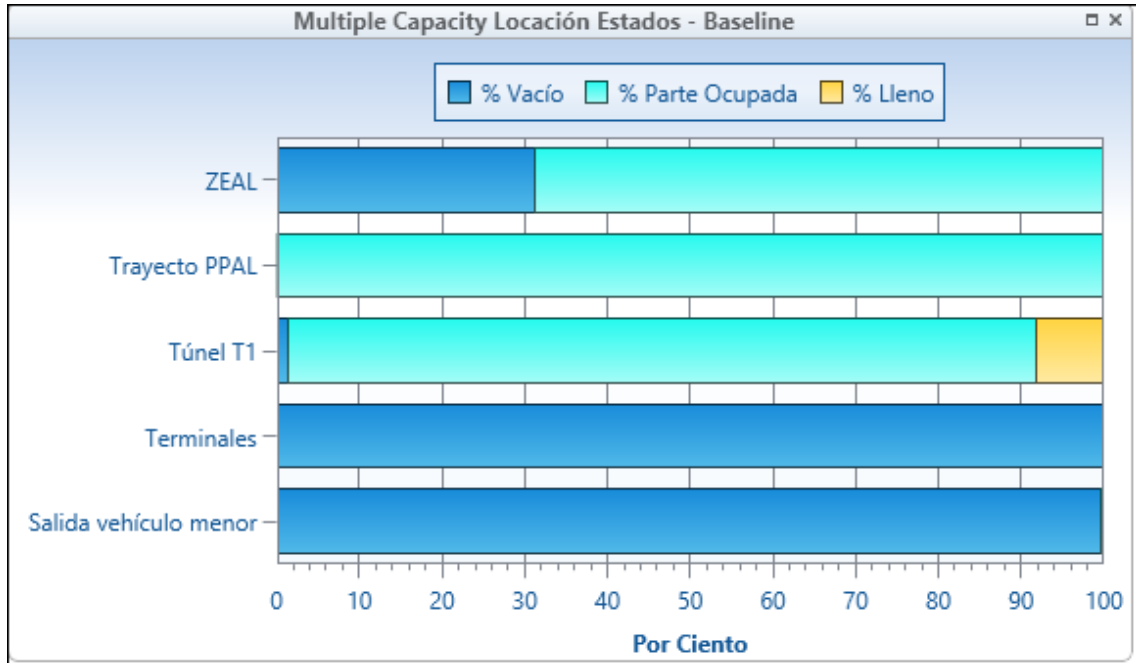
Tabla 15: Tiempos promedio de traslado.

Tiempos Promedios x1,5	
Entidades	Tiempo (min)
Camión Plano	22,17
Camión Full	20,60
Particulares	16,25

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los bloqueos del túnel, su comportamiento fue como muestran el Gráfico 6 y la Tabla 17

Gráfico 6: Comportamiento de las principales locaciones.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Tabla de resultados simulación.

Factor de Carga x1,5			
Locación	Duración (días)	% Vacío	% Lleno
ZEAL	28,76	31,17	0,00
Trayecto PPAL	28,76	0,02	0,00
Túnel T1	28,76	1,31	8,19
Terminales	28,76	100,00	0,00
Salida vehículo menor	28,76	99,75	0,00

Fuente: Elaboración propia.

### 5.6.2 Factor de Carga x 2.0

Bajo el supuesto que la capacidad de carga del mes con mayor transferencia de carga (diciembre) aumenta con un factor 2.0, los resultados se muestran a continuación.

La siguiente tabla, muestra la configuración de este escenario.

*Tabla 17: Configuración de escenario x 2,0.*

Entidades	Unidades
Camión Plano	48.330
Camión Full	48.330
Particulares	28.998

Fuente: Elaboración Propia

Una vez simulado el proceso, la herramienta entregó los siguientes resultados considerados en la siguiente tabla.

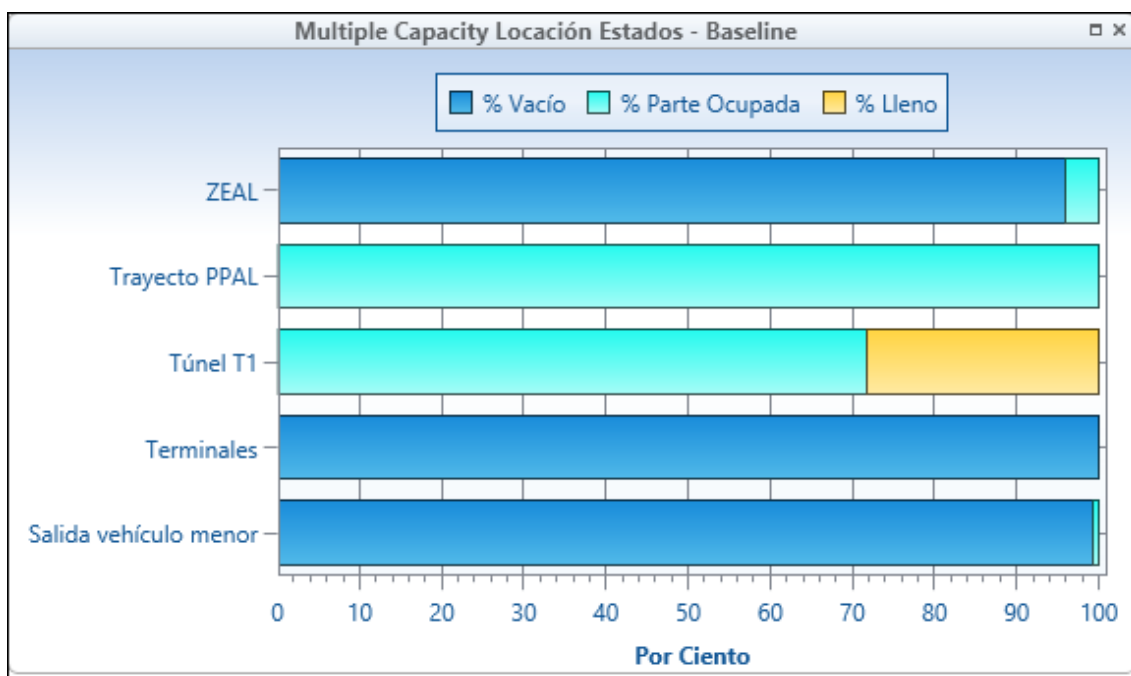
*Tabla 18: Tiempos de trayecto entre ZEAL y terminales escenario x 2,0*

Tiempos Promedios	
Entidad	Tiempo (min)
Camión Plano	54,14
Camión Full	52,28
Particulares	51,12

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los bloqueos del túnel, éste se comportó de la siguiente manera (Gráfico 7 y Tabla 20)

Gráfico 7: Comportamiento de las principales locaciones.



Fuente: Elaboración propia a Base de PROMODEL.

Tabla 19: Tabla de resultados simulación.

Factor de carga x2,0			
Locación	Duración (Días)	% Vacío	% Lleno
ZEAL	28,75	95,90	0,00
Trayecto PPAL	28,75	0,01	0,00
Túnel T1	28,75	7,00	28,34
Terminales	28,75	100,00	0,00
Salida Vehículo menor		99,20	7,60

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran un porcentaje de 95.9% de inactividad para la Locación ZEAL, ello se debe a que ZEAL posee capacidad infinita y sus pórticos de salida son suficientes para el despacho de camiones. Por su parte el trayecto principal, el 99.9% del tiempo tiene al menos 1 vehículo en ruta, por su parte el túnel tiene un bloqueo de 28.34% del tiempo, equivalente a 195 horas del total del mes.

### 5.6.3 Factor de Carga x 2.2

El escenario de aumento de carga en un 2.2 se compone como se muestra la siguiente tabla.

*Tabla 20: Escenario con carga aumentada 2.2 veces.*

x 2,2	
Entidades	Unidades
Camión Plano	53.163
Camión Full	53.163
Particulares	31.898

Fuente: Elaboración Propia

Simulado el proceso, PROMODEL entregó los resultados indicados en la tabla 22.

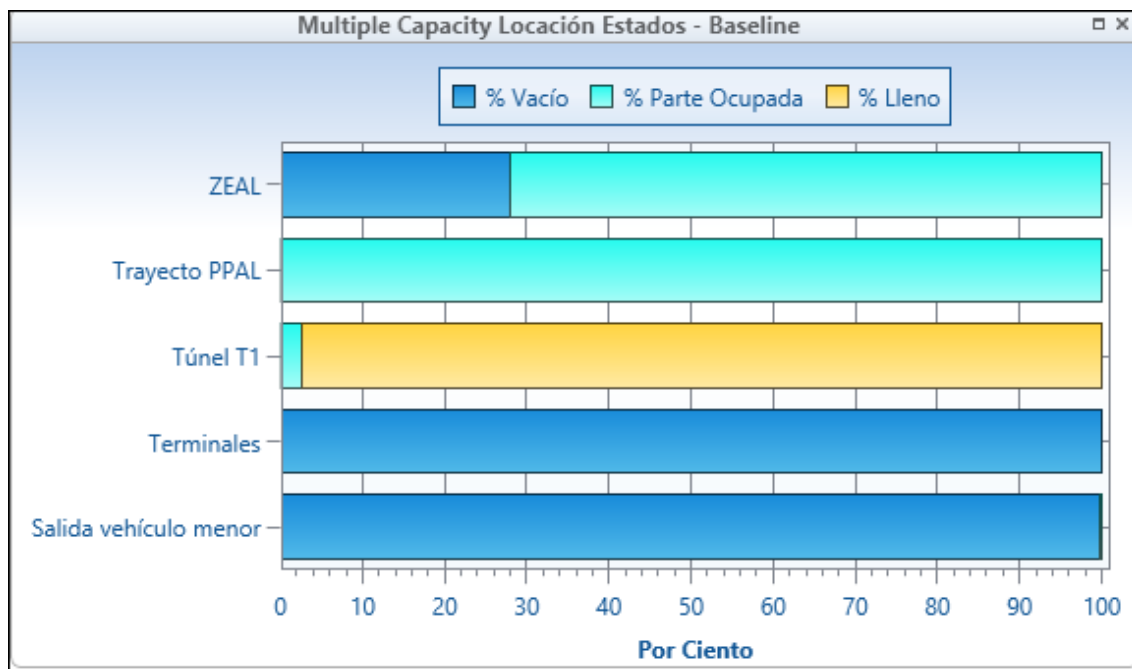
*Tabla 21. Resultados en tiempos promedio escenario x2.2*

Tiempos Promedios x2,2	
Entidades	Tiempo (min)
Camión Plano	117,19
Camión Full	115,72
Particulares	94,58

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento del túnel viene dado por Gráfico 8 y Tabla 23.

Gráfico 8: Comportamiento de las principales locaciones.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22: Tabla de resultados simulación.

Factor de carga x2,2			
Locación	Duración (Días)	% Vacío	% Lleno
Zeal	28,75	28,04	0,00
Trayecto PPAL	28,75	0,02	0,00
Túnel T1	28,75	0,06	97,31
Terminales	28,75	100,00	0,00
Salida vehículo menor	28,75	99,62	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Para este escenario se puede observar que la capacidad de la ruta se ve ampliamente superada. Llegando a un porcentaje de bloqueo en el túnel de 97%. Ello explica los altos tiempos resultantes en la tabla 22. Por su parte ZEAL presenta un alto porcentaje de ocupación, ello porque las casetas no son suficiente para despachar todos los camiones que el sistema posee.

## **5.7 Documentar y Presentar Los Resultados de la Simulación.**

El cuerpo de este trabajo presenta los resultados de la Simulación y recomendaciones a considerar en el estudio.

## **6 Conclusiones y Recomendaciones.**

- 1- La ruta desde EPV a ZEAL no muestra mayores complicaciones, no hay restricciones para el ingreso al túnel. Las demoras en esta ruta vienen dadas únicamente por la salida de las instalaciones portuarias y el acceso a ZEAL.
- 2- Para la ruta desde ZEAL hasta las instalaciones portuarias, el túnel T1 posee una máxima capacidad de hasta 20 vehículos al interior del túnel de forma simultánea (razones de seguridad por emisiones de gases contaminantes). Esta es la principal razón por la cual se producen los episodios de alta congestión y demoras en el acceso a terminales.
- 3- En el escenario x 1.5, no se observan episodios de bloqueos significativos en el Túnel T1, los tiempos son más bien similares a los del modelo de validación, por lo cual ante un aumento del 50% de la carga transferida por el Puerto Valparaíso, la ruta debe soportar de buena forma éste aumento.
- 4- En escenario x 2.0 se observan bloqueos considerables, sin embargo, el tiempo promedio de arribo a los terminales desde ZEAL crece un 100%. Si bien es un tiempo considerable, actualmente en episodios de alta demanda se producen tiempos del orden de 45 - 50 minutos, los que siguen siendo tiempos aceptables bajo parámetros impuestos por ZEAL. Sin embargo, se debe pensar en formas para disminuir dichos lapsos.
- 5- En el escenario x 2.2 se ha sobrecargado en un 10% el supuesto de duplicar la capacidad de transferencia y éste muestra resultados de tiempos aproximados de 120 minutos, bloqueos en el túnel de alrededor del 95% del tiempo, en

resumen, una operatividad muy baja de la ruta debido a que, con este nivel de carga, la ruta ha sobrepasado su máxima capacidad.

- 6- Debido a parámetros propios de ZEAL, se considera al factor de carga x2.0 como la máxima tasa de camiones capaz de aceptar la ruta. Si bien la ruta no funciona de forma óptima, es capaz de llevar a cabo su función con tiempos aceptables.
- 7- Se recomiendan diseñar alternativas ante el aumento de la carga transferida por el Puerto Valparaíso, si bien los tiempos del modelo pueden ser aceptables, en episodios de accidentes (No considerados por el modelo) pueden existir fallas en el modelo logístico.
- 8- Hay que considerar que el supuesto de duplicar la carga transferida por el Puerto de Valparaíso no tendrá una inmediatez. Será un proceso de aumento de la carga en función del tiempo. Ello da tiempo suficiente para tomar medidas en la ruta.
- 9- Los accidentes de tránsito, caídas del sistema SILOGPORT, huelgas, fenómenos extraordinarios que derivan mayores o menores niveles de carga al Puerto de Valparaíso no están considerados en el modelo, sin embargo, este modelo contribuye a la precepción de estos escenarios. Siempre y cuando se disponga de los datos necesarios.

## 7 Bibliografía

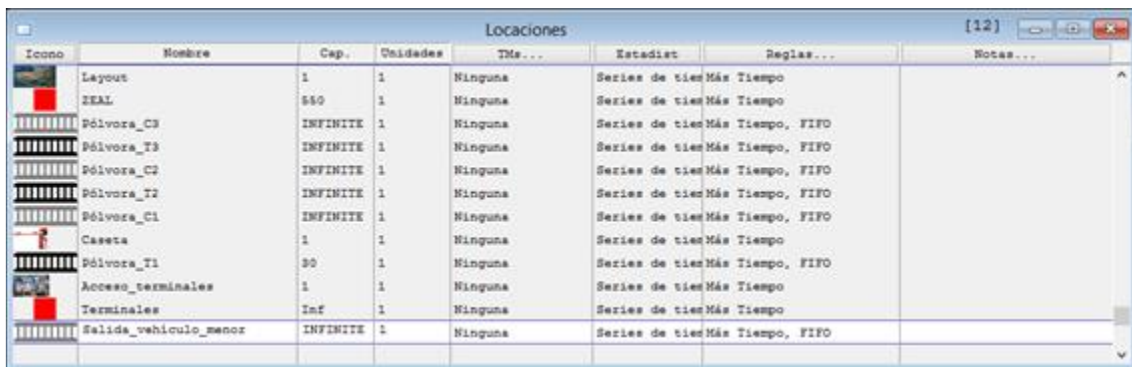
- Alva, A. (1997). *Formulación del Problema*.
- Álvarez, M. (11 de Diciembre de 2006). La mega obra de Valparaíso. *El Mercurio de Valparaíso*.
- Averill, L., & McComas. (2009).
- Bunge, M. (1999). *Diccionario de filosofía*.
- García, J. S. (2015). *Aplicando Teoría de Colas en Dirección de Operaciones*.
- Guzmán, P. (Septiembre de 2016). Entrevista acerca de ZEAL S.A. (F. Ponce, Entrevistador)
- López, L. (Septiembre de 2016). Entrevista procesos PROYCOM. (F. Ponce, Entrevistador)
- Puerto Valparaíso. (2017). *Puerto Valparaíso*. Obtenido de Puerto Valparaíso: <https://www.puertovalparaiso.cl/puerto/estadisticas>
- Shannon, R., & Johannes, J. (1976). IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics . *IEEE Systems, Man and Cybernetics Society*, 723 - 724.
- Tapia, C. A. (s.f.). *Sistemas, Modelos y Simulación*. Buenos Aires.
- TCVAL. (2017). *TCVAL.cl*. Obtenido de <http://www.tcval.cl/el-proyecto/nuevo-terminal-2/>
- TCVAL. (04 de 12 de 2018). [http://www.tcval.cl/media/762405/proyecto\\_3.pdf](http://www.tcval.cl/media/762405/proyecto_3.pdf). Obtenido de [http://www.tcval.cl/media/762405/proyecto\\_3.pdf](http://www.tcval.cl/media/762405/proyecto_3.pdf)
- Zañartu Consultores. (2003). *Zañartu consultores*. Obtenido de [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/CI44B/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=125200](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/CI44B/1/material_docente/bajar?id_material=125200).
- ZEAL. S.A. (Diciembre de 2016). Obtenido de [www.zeal.cl](http://www.zeal.cl): [www.zeal.cl/ZAO](http://www.zeal.cl/ZAO)













## 8 Anexos.

### 8.1 Anexo A: Tablas originales del modelo.

Por motivos de facilitar la lectura de las tablas propias de la herramienta de simulación, en el cuerpo del informe se presentaron tablas reconstruidas para mejorar la visualización. Las tablas originales se muestran a continuación.

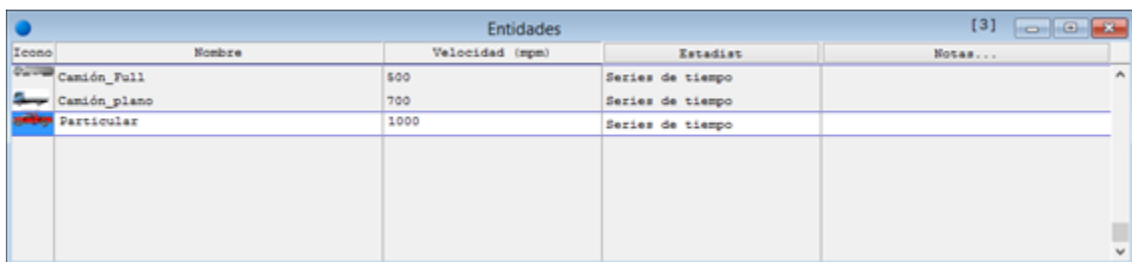
#### 8.1.1 Locaciones Consideradas en el modelo.






Icono	Nombre	Cap.	Cuidades	TMe...	Estadist	Reglas...	Notas...
	Layout	1	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo		
	ZEAL	550	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo		
	Pólvora_C3	INFINITE	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo, FIFO		
	Pólvora_T3	INFINITE	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo, FIFO		
	Pólvora_C2	INFINITE	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo, FIFO		
	Pólvora_T2	INFINITE	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo, FIFO		
	Pólvora_C1	INFINITE	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo, FIFO		
	Caseta	1	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo		
	Pólvora_T1	90	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo, FIFO		
	Acceso terminales	1	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo		
	Terminales	Inf	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo		
	Salida vehículo menor	INFINITE	1	Ninguna	Serie de ties Más Tiempo, FIFO		

Fuente: Elaboración Propia

#### 8.1.2 Entidades consideradas en el modelo.



Icono	Nombre	Velocidad (mpm)	Estadist	Notas...
	Camión Full	500	Serie de tiempo	
	Camión plano	700	Serie de tiempo	
	Particular	1000	Serie de tiempo	

Fuente: Elaboración Propia

## 8.2 Anexo B Herramientas de cálculo de pendiente.

Mediante Google Earth, se realizó el cálculo de la pendiente del camino en sus tramos donde la información no estaba disponible.

### 8.2.1 Viaducto 1. Pendiente promedio 10,2%



Fuente: Elaboración Propia a base de Google Earth

### 8.2.2 Viaducto 3 Pendiente promedio 7,7%



Fuente: Elaboración Propia a base de Google Earth