

Diseño y validación de bocas de carga en almacén de empresa del rubro congelados

Matias Axel Vigano
Tamara Nieto Duben

2

3

4

5

Trabajo Final de la Carrera Ingeniería Industrial
Departamento de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Mar del Plata
Mar del Plata, octubre de 2020



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Universidad Nacional de Mar del Plata
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial

Trabajo Final:
**“Diseño y validación de bocas de carga en
almacén de empresa del rubro congelados”**

Matias Axel Vigano
Tamara Nieto Duben

EVALUADORES:

Dr. Ing. Adolfo Eduardo Onaine

Mg. Ing. Claudia Noemí Zarate

DIRECTOR:

Esp. Ing. José Ignacio Nicolao García

CODIRECTORA:

Esp. Ing. Alejandra María Esteban

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestro agradecimiento a la Facultad de Ingeniería y Universidad Nacional de Mar del Plata, por brindarnos una educación de carácter público y de alta calidad.

A todos los profesores, en particular a quienes forman parte del Departamento de Ingeniería Industrial, que han sido esenciales en nuestro proceso de aprendizaje y nos permitieron crecer tanto en lo académico como en lo humano.

Agradecer a nuestros directores de Trabajo Final, Ignacio Nicolao García y Alejandra Esteban, por el compromiso, la predisposición y la dedicación a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

En especial, a nuestras familias y amigos quienes fueron nuestros pilares de motivación para sortear cada obstáculo que se nos interpuso en el camino y nos brindaron todo su apoyo para alcanzar nuestras metas.

Tamara y Matias

“La educación es el arma más poderosa que puedes utilizar para cambiar el mundo”

Nelson Mandela

Índice General

Índice General.....	iv
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tablas.....	vii
Resumen.....	ix
Palabras Clave.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción de la problemática.....	1
1.2 Definición de objetivos.....	2
1.3 Ordenamiento del informe.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Logística.....	4
2.1.1 Introducción a la logística.....	4
2.1.2 Distribución.....	6
2.1.3 Configuración del proceso de expedición.....	7
2.1.4 Bocas de carga.....	9
2.2 Cálculo de número de bocas.....	10
2.2.1 Test de bondad de ajuste.....	10
2.2.1.1 Test Chi-Cuadrado.....	11
2.2.2 Teorema Central del Límite y Distribución Normal.....	12
2.3 Teoría de colas.....	13
2.4 Simulación.....	14
2.4.1 Introducción a la simulación.....	14
2.4.2 Metodología de simulación.....	16
2.4.3 <i>FlexSim</i>	18
3. DESARROLLO.....	21
3.1 Relevamiento.....	21
3.1.1 Descripción de la empresa.....	21
3.1.2 Características del proceso.....	21

3.1.3	Tipos de vehículos	22
3.2	Descripción de datos	23
3.3	Análisis de distribuciones de entrada.....	23
3.4	Determinación del número de bocas	25
3.4.1	Tiempo de ocupación de boca	25
3.4.2	Cálculo del número de bocas.....	26
3.5	Modelo base.....	28
3.5.1	Construcción del modelo base	28
3.5.2	Validación del diseño por simulación.....	32
3.6	Análisis de configuraciones	34
3.6.1	Nivel de servicio y nivel de eficiencia	34
3.6.2	Configuración 1.....	35
3.6.3	Configuración 2.....	40
3.7	Análisis de escenarios	46
3.7.1	Escenario 1	47
3.7.2	Escenario 2.....	52
3.7.3	Escenario 3.....	55
3.7.4	Escenario 4.....	57
3.7.5	Escenario 5.....	61
3.8	Análisis de resultados.....	65
4.	CONCLUSIONES.....	73
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	75
6.	ANEXO.....	77

Índice de Figuras

Figura 1: Función de densidad de probabilidad normal.	12
Figura 2: Metodología de Simulación.	16
Figura 3: Modelo básico en <i>FlexSim</i>	20
Figura 4: Histograma de cargas U y polígono de frecuencias de la mejor distribución.	24
Figura 5: Modelo base en <i>FlexSim</i> . Bocas 1, 2 y 3 para camiones.....	29
Figura 6: Modelo base en <i>FlexSim</i> . Bocas 4 y 5 para utilitarios.....	30
Figura 7: Asignación de distribución exponencial en <i>Source</i>	31
Figura 8: Cantidad promedio de vehículos discriminados por tipo y turno. Modelo base.	33
Figura 9: Nivel de servicio para camiones en turno mañana según límite de espera. C1. ...	35
Figura 10: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. C1	35
Figura 11: Tasas de ocupación por boca y turno. Configuración 1.	38
Figura 12: Nivel de servicio para camiones en turno mañana según límite de espera. C2 ...	41
Figura 13: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. C2.	41
Figura 14: Nivel de servicio para utilitarios en turno mañana según límite de espera. C2.....	42
Figura 15: Tasas de ocupación por boca y turno. Configuración 2.	45
Figura 16: Composición de la demanda de pedidos por tipo de vehículo.	61

Índice de Tablas

Tabla 1: Características de los tipos de vehículos.....	22
Tabla 2: Formato de los datos.....	23
Tabla 3: Parámetros correspondientes a la distribución normal.....	25
Tabla 4: Tiempos de ocupación de boca por carga.	25
Tabla 5: Tiempo diario requerido para cargas.	26
Tabla 6: Cálculo de requerimiento teórico de bocas por turno.	27
Tabla 7: <i>Time Tables</i> utilizadas en el modelo base.....	32
Tabla 8: Error porcentual de la cantidad promedio de vehículos respecto de la media.....	33
Tabla 9: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. C1.....	36
Tabla 10: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. C1.	37
Tabla 11: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. C1.	37
Tabla 12: Resultados Configuración 1.....	39
Tabla 13: Cantidad promedio de vehículos y error porcentual respecto de la media. C2.....	40
Tabla 14: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. C2.....	42
Tabla 15: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. C2.	43
Tabla 16: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. C2.	44
Tabla 17: Resultados Configuración 2.....	46
Tabla 18: Composición de arribos por turno para camiones y utilitarios. Escenario 1.....	47
Tabla 19: Resultados Escenario 1.1.....	48
Tabla 20: Resultados Escenario 1.2.....	49
Tabla 21: Resultados Escenario 1.3.....	49
Tabla 22: Resultados Escenario 1.4.....	50
Tabla 23: Resultados Escenario 1.5.....	51
Tabla 24: Resultados Escenario 1.6.....	52
Tabla 25: Tiempos de ocupación de boca por carga. Escenario 2.1.....	53
Tabla 26: Resultados Escenario 2.1.....	53
Tabla 27: Tiempos de ocupación de boca por carga. Escenario 2.2.....	54
Tabla 28: Resultados Escenario 2.2.....	54
Tabla 29: Cantidades promedio de pallets según tipo de camión y relaciones de carga.....	55
Tabla 30: Cantidad promedio de arribos para Escenario 3.....	56
Tabla 31: Resultados Escenario 3.....	56
Tabla 32: Horario de mantenimiento para camiones y utilitarios. Escenario 4.....	57
Tabla 33: Resultados Escenario 4.1.....	58
Tabla 34: Resultados Escenario 4.2.....	58
Tabla 35: Resultados Escenario 4.3.....	59
Tabla 36: Resultados Escenario 4.4.....	59

Tabla 37: Resultados Escenario 4.5.....	60
Tabla 38: Resultados Escenario 4.6.....	60
Tabla 39: Cantidad promedio de arribos para Escenario 5.1.....	61
Tabla 40: Resultados Escenario 5.1.....	62
Tabla 41: Cantidad promedio de arribos para Escenario 5.2.....	63
Tabla 42: Resultados Escenario 5.2.....	63
Tabla 43: Cantidad promedio de arribos para Escenario 5.3.....	64
Tabla 44: Resultados Escenario 5.3.....	64
Tabla 45: Resultados Configuración 1 y Escenario 1, camiones.....	65
Tabla 46: Resultados Configuración 1 y Escenario 1, utilitarios.....	66
Tabla 47: Resultados Configuración 1 y Escenario 2.....	67
Tabla 48: Resultados Configuración 1 y Escenario 3.....	68
Tabla 49: Resultados Configuración 1 y Escenario 4, camiones.....	69
Tabla 50: Resultados Configuración 1 y Escenario 4, utilitarios.....	70
Tabla 51: Cantidades promedio para Configuración 1 y Escenario 5.....	71
Tabla 52: Resultados Configuración 1 y Escenario 5.....	71

Resumen

Ante el crecimiento del mercado mundial, ha aumentado el tamaño y la complejidad de las operaciones logísticas, cuya actividad deriva en una serie de ventajas competitivas que las empresas pueden desarrollar e implementar para destacarse. Dentro de los aspectos cubiertos por la logística, la distribución es uno de los más importantes a llevar a cabo, ya que influye directamente en el nivel de servicio que se brinda a los clientes. Las bocas de carga desempeñan una función indispensable en el sistema de logística, ya que comunican los almacenes con los vehículos destinados a recoger los pedidos, por ende, deben funcionar de manera eficiente y eficaz. El presente trabajo consiste en determinar la cantidad de bocas de carga para el almacén de una empresa del rubro congelados. Para ello, se deben analizar los tipos de vehículos involucrados y las distribuciones de arribos tanto durante la jornada laboral como en el transcurso de los días. Luego, se calcula de forma teórica el número de bocas y se desarrolla un modelo que represente al sistema, con el objetivo de validar dicho modelo a través de la simulación mediante el software *FlexSim*. Una vez validado, se proponen distintas configuraciones y se evalúa cuál de ellas presenta indicadores más favorables. A la configuración seleccionada, se la somete a un análisis de escenarios para determinar los efectos que sufre el sistema ante los cambios, tales como la modificación en la composición de los arribos por turno, la variación en los tiempos de proceso, la avería de una boca en diferentes momentos del día, o bien, el incremento de los pedidos. Para concluir el trabajo, se propone realizar 3 bocas para camiones, implementando niveladores, y 2 bocas para utilitarios, con carga al nivel del suelo, garantizando un eficiente nivel de servicio al cliente.

Palabras Clave

Bocas de carga, Simulación, *FlexSim*, Análisis de Escenarios, Validación.

1. INTRODUCCIÓN

En el pasado, poco se escuchaba hablar del concepto de logística, pero con el tiempo ha tomado fuerza. Ante el crecimiento del mercado mundial, se ha expandido el tamaño y la complejidad de las operaciones logísticas. Las empresas se han dado cuenta de que es una actividad, a partir de la cual se han derivado una serie de ventajas competitivas que pueden desarrollar e implementar para sobresalir y ser mejor que sus competidores.

La logística está compuesta por la planificación, organización, dirección y control de todas las actividades relacionadas con el procesamiento de pedidos, el inventario, el transporte, el almacenamiento, manejo de materiales y empaçado, y la red de distribución. La integración de estas áreas funcionales crea las capacidades necesarias para lograr el valor logístico y los objetivos deseados de tiempo, lugar y posesión al costo más bajo posible.

Dentro de los aspectos cubiertos por la logística, la distribución de los productos terminados es uno de los más importantes a llevar a cabo, ya que la misma influye directamente en el nivel de servicio que la empresa brinda a los clientes. Para realizar el proceso de distribución, es necesario planificar la carga de los productos terminados en los medios de transporte adecuados, utilizando equipos específicos y respetando las políticas de seguridad (Bowersox *et al.*, 2007).

Las bocas de carga, también conocidas como muelles, andenes o, en inglés, *docks*, desempeñan una función indispensable en la infraestructura del sistema de logística, ya que son los encargados de la comunicación entre el almacén de productos terminados y los vehículos destinados a recoger los pedidos. Dado que uno de los objetivos de la logística apunta a la reducción de los costos, es indispensable que los andenes de carga funcionen de manera eficiente y eficaz, cumpliendo con las políticas de calidad y seguridad (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2016).

1.1 Descripción de la problemática

El presente trabajo se centra en la necesidad de diseñar los muelles de carga por donde se van a retirar los productos terminados del almacén de una empresa del rubro congelados. En este caso, no se trata de un diseño desde el punto de vista arquitectónico, sino de un diseño en cuanto a las cantidades y los diferentes tipos de bocas de carga, que logren garantizar un óptimo nivel de servicio al cliente. Para ello, se deben analizar los distintos tipos de vehículos con los que trabaja la empresa en cuestión, los tiempos de maniobra, los tiempos de carga, la demanda de pedidos, la cual determina la cantidad de

vehículos que ingresan diariamente y, además, la distribución de los arribos para cada tipo de vehículo.

La importancia de una correcta determinación de la cantidad de muelles radica en lograr atender a toda la demanda, manteniendo un alto nivel de servicio, donde no haya largas colas de espera, donde la tasa de ocupación de las bocas sea óptima, y por supuesto, lograrlo con la mínima cantidad de andenes de carga posibles.

Cabe destacar que la empresa busca asegurar un nivel de servicio de 90% o mayor, para lo cual se requiere que los clientes esperen para ser atendidos el menor tiempo posible. Además, se busca lograr un nivel de eficiencia de la instalación óptimo, donde se requiere que la tasa de ocupación de las bocas se encuentre entre 85% y 95%. Dicho rango tiene como objetivo mantener una instalación con baja capacidad ociosa, y un margen ante posibles eventualidades y variaciones en la actividad cotidiana del almacén.

1.2 Definición de objetivos

Objetivo general:

Determinar la cantidad y el tipo de bocas de carga necesarias para garantizar un eficiente nivel de servicio al cliente.

Objetivos específicos:

- Determinar la distribución de los arribos según el tipo de vehículos.
- Calcular el número de andenes de carga necesarios en función a la demanda.
- Simular y validar un modelo que represente el sistema bajo estudio, a través del software *FlexSim*¹.
- Plantear diferentes configuraciones para identificar con qué cantidad de bocas se satisface la demanda, en función al nivel de servicio y nivel de eficiencia de la instalación.
- Analizar el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios que afecten el normal funcionamiento de la configuración seleccionada.
- Realizar una propuesta a partir del análisis de los resultados de los distintos escenarios planteados.

1.3 Ordenamiento del informe

Con el objetivo de facilitar la comprensión del lector, el presente trabajo ha sido estructurado en las siguientes secciones:

- Introducción

¹ *FlexSim* ®: Marca Registrada de *FlexSim Software Products, Inc.*

- Marco teórico
- Desarrollo
- Conclusiones
- Bibliografía
- Anexo

En la introducción, se presenta la importancia de la problemática a abordar y se definen los objetivos, tanto generales como específicos.

En el marco teórico, se desarrollan los fundamentos y los conceptos bibliográficos implementados a lo largo de todo el trabajo, los cuales son una base sustentable para llevar a cabo los objetivos.

Por otro lado, el desarrollo presenta la manera en que se realiza el trabajo. En esta etapa se muestran los lineamientos seguidos para desarrollar el trabajo, tales como el análisis de los datos iniciales, los cálculos realizados, el proceso de simulación y el análisis de resultados para distintos escenarios.

La etapa de conclusiones resume las ideas principales planteadas en el trabajo, y brinda un cierre general, donde se comparan los resultados obtenidos con la problemática planteada a priori.

Por último, el anexo complementa temas del desarrollo con información y/o procedimientos que no son esenciales para el mismo.

2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico constituye la base donde se sustentan los análisis realizados, la interpretación de resultados y, finalmente, la formulación de conclusiones.

En primer lugar, se introduce a la logística como factor clave para que cualquier empresa obtenga una ventaja competitiva. Dentro de la logística, se focaliza sobre el proceso de expedición y las bocas de carga, ya que estos conceptos resultan fundamentales para la comprensión de la problemática propuesta.

Luego, se muestran herramientas implementadas en el cálculo del número de bocas, tales como el test de bondad de ajuste y la Teoría Central del Límite.

Otra temática central es la teoría de colas, que permite analizar los resultados obtenidos mediante indicadores de desempeño que facilitan la toma de decisiones.

Por último, se introduce a la simulación, así como también se describe la metodología y el software de simulación utilizados para el desarrollo del presente trabajo.

2.1 Logística

2.1.1 Introducción a la logística

Con el transcurso de los años, el concepto de logística ha ido evolucionando y ha mantenido la misma denominación para funciones diferentes. Debido a que se entiende a la logística como una actividad de aprovisionamiento y distribución de bienes, se puede afirmar que ha existido desde el origen de los tiempos, es decir, cuando las personas almacenaban sus alimentos en las cuevas, hasta convertirse en lo que se conoce actualmente y ejercer un rol fundamental en las empresas.

En la antigüedad, los alimentos y materias primas sólo existían en abundancia en determinadas épocas del año. Al comienzo, las personas consumían los productos en el lugar de origen o los transportaban a un lugar determinado y los almacenaban para un uso posterior. El movimiento de los recursos se limitaba a lo que una persona podía cargar, y el almacenamiento de los productos perecederos era posible solamente por un período corto. Este sistema obligaba a la humanidad a establecerse en lugares cercanos a la producción de dichos recursos y consumir una pequeña gama de productos. A medida que los sistemas logísticos comenzaron a mejorar, la producción y el consumo fueron separándose geográficamente, y las diferentes regiones se especializaron en lo que podían producir de manera eficiente. De esta forma, el exceso de producción se podía enviar de forma rentable a otras zonas y las personas tenían acceso a recursos que no se fabricaban en su región (Ballou, 2004).

Sin embargo, no fue hasta el Imperio Romano donde surgió el concepto que hoy en día persiste. La palabra logística procede del término en latín '*Logistikos*', correspondiente a los oficiales militares que se encargaban del aprovisionamiento de recursos. Más aún, el término '*Logistikos*' significa 'aquél que sabe calcular', por lo tanto, se puede deducir lo importante que eran estas personas, su preparación y sus conocimientos matemáticos.

Además, la logística tuvo un rol fundamental en diferentes hitos de la historia, tales como la creación de las pirámides egipcias, la construcción de grandes rutas comerciales, la generación del correo, el Canal de Panamá, el surgimiento del ferrocarril con las primeras implementaciones del vapor, entre otros. Sin embargo, en el ámbito empresarial, el concepto de logística empieza a tomar relevancia a mediados del siglo XX.

Durante la década del 50, la capacidad de producción y venta era superior a la distribución, por lo que comenzaron las dificultades en la entrega eficiente de productos. Tal es así que, en 1956, se da un giro en la logística con el invento y la implementación del contenedor marítimo. Esta idea desarrollada por Malcom McLean, implicaba colocar las cajas de los camiones en los buques para ser transportadas por la vía marítima.

Tras las dificultades que fueron apareciendo en el tránsito de las mercancías, en 1960 surgen los primeros centros de distribución, encargados de realizar un transporte más eficiente a nivel nacional e internacional (Ballou, 2006).

En la década del 80, comienza a cobrar mayor importancia los plazos de entrega, el servicio al cliente, y la gestión de los recursos y la materia prima. Por lo cual, el transporte se torna indispensable para las empresas, en una era de globalización, donde el aumento de las operaciones a nivel internacional conlleva a la integración y el control de todas las actividades de negocio, dando lugar al concepto de cadena de suministro. Esta última está formada por todas las partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción del cliente, incluyendo al fabricante, proveedor, transportista, vendedor y cliente (Chopra y Meindl, 2006).

La logística forma parte de la administración de la cadena de suministro, ya que es el trabajo necesario para trasladar y ubicar el inventario por todos los eslabones de la misma, sin embargo, existe una diferencia entre ambos conceptos. La administración de la cadena de suministro consiste en la colaboración entre las empresas que persiguen un posicionamiento estratégico en común y buscan mejorar su eficiencia operativa. Por cada empresa involucrada, la relación de las unidades de negocio refleja una decisión de índole estratégica que requiere de una dependencia y una colaboración reconocidas, bajo un enfoque ganar/ganar. Las operaciones dentro de la cadena requieren procesos administrativos que abarcan las áreas funcionales de cada empresa y vinculan, tanto a los socios comerciales como a los clientes, a través de los límites de la organización.

Dentro de la estrategia individual de cada empresa, el objetivo es lograr un funcionamiento superior al ofrecido por la competencia y al mismo tiempo ser eficiente en término de costos. En muchas situaciones, el impacto costo/beneficio de una falla logística se relaciona directamente con el nivel de servicio al cliente. Entre más significativo es el impacto de la falla del servicio en los negocios de un cliente, mayor es la prioridad de tener un desempeño logístico libre de errores (Bowersox *et al.*, 2007).

Con el correr de los años, las empresas han desarrollado una serie de ventajas competitivas derivadas de la logística, adoptando estrategias por costo y por diferenciación. Para que las compañías puedan implementar estas estrategias es importante tener conocimiento de todo lo que engloba la definición (Ballou, 2004).

Hoy en día se entiende la logística como el proceso de planificación, organización y control de todas las actividades relacionadas con la adquisición, el traslado y el almacenamiento eficaz, eficiente y con el mínimo costo posible de bienes, servicios e información relacionada, del punto de origen al punto de consumo con el propósito de conformarse a los requerimientos del cliente (*Council of Supply Chain Management Professionals*, 2020).

Las actividades logísticas dentro de la empresa se centran en tres áreas básicas (Cuatrecasas, 2012):

- Proceso de aprovisionamiento: es la gestión de la adquisición de los materiales necesarios y el almacenamiento e inventario mientras se inicia cada proceso de producción o comercialización. El aprovisionamiento depende de los niveles de producción determinados por la demanda y el procesamiento de pedidos.
- Proceso de producción: consiste en la gestión de las etapas consecutivas orientadas a la transformación de los insumos obtenidos en el proceso de aprovisionamiento, hasta la constitución de bienes y/o servicios.
- Proceso de distribución: implica gestionar el transporte, inventario y almacenamiento de los productos desde su punto de origen a su destino, ya sea entre las etapas de la producción, si se trata de un producto en proceso, o un punto de consumo o almacenaje, si se trata de productos terminados.

En el siguiente apartado, se aborda en profundidad la distribución de productos terminados teniendo en cuenta la relación con el presente trabajo.

2.1.2 Distribución

Dentro de los aspectos cubiertos por la logística, la distribución de los productos terminados es uno de los más importantes de llevar a cabo, ya que determina el nivel de servicio de la empresa con respecto al cumplimiento de las entregas a los clientes. Las

actividades logísticas principales del proceso de distribución son el procesamiento de pedidos, la gestión de inventarios, la definición del nivel de servicio y la actividad de transporte (Bowersox *et al.*, 2007).

Por un lado, el procesamiento de pedidos es la actividad que da origen al movimiento de los productos y el cumplimiento de los servicios, y tiene gran incidencia en el tiempo de ciclo de pedido. Dicha actividad incluye todos los aspectos de administrar los requerimientos del cliente, entre ellos la recepción inicial del pedido, la entrega, la facturación y la cobranza.

La gestión de inventarios tiene como objetivo principal asegurar la disponibilidad requerida de los productos que la demanda solicita en el momento justo. Sin embargo, se debe alcanzar el nivel de servicio deseado con el mínimo compromiso del inventario, es por esto que se deben diseñar estrategias logísticas que mantengan la inversión más baja posible en el inventario. Cabe destacar que, un concepto ligado a la gestión de inventario es la gestión de almacenes. Esta última comprende la ubicación de los productos en un almacén, los flujos de materiales dentro del mismo, los métodos para el movimiento de productos, la trazabilidad y la preparación de pedidos.

La definición del nivel de servicio establece la calidad de respuesta que han de tener todas las actividades de la cadena logística orientadas a la satisfacción del cliente.

Por último, la actividad del transporte es responsable de mover los productos terminados entre empresas y clientes que se encuentran dispersos geográficamente, y agrega valor a los productos transportados cuando estos son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas.

2.1.2.1 Transporte terrestre

Los cuatro tipos de transporte por excelencia son: aéreo, marítimo o fluvial, ferroviario y terrestre. Si bien existen otros medios de transporte, estas cuatro clasificaciones son las más utilizadas para el transporte de materias primas o productos terminados a lo largo de todo el mundo.

El transporte de mercancías terrestre por carretera es el más frecuente, esto se debe a que es el más extendido para las distancias cortas y medias, es flexible al momento de contratarlo y, además, posee sencillez operativa (Transgesa, 2018).

Dentro del transporte por carretera, existe una amplia gama de vehículos que pueden utilizarse, es por ello que a la hora de seleccionar el adecuado, debe tenerse en cuenta la relación entre el tipo de vehículo y la capacidad de carga, la distancia al punto de entrega, la velocidad de entrega necesaria, entre otros.

Los tipos de vehículos pertinentes para el presente trabajo son:

- Utilitarios: Son vehículos de menor porte, generalmente, implementados para transporte de cortas distancias por su baja capacidad de carga con respecto al resto de los vehículos. El proceso de carga se realiza al nivel del suelo.
- Chasis: Son camiones rectos con ejes tipo chasis. Para llevar a cabo la carga o descarga en almacén, requieren de un nivelador de andén, que permita variar la altura del mismo de acuerdo al vehículo que se encuentre en posición de carga. Cabe destacar, que las alturas de los camiones pueden variar según el modelo y la carga momentánea.
- Balancín: Son camiones de tres ejes, frecuentemente utilizados para conectar puntos separados por una distancia mediana. Requieren un nivelador de andén para llevar a cabo la carga o descarga en almacén.
- Semi: Corresponde a la abreviación de semirremolque. Consiste en camiones articulados compuestos por tractor y acoplado, generalmente utilizados para largas distancias y cargas pesadas. Requieren un nivelador de andén para llevar a cabo la carga o descarga en almacén.
- TEU/FEU: Son contenedores de exportación de 20 y 40 pies respectivamente. Se los llama TEU y FEU por sus siglas en inglés “*Twenty-foot Equivalent Unit*” y “*Forty-foot Equivalent Unit*”. Requieren un nivelador de andén para llevar a cabo la carga o descarga en almacén.

2.1.3 Configuración del proceso de expedición

Como se menciona en el apartado 2.1.2 Distribución, el procesamiento de pedidos y el transporte son dos de las principales actividades de la distribución. Estas se conectan a través del proceso de expedición, donde se realiza la carga de los pedidos en los vehículos de transporte.

La configuración del proceso de expedición se compone de una zona de espera, un espacio de explanada, un área de estacionamiento y las bocas de carga (Kelley Company, 2000).

- Zona de espera: Aquí se ubican los vehículos al ingresar al establecimiento, donde aguardan para ser atendidos.
- Espacio de explanada: Es el área entre la plataforma de carga y la línea de cerca o la obstrucción más cercana. Incluye el área de estacionamiento y el área de maniobras. El espacio mínimo de explanada necesario depende de las distancias de línea central entre los camiones estacionados en el andén, el largo de los camiones y la geometría de dirección de los camiones.

- Área de estacionamiento: sector donde se estaciona el camión durante el proceso de carga.
- Bocas de carga: a través de estas se lleva a cabo la comunicación entre el almacén y los vehículos de transporte mediante el proceso de carga.

2.1.4 Bocas de carga

El movimiento de productos entre los vehículos de transporte y los almacenes se lleva a cabo habitualmente mediante bocas de carga.

Los muelles de carga y descarga pueden ser definidos como “*equipamientos industriales diseñados para facilitar el trasiego de materiales entre naves industriales y vehículos de transporte de mercancías*”, según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2016).

Cabe destacar, que es importante estudiar cada uno de los vehículos que ingresan al establecimiento para realizar una carga o descarga ya que, en función de estos, se puede determinar qué tipo de muelles se van a requerir en la salida del almacén.

Una de las configuraciones de andenes más comunes es el andén interior/exterior. Este diseño coloca la plataforma de carga dentro de la instalación, mientras el acoplado queda afuera. El diseño ofrece seguridad y protección contra la intemperie. Una variación común del andén interior/exterior es el andén frigorífico. Para este último tipo de muelle, se debe incluir un vestíbulo entre la plataforma de carga y el área frigorífica. El vestíbulo crea un sello de aire entre el exterior y el área frigorífica que minimiza el influjo de aire caliente y humedad (Kelley Company, 2000).

Para realizar un diseño adecuado de los andenes, se deben seguir una serie de pasos, con el objetivo de lograr una configuración adecuada para que todos los vehículos que ingresan al establecimiento puedan llevar a cabo la carga o descarga, de forma correcta, manteniendo los estándares de calidad y seguridad, así como también el tiempo y la forma estipulada.

Si bien no hay una única forma de realizar el diseño, una de ellas puede darse a partir de los siguientes 5 pasos (Nicolao García y Zárate, 2018):

1. Ubicación de los andenes de carga.
2. Configuración del andén de carga.
- 3. Cálculo del número de bocas.**
4. El diseño del espacio de la explanada.
5. Diseño del andén de carga propiamente dicho.

El presente trabajo está orientado al cálculo mencionado en el paso 3, donde se busca determinar, de forma teórica, la cantidad de bocas de carga a realizar, en función de la demanda y los tipos de vehículos determinados.

2.2 Cálculo de número de bocas

Para comenzar el cálculo teórico, primero se debe conocer la **distribución de los arribos** entre las distintas jornadas laborales, para tener una visión general de la capacidad requerida por la instalación en función a la cantidad de pedidos.

Luego, los resultados obtenidos deben ser analizados, para corroborar que sean una buena representación de la realidad. En caso de que no se encuentre una distribución que represente de manera correcta los datos y la muestra sea suficientemente grande, se puede aplicar el **Teorema Central del Límite**.

2.2.1 Test de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis para verificar si los datos observados en una muestra aleatoria se ajustan con algún nivel de significancia a determinada distribución de probabilidad (uniforme, exponencial, normal, Poisson, u otra cualquiera). A continuación, se caracterizan las tres pruebas de bondad de ajuste (Oracle, 2019):

- Kolmogorov-Smirnov. El resultado de esta prueba es básicamente la mayor distancia entre dos distribuciones acumulativas. Se utiliza para variables continuas únicamente.
- Anderson-Darling. Este método pondera las diferencias entre las dos distribuciones en sus colas en un valor mayor que en sus rangos medios. La ponderación de las colas ayuda a corregir la tendencia del método Kolmogorov-Smirnov a sobre enfatizar las discrepancias en la región central. Se utiliza para variables continuas únicamente.
- Chi-cuadrado. Esta prueba es la más antigua y común de las pruebas de bondad del ajuste. Indica la precisión general del ajuste. La prueba desglosa la distribución en áreas de probabilidad igual y compara los puntos de datos en cada área con el número de puntos de datos esperado. Se utiliza para variables discretas o continuas.

En el presente trabajo, los datos disponibles corresponden a una variable discreta, es por ello que se utiliza el test de bondad de ajuste Chi-cuadrado que puede ser utilizado para trabajar tanto con variables discretas como continuas.

2.2.1.1 Test Chi-Cuadrado

La prueba Chi-Cuadrado, consiste en una prueba de hipótesis a partir de datos históricos, basada en el cálculo de un valor llamado estadístico de prueba, el cual se compara con un valor conocido como valor crítico, que se obtiene de tablas estadísticas. El procedimiento general de la prueba es (García Dunna y García Reyes, 2006):

- 1) Obtener al menos 30 datos de la variable aleatoria a analizar. Donde n es el tamaño de la muestra.
- 2) Calcular la media y varianza de los datos.
- 3) Crear un histograma de $m = \sqrt{n}$ intervalos, y obtener la frecuencia observada en cada intervalo O_i .
- 4) Establecer explícitamente la hipótesis nula e hipótesis alternativa, proponiendo una distribución de probabilidad que se ajuste a la forma del histograma. Para dicha prueba, la hipótesis nula H_0 e hipótesis alternativa H_1 son:

H_0 : Los datos se ajustan a una distribución *dada*.

H_1 : Los datos no se ajustan a una distribución *dada*.

Donde la “distribución *dada*” corresponde a una distribución teórica específica que se considera que mejor empareja a los datos históricos

- 5) Calcular la frecuencia esperada, E_i , a partir de la función de probabilidad propuesta.
- 6) Calcular el estadístico de prueba mediante la ecuación 1:

$$C = \sum_{i=1}^m \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \quad (1)$$

- 7) Definir el nivel de significancia de la prueba, α , y determinar el valor crítico de la prueba, $\chi^2_{\alpha, m-k-1}$. El nivel de significancia (α) es la diferencia que existe entre la certeza y el nivel de confianza. Éste último, es el grado de certeza o probabilidad con el que se desea realizar la estimación de un parámetro a través de un estadístico muestral. Por otro lado, k es el número de parámetros estimados en la distribución propuesta (GeoGebra, 2020).
- 8) Comparar el estadístico de prueba con el valor crítico. En este punto, se debe tomar una decisión, por un lado, si el estadístico resulta menor al valor crítico, no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por el otro, si el estadístico de prueba resulta mayor al valor p , entonces se rechaza la hipótesis nula de que la información histórica sigue la distribución propuesta.

2.2.2 Teorema Central del Límite y Distribución Normal

El Teorema Central del Límite es una teoría estadística que establece que, si S es la suma de un gran número de variables aleatorias independientes, entonces, bajo ciertas restricciones leves, referidas al aporte de los sumandos, la función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria S se distribuye *normalmente*. El valor de este teorema es que no requiere condiciones para las distribuciones de las variables aleatorias individuales que se suman. Esta generalización es válida cuando las variables aleatorias individuales sólo hacen una contribución relativamente pequeña a la suma total (Grinstead y Snell, 2006).

La distribución de una variable normal está completamente determinada por dos parámetros, su media (μ) y su desviación estándar (σ). En la Figura 1, se aprecia la curva acampanada característica de este tipo de distribución que depende de los parámetros mencionados previamente. La media indica la posición de la campana, de modo que para diferentes valores de μ , la gráfica es desplazada a lo largo del eje horizontal. Por otra parte, la desviación estándar determina el grado de variabilidad de la curva. Cuanto mayor sea el valor de σ , más se dispersarán los datos alrededor de la media y la curva será más plana. Un valor pequeño de este parámetro indica, por tanto, una gran probabilidad de obtener datos cercanos al valor medio de la distribución (Piña-Monarrez, 2011).

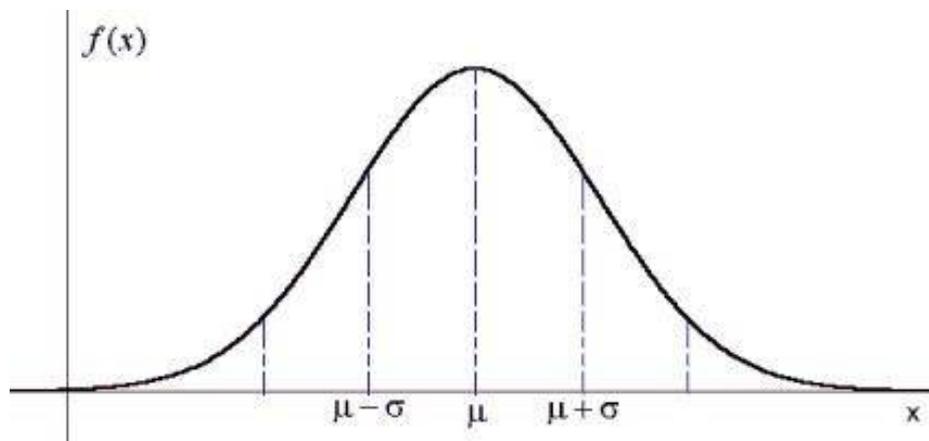


Figura 1: Función de densidad de probabilidad normal.

Fuente: Mendenhall *et al.*, 1993.

Una propiedad de la distribución normal corresponde a la distribución de cada elemento con respecto a la media, donde enuncia que, si X es una variable aleatoria con distribución normal con media μ y desviación estándar σ , entonces se cumple que:

La probabilidad de que X se encuentre dentro del intervalo con límite inferior igual a $\mu - \sigma$ y límite superior igual a $\mu + \sigma$ es de 68,27 %. Además, en el intervalo determinado por la amplitud de dos desviaciones estándares, se ubica el 95,45% del área de la Figura 1.

Mientras que, en el intervalo determinado por la amplitud de tres σ hacia cada lado, se encuentra 99.73% de la distribución (Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2009).

2.3 Teoría de colas

En la terminología de las ciencias de la administración, una línea de espera se conoce como cola, y la serie de conocimientos relacionados con las líneas de espera, como teoría de colas. Generalmente, los modelos de líneas de espera pueden aplicarse cuando se tienen clientes que solicitan un servicio y que están dispuestos a esperar, esto último será necesario si el servicio no está inmediatamente disponible. Los modelos de cola se componen de fórmulas y relaciones matemáticas que pueden utilizarse para determinar las medidas o indicadores de desempeño de una línea de espera que permiten a los gerentes tomar decisiones.

Dichos indicadores, también llamados características de la operación, incluyen (Anderson *et al.*, 2011):

- La probabilidad de que no haya unidades en el sistema.
- **El número promedio de unidades en la línea de espera.**
- El número promedio de unidades en el sistema (el número de unidades en la línea de espera más el número de unidades que están siendo atendidas).
- **El tiempo promedio que una unidad pasa en la línea de espera.**
- El tiempo promedio que una unidad pasa en el sistema (el tiempo de espera más el tiempo para que atiendan).
- **La probabilidad de que una unidad que llega tenga que esperar para que la atiendan.**

En el presente trabajo, se utilizan aquellos indicadores resaltados anteriormente, y se añaden otras medidas de interés, tales como:

- El número máximo de unidades en la línea de espera.
- El tiempo máximo que una unidad pasa en la línea de espera.
- Tasa de ocupación de las colas.
- Tasa de ocupación de los canales de servicio.

Hay que prestar atención al tiempo de permanencia en el sistema o en la cola, ya que la “paciencia” de los clientes depende del tipo de servicio específico considerado, si el tiempo que demoran en ser atendidos es excesivo, puede generar que el cliente abandone el sistema.

Por otra parte, Anderson *et al.* (2011) proponen componentes dentro de la teoría de colas que permiten definir el sistema bajo estudio. A continuación, se describen los implementados en el presente trabajo:

Distribución de las llegadas: La definición del proceso de arribos a una línea de espera implica la determinación de la distribución probabilística del número de llegadas en un lapso determinado, o bien, del tiempo entre los arribos para cierta cantidad de llegadas. En muchas situaciones, las llegadas ocurren al azar e independientemente de otras llegadas, y no es posible predecir cuándo ocurrirá una. Para dichos casos, la distribución de probabilidad de Poisson provee una buena descripción del patrón de llegadas. No obstante, si se utiliza el tiempo entre los arribos, se suele implementar la distribución exponencial.

Distribución de los tiempos de servicio: El tiempo de servicio es el tiempo que un cliente emplea en la instalación de servicio una vez que éste se ha iniciado. Éstos rara vez son constantes, generalmente, siguen una distribución normal.

Disciplina en las colas: Al describir un sistema de fenómenos de espera, se debe conocer la manera en la que las unidades son seleccionadas para ser atendidas. En general, para la mayoría de las líneas orientadas al cliente, las unidades que esperan ser atendidas se acomodan de modo que la primera que llega es la primera en ser atendida; este método se conoce como disciplina *FIFO* en las colas, por sus siglas, en inglés *First In First Out*.

Número de canales: Una línea de espera de múltiples canales se compone de dos o más canales de servicio que se suponen idénticos en función de capacidad de servicio. En el sistema de múltiples canales, las unidades que llegan esperan en una sola línea y luego se dirigen al primer canal disponible para ser atendidas.

2.4 Simulación

2.4.1 Introducción a la simulación

La simulación es una técnica que permite recrear ciertos aspectos de la realidad con bastante similitud, cuyo objetivo es el de estudiar cómo funcionaría un determinado sistema o cómo reaccionaría frente a ciertos cambios. La utilidad de los modelos de simulación radica en que la experimentación sobre sistemas reales resulta muy costosa, y puede generar el colapso de los procesos, o simplemente puede ser poco factible. La simulación permite valorar, replantear y medir indicadores, con el objeto de probar cómo se comporta el sistema frente a diferentes variaciones. Por ejemplo, valorar la satisfacción del cliente ante el aumento o reducción de un recurso (Casadiego Alzate, 2015).

Por lo tanto, las empresas que simulan tienen la oportunidad de estudiar sus procesos desde una perspectiva sistemática procurando una mejor comprensión de la causa y efecto entre ellos, además de permitir una mejor predicción de ciertas situaciones. Dentro de la organización, puede ser utilizada para múltiples causas, por ejemplo, para rediseñar

procesos, con el fin de mejorar el nivel de servicio con una utilización más eficiente de recursos.

A través de dicho instrumento, se pueden representar los procesos, recursos, productos o servicios en un modelo dinámico computarizado, que reproduce las operaciones de la organización en un tiempo significativamente inferior al que implicaría en un sistema real. Estas herramientas tienen en cuenta las estadísticas de los elementos del modelo, permitiendo evaluar el comportamiento del sistema mediante el análisis de los datos salida del modelo.

Además, en el sistema real, la interacción de los recursos con los procesos, productos y servicios con el tiempo se traduce en un gran número de escenarios y los instrumentos convencionales de previsiones, planificaciones y análisis, tales como los diagramas de flujos y hojas de cálculo, no están equipados para tratar con esta complejidad dinámica. En cambio, mediante un sistema que incorpora interdependencia, la simulación tiene en cuenta las variaciones, así como la interacción entre los componentes y el tiempo. Por ejemplo, permite cuantificar el impacto sobre el tiempo total del proceso de las actividades que no generan valor añadido, tales como colas, retenciones y revisiones reiterativas (Fullana Belda y Urquía Grande, 2015).

Los modelos de simulación pueden ser clasificados como determinísticos o estocásticos. Un modelo determinístico, no tiene ningún componente asociado a una distribución de probabilidad, esto quiere decir, que conocido el "input" que se entrega al sistema, se conoce inmediatamente el "output" que éste producirá. Por otra parte, un modelo estocástico sí incorpora componentes aleatorios, asociados a distribuciones de probabilidad que, durante la ejecución de la tarea, determinarán finalmente el output del sistema (Casadiego Alzate, 2015).

Por otra parte, la simulación puede clasificarse como terminal o no terminal. Los modelos de tipo terminal tienen como característica principal la ocurrencia de un evento que da por terminada la simulación. Ahora bien, cuando se ejecuta el modelo en una ocasión, los valores que se obtienen de las variables y parámetros al final del tiempo de simulación generalmente son distintos de los que se producen si se vuelve a correr usando diferentes números pseudo aleatorios. Por lo tanto, es necesario efectuar más de una réplica del modelo que se esté analizando, con la finalidad de obtener estadísticas de intervalo que den una mejor ubicación del verdadero valor de la variable bajo los diferentes escenarios que se presentan al modificar los números pseudo aleatorios en cada oportunidad. Se aconseja que el número de réplicas o repeticiones sea de 3 a 10 (Azarang y García Dunna, 1998).

2.4.2 Metodología de simulación

Para realizar un proyecto de simulación con éxito es imprescindible tener la capacidad de simplificar el gran volumen de información y el nivel de detalle que se requiere para representar el modelo. De esta forma, se cuenta con un modelo cuya estructura es lo más simple posible, aunque es capaz de representar la complejidad de un sistema real de manera eficaz.

Para ello se puede implementar la metodología propuesta por Casadiego Alzate (2015) en su Guía de Usuario para el modelamiento y análisis con el Software *FlexSim*. Dicha metodología se esquematiza de acuerdo con la Figura 2.



Figura 2: Metodología de Simulación.

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía de Usuario para el modelamiento y análisis con el Software *FlexSim* (Casadiego Alzate, 2015)

2.4.2.1 Recopilación y validación de datos

En esta primera etapa, se obtiene toda la información tanto cualitativa como cuantitativa necesaria para construir un modelo representativo de la realidad.

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información. Estas pueden ser entrevista, encuesta, cuestionario, observación, diagrama de flujo y diccionario de datos (Romer Crespo, 2017).

Una manera de analizar la información recopilada es utilizar la técnica de *data mining* (minería de datos). El *data mining* es el conjunto de técnicas y tecnologías que permiten explorar grandes bases de datos, de manera automática o semiautomática, con el objetivo de encontrar patrones repetitivos, tendencias o reglas que expliquen el comportamiento de los datos en un determinado contexto.

Básicamente, la minería de datos surge para ayudar a comprender el contenido de un repositorio de datos. Con este fin, hace uso de prácticas estadísticas y, en algunos casos, de algoritmos de búsqueda (Hernández Orallo, 2004).

De forma general, los datos son la materia prima bruta. En el momento que el usuario les atribuye algún significado particular pasan a convertirse en información. Cuando los especialistas elaboran o encuentran un modelo, haciendo que la interpretación que surge entre la información y ese modelo represente un valor agregado, entonces nos referimos al conocimiento.

2.4.2.2 Construcción y validación del modelo base

El objetivo de esta etapa es la construcción y análisis de un modelo de simulación que sea representativo de la operación que se lleva a cabo hoy en día en el sistema que se está modelando. Con la información obtenida en el paso anterior, ya analizada y validada, se debe construir el modelo verificando que este se comporte de acuerdo con los parámetros o características que se consideren propias a la realidad. Dicha simulación debería arrojar resultados que, en contraste con la información real, tengan similitud y permitan comprender el sistema con mayor grado de detalle.

La validación del modelo base se realiza mediante evaluación de indicadores que se comparan con la información de la operación real. En el caso que se arrojen algunos resultados que no tengan similitud con respecto a la operación real, se debe validar contra el criterio de las personas que diariamente se encuentran en la operación (Casadiego Alzate, 2015).

Para desarrollar este paso dentro de la metodología propuesta, se necesita utilizar un software de simulación que permita representar los datos de la mejor forma posible.

2.4.2.3 Construcción y comparación de escenarios

Durante esta etapa se lleva a cabo un análisis comparativo con respecto a distintos escenarios posibles. Los escenarios son modelos similares del sistema real, pero cada uno de ellos se evalúa de diferente manera teniendo en cuenta que a cada escenario se le cambian ciertas variables o parámetros. Para ello, es importante que se definan premisas y medidas de desempeño que permitan evaluar dichos escenarios.

Al ejecutar esta etapa se debe tener modelos de los escenarios planteados partiendo de un análisis prospectivo, es decir, una actitud de análisis que viene del futuro hacia el presente, una breve descripción de cada escenario y un resumen con los resultados arrojados por cada escenario a la luz de los indicadores definidos (Casadiego Alzate, 2015).

2.4.2.4 Prueba de robustez

El objetivo de esta etapa es evaluar la robustez de los escenarios ante cambios en las variables exógenas, es decir, realizar pruebas a los distintos modelos sometiéndolos a cambios en determinadas variables externas al sistema (Casadiego Alzate, 2015).

Si bien el autor propone un análisis de sensibilidad de las variables externas, en el presente trabajo no se lleva a cabo dicho paso, teniendo en cuenta que en los escenarios se plantean modificaciones en variables tanto internas como externas, debido a la naturaleza del sistema bajo estudio.

2.4.2.5 Sugerencias

En esta última etapa, es importante que el modelador en base a los resultados realice una recopilación de todas aquellas recomendaciones sujetas al proyecto. Estas recomendaciones son el producto del análisis de los resultados de los distintos escenarios planteados y comparación con la situación actual (Casadiego Alzate, 2015).

2.4.3 FlexSim

FlexSim es un software de simulación diseñado para eventos discretos y continuos con el fin de facilitar cualquier tipo de modelamiento en una sola herramienta. Es un simulador capaz de manejar tanto modelos estocásticos como probabilísticos. Este software no solo cuenta con estas características, sino también integra otras que lo convierte en poderoso aliado para el análisis de sistemas complejos. Permite realizar el modelo y la corrida del mismo en 3D, lo que facilita identificar posibles cuellos de botella u otros impactos a simple vista.

2.4.3.1 Características del software

Es una alternativa para el Modelado, Simulación y Visualización de procesos (Casadiego Alzate, 2015).

Modelado: *FlexSim* permite utilizar objetos altamente desarrollados y parametrizados que representan procesos y colas. Para el uso de un objeto, basta arrastrarlo y moverlo desde la librería de objetos a la vista del modelo. Cada objeto tiene una localización en el espacio (x, y, z), una velocidad, rotación y un comportamiento específico en el tiempo. Dichos objetos pueden crearse, destruirse y moverse entre ellos. Además, en *FlexSim* se pueden construir objetos propios partiendo de los objetos bases, modificar objetos para usos específicos, y cambiar objetos entre usuarios, librerías y modelos.

Simulación: *FlexSim* cuenta con un motor de simulación muy rápido, que permite ejecutar grandes cantidades de eventos en un corto periodo de tiempo. Éste controla la simulación y visualización del modelo, por lo que, si se necesita más rapidez, se puede obtener desactivando la visualización. El software cuenta con la herramienta “*Dashboard*”, que consiste en la creación de gráficos para reportar diferentes estadísticas al usuario, a partir de las variables de salida.

Visualización: *FlexSim* cuenta con animación de realidad virtual en la visualización de los modelos. El Software utiliza la última tecnología en gráficos de realidad virtual de juegos de computador y permite la importación de un amplio rango de formatos de modelos 3D para uso en el modelado.

2.4.3.2 Recursos de *FlexSim*

FlexSim posee una amplia variedad de recursos para utilizar y, de esta manera, construir un modelo con características similares a la realidad que se desea representar. En esta sección, se describen aquellos utilizados para el desarrollo de los modelos del presente trabajo (Casadiego Alzate, 2015):

- **Flowitems.** Son objetos que se mueven a través del modelo. Estos son las entidades que circulan en el modelo, pueden ser partes, piezas, productos en procesos, personas, entre otras. Los *flowitems* son generados por los objetos *Source* y son desechados en los objetos *Sink*. Estos pueden ser objetos de procesos y pueden ser transportados por recursos de transporte.
- **Source.** Es usado para crear los *flowitems* que viajaran a través del modelo. Cada *Source* crea una clase de *flowitems* y puede entonces asignar diferentes propiedades a cada uno. Una función de gran utilidad que poseen las *Sources*, es la posibilidad de incorporar una distribución de tiempo de creación de los *flowitems*.
- **Queue.** Es usado para almacenar *flowitems* cuando estos se están moviendo a través del modelo. Por defecto las colas trabajan con la configuración *FIFO (First In First Out)*, lo que significa que el primer *flowitem* que entra es el primero en salir.
- **Processor.** Es utilizado para simular el procesamiento de *flowitems* en un modelo. El proceso simplemente modela un retraso forzado en el *flowitem*. El tiempo total es dividido en un tiempo de alistamiento y tiempo de proceso. El *Processor* puede procesar más de un *flowitem* a la vez. Puede llamar operarios durante el tiempo de alistamiento o el tiempo de proceso.
- **Sink.** El *Sink* es usado para destruir *flowitems* que han finalizado su curso en el modelo. Una vez que el *flowitem* ingresa en el *Sink*, no se puede recuperar.

En la Figura 3, se presenta un modelo básico de *FlexSim* que contiene los cinco elementos previamente explicados. De izquierda a derecha: *Source*, donde se generan los *flowitems* (cajas verdes) que atraviesan el sistema; *Queue*, que almacena los *flowitems* que aún no pueden ser procesados; *Processor*, que está procesando un *flowitem*; *Sink*, destruye los *flowitems* una vez que ya fueron procesados.

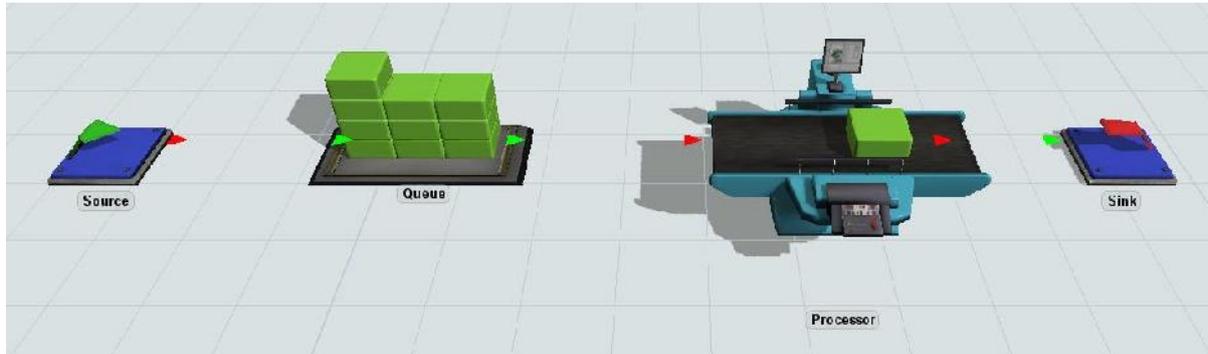


Figura 3: Modelo básico en *FlexSim*.
Fuente: *FlexSim*.

- **ItemType:** Es una etiqueta que llevan los *flowitems*, que representan una característica de él. *FlexSim* usa estos atributos como referencia al momento de diferenciar entre los procesos, rutas o comportamientos que deben ser usados en diferentes tipos de entidades.
- **Puertos:** Todo objeto de *FlexSim* tiene un número ilimitado de puertos a través de los que se puede comunicar con otros objetos. Hay tres tipos de puertos: Entrada, Salida y Puertos centrales. Los puertos *In* y *Out* o de entrada y salida, son utilizados para la unión de los distintos *flowitems* a través del modelo. Los puertos centrales son utilizados para crear referencias o punteros entre objetos.
- **TimeTables:** Estas tablas son usadas para programar cambios de estado en los objetos, como por ejemplo el “*scheduled down*” (paro programado), para objetos específicos en el modelo. Cada tabla de tiempo puede controlar uno o varios objetos y cada objeto puede ser controlado por una o varias tablas de tiempo. A partir de las *Time Tables* se pueden definir calendarios de trabajo para cada uno de los recursos de *FlexSim*.

3. DESARROLLO

3.1 Relevamiento

3.1.1 Descripción de la empresa

El presente trabajo se realiza en una empresa de la ciudad de Mar del Plata con amplia trayectoria en el rubro alimenticio. La misma se dedica a la elaboración y comercialización de productos refrigerados y congelados, principalmente a base de pescados, aves y vegetales.

La empresa siempre se ha caracterizado por la búsqueda de la eficiencia y la mejora continua. Por eso, a lo largo de los años, se ha preocupado de seleccionar las mejores materias primas y ha invertido en la certificación de normas internacionales de gestión de la calidad y la inocuidad de los alimentos.

De igual manera, se ha concentrado en invertir en la optimización de sus procesos productivos y sus instalaciones, para asegurar un producto confiable y un destacado servicio al cliente.

Actualmente, la compañía se encuentra en una etapa de expansión debido al crecimiento en la demanda de sus productos, tanto a nivel nacional como internacional.

Considerando, entonces, que la calidad, la inocuidad y el servicio al cliente no se encuentran sólo en el área de operaciones sino en toda la cadena de suministro, la empresa ha decidido invertir en su infraestructura logística y construir un nuevo almacén de productos terminados y generar su propio centro de distribución.

El presente trabajo busca determinar posibles configuraciones de andenes para dicho almacén y validar el diseño mediante la simulación del proceso de expedición, estudiando los resultados mediante el análisis de indicadores en base a la satisfacción del cliente y la eficiencia de la instalación.

3.1.2 Características del proceso

Como se mencionó anteriormente, el trabajo se focaliza en el proceso de expedición de productos terminados, del cual se presentan a continuación sus características principales.

Dicha actividad comienza con el arribo de los camiones a la empresa. Al momento de ubicarse en el andén para ser cargados, realizan una maniobra de estacionamiento en la explanada, previo a lo cual, se lleva a cabo la apertura de sus puertas. Cabe destacar que, al tratarse de carga refrigerada, la configuración de andén debe ser interior/exterior, para

evitar la pérdida de temperatura al momento de la carga. Finalizada la operación, se cierran las puertas del vehículo y el mismo se retira de las instalaciones.

Es decir que, una completa configuración del proceso de expedición debe contar con el diseño de una zona de espera, una explanada de maniobra, una zona de estacionamiento y las bocas de carga. No obstante, el presente trabajo se centra en determinar y validar la cantidad de muelles necesarios para satisfacer la demanda de la empresa garantizando un bajo tiempo de espera de los vehículos y un uso eficiente de las bocas de carga.

Para definir el número de bocas, se deben considerar diferentes variables, tales como los distintos tipos de vehículos, la cantidad que arriban por día de cada tipo, el tiempo de espera, la duración de la carga y la ventana horaria de la empresa.

3.1.3 Tipos de vehículos

La empresa reporta que los clientes utilizan los siguientes vehículos para retirar la mercadería:

- **Utilitarios(U):** pequeños (Tipo Renault Kangoo, Fiat Fiorino, Citroën Berlingo, Peugeot Partner, entre otros) y grandes (Tipo Renault Master, Fiat Ducato, Mercedes-Benz Sprinter, Peugeot Bóxer, entre otros).
- Camión recto de ejes tipo **chasis (C)**
- Camión **balancín (B)** de tres ejes.
- Camión tractor más acoplado **semi (S)** remolque.
- Contenedores de exportación: 20 pies: **TEU** por sus siglas en inglés “*Twenty-foot Equivalent Unit*” y 40 pies **FEU** por sus siglas en inglés “*Forty-foot Equivalent Unit*”.

Además, la compañía facilita las características de cada tipo de vehículo que afectan directamente los parámetros de diseño de los andenes de cargas. (Ver Tabla 1)

Tipo	Largo [m]	Ancho [m]	Altura de carga [m]	Altura media [m]
U	3,50 - 5,50	1,50 - 2,50	0,50 - 0,80	0,65
C	5,50 - 11,00	2,10 - 2,50	1,00 - 1,20	1,10
B	11,00 - 18,00	2,40 - 2,60	1,20 - 1,50	1,35
S	18,00 - 22,00	2,40 - 2,60	1,30 - 1,50	1,40
TEU/FEU	16,00 - 22,00	2,40 - 2,70	1,40- 1,60	1,50

Tabla 1: Características de los tipos de vehículos.

Fuente: Nicolao García J.I., 2019.

3.2 Descripción de datos

Una vez relevada la empresa y el proceso en particular, se realiza la descripción de los datos con los que se cuenta.

Los datos base, proporcionados por la empresa, se encuentran procesados mediante el conjunto de técnicas, conocido como data mining (minería de datos) extraída del trabajo académico "Estimación del número y tipo de vehículos de carga" (Nicolao García J.I., 2019). Esta información, conforma los datos base para el presente trabajo.

Los datos proporcionados corresponden a un intervalo de tiempo de 2 años, desde noviembre del 2016 a noviembre del 2018, teniendo en cuenta que el almacén se encuentra abierto de lunes a viernes, y trabaja de 8:00 a 12:00 a la mañana y de 13:00 a 17:00 en el turno tarde. El formato de los datos se presenta en la Tabla 2.

Campo	Nombre	Descripción
1	Fecha	Día del relevamiento.
2	Cargas U	Cantidad de cargas diarias totales de vehículos utilitarios.
3	Cargas C	Cantidad de cargas diarias totales de vehículos chasis.
4	Cargas B	Cantidad de cargas diarias totales de vehículos balancín.
5	Cargas S	Cantidad de cargas diarias en vehículos semi, TEU y FEU.

Tabla 2: Formato de los datos.

Fuente: Elaboración propia en base a data mining. Nicolao García J.I. (2019)

Cabe destacar, que los vehículos TEU/FEU se los agrupa en la categoría de semi (S) dada la periodicidad prolongada entre sus arribos y la similitud de características entre los vehículos de dichas categorías.

3.3 Análisis de distribuciones de entrada

Para realizar el cálculo del número de bocas, se intenta conocer la distribución correspondiente a cada grupo de datos mediante el test de ajuste de bondad Chi-Cuadrado. Para ello, se utiliza el complemento de Excel, *Crystal Ball* y se somete a los datos históricos disponibles a la función de ajuste de distribución, la cual simplifica el proceso de selección de una distribución de probabilidad al crear suposiciones. La distribución resultante refleja, de manera más precisa, la naturaleza de los datos, que si se hubieran estimado la forma y los parámetros de la distribución.

Una vez realizado el test, *Crystal Ball* brinda un gráfico de comparación que permite analizar la similitud entre los datos históricos y las distribuciones propuestas, y los parámetros necesarios para evaluar el estadístico de prueba de acuerdo al test de bondad

de ajuste chi-cuadrado. Al comparar el estadístico de prueba con el valor crítico tabulado, se puede determinar si la distribución analizada es una buena estimación o no.

Se realiza en primera instancia, el análisis para las cargas U. En la Figura 4, se observa el histograma de datos históricos en gris y el polígono de frecuencias de la mejor distribución en rojo. Si bien ambos presentan igual media y desviación, la forma no se asemeja.

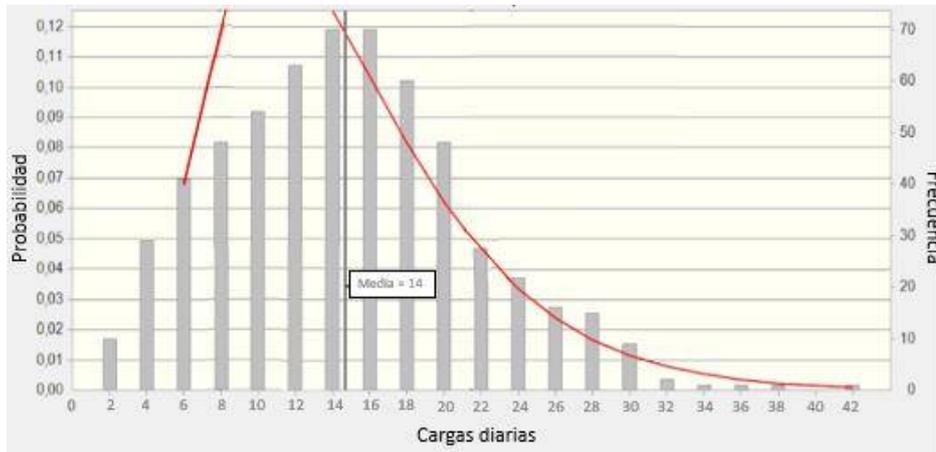


Figura 4: Histograma de cargas U y polígono de frecuencias de la mejor distribución.
Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa. *Crystal Ball*.

Crystal Ball encuentra como mejor solución la distribución **binomial negativa** con una probabilidad de 0,41 y con un parámetro de forma igual a 3. Dado que el estadístico de prueba C, en este caso 81,2323, resulta mayor al valor p, en este caso 0,00, entonces se rechaza la hipótesis de que la información histórica sigue la distribución propuesta.

Análogamente, se realiza el análisis para las cargas de tipo C, B y S. Para los tres casos, ocurre que el estadístico de prueba C resulta mayor al valor p, por lo tanto, se rechazan sus respectivas hipótesis. En ANEXO I: Distribuciones de entrada, se encuentran las figuras y valores proporcionados por *Crystal Ball* para estos casos.

Distribución propuesta

Luego de haber analizado el comportamiento de los datos, se observa que las distribuciones propuestas por *Crystal Ball* no son representativas de la realidad. Dado que ninguno de los tipos de cargas puede ser representado por las distribuciones propuestas, se puede determinar la utilización de la **distribución normal** para llevar a cabo el tratamiento de los datos, de acuerdo con el Teorema Central del Límite.

En la Tabla 3, se muestran los valores máximos de las cargas diarias para cada tipo de vehículo, los cuales son utilizados como valor medio. Dichos valores, aseguran una instalación que contempla los picos de estacionalidad observados en la información

proporcionada, que pueden saturar el sistema si no son tenidos en cuenta. Además, se extrae la desviación estándar de las cargas para cada tipo de vehículo:

Tipo	Media de cargas	Desviación estándar
U	42	3
C	22	2
B	10	1
S	8	1

Tabla 3: Parámetros correspondientes a la distribución normal.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Determinación del número de bocas

Una vez conocida la distribución de los arribos para cada tipo de vehículos, se puede llevar a cabo el cálculo teórico del número de bocas de carga. Para ello, es necesario conocer los tiempos de ocupación de boca para cada tipo de vehículo en particular.

3.4.1 Tiempo de ocupación de boca

En esta sección, se presenta un parámetro que afecta directamente la cantidad de bocas de cargas: el tiempo ocupación de boca (TOB). Éste es el tiempo que se tarda en completar toda la operación, el cual varía según el tipo de vehículo y tiene dos componentes: tiempo de maniobra para entrada-salida y tiempo neto de carga. (Ver Tabla 4)

El tiempo de maniobra para entrada-salida, incluye todo el periodo de maniobra para estacionar el vehículo en la zona de carga, la nivelación del muelle, si es necesaria, y la apertura y cierre de las puertas. Además, abarca el tiempo que el vehículo demora en retirarse de la zona de carga, dejando ésta disponible para realizar una nueva operación.

El tiempo neto de carga se refiere a todas las maniobras realizadas por los operarios para llevar a cabo la carga del pedido en el vehículo, ya sea de forma manual o paletizada.

Tipo	T. neto carga [minutos]	T. maniobra [minutos]	TOB [minutos]
U	3	4	7
C	12	5	17
B	21	7	28
S	30	8	38

Tabla 4: Tiempos de ocupación de boca por carga.

Fuente: Elaboración propia en base a data mining. Nicolao García J.I. (2019)

El tiempo de ocupación de boca es uno de los parámetros que van a determinar la cantidad de bocas destinadas a cada vehículo, en conjunto con la cantidad de arribos y la ventana horaria de trabajo del almacén.

3.4.2 Cálculo del número de bocas

Como se menciona anteriormente, para determinar el número adecuado de bocas que logre atender la demanda diaria de pedidos, se tienen en cuenta, principalmente, 3 factores: las cantidades de cargas diarias, el TOB y la ventana horaria. Estos factores variables, permiten calcular el número de bocas de carga, de acuerdo con la ecuación 2 propuesta por Anaya Tejero (2000).

$$\text{Numero de bocas} = \frac{\text{Cantidad de arribos} * \text{TOB}}{\text{Ventana horaria}} \quad (2)$$

Donde:

- Para la cantidad de cargas se utiliza la media propuesta según la Tabla 3.
- Para el TOB, se tienen en cuenta los tiempos de la Tabla 4.
- Por último, se considera una ventana horaria de 8 horas. Donde se diferencia el turno mañana, de 8:00 a 12:00, y el turno tarde, de 13:00 a 17:00.

Para los camiones, se debe tener en cuenta la altura de carga, variable según el diseño y el peso, donde el rango de medida va de 1,0 m a 1,6 m (Ver Tabla 1). Éste último rango, puede ser cubierto con la implementación de un nivelador de andén, que permita variar la altura del mismo de acuerdo al vehículo que se encuentre en posición de carga.

Por las razones mencionadas anteriormente, a lo largo del trabajo se evalúa la cantidad de bocas a realizar, diferenciando los vehículos en dos grupos, por un lado, los vehículos U, y por el otro, los vehículos de mayor porte integrados por C, B y S. En la Tabla 5, se determina el tiempo requerido en horas para la totalidad de las cargas diarias por tipo de vehículo, correspondiente al numerador de la ecuación 2.

Tipo		Cargas por día	TOB [minutos]	T. requerido [minutos]	T. requerido [horas]
Utilitarios		42	7	294	4,90
Camiones	Chasis	22	17	374	6,23
	Balancín	10	28	280	4,67
	Semi	8	38	304	5,07

Tabla 5: Tiempo diario requerido para cargas.

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa.

Teniendo en cuenta la ventana horaria, para cumplir con el tiempo requerido para cargas U se necesitan: $4,9/8 = 0,6125$ bocas/hora, es decir, un mínimo de una boca. Mientras que para los vehículos de mayor porte requieren $15,97/8 = 1,99$ bocas/hora, es decir, un mínimo de dos bocas. El valor de 15,97 corresponde a la suma de los tiempos requeridos para los tipos C, B y S.

Este primer cálculo, no tiene en cuenta la distribución horaria de los arribos. El 90% de los utilitarios se concentran durante el turno mañana, ya que se dedican a la distribución local durante el día. Mientras que el 65% de los camiones, se cargan durante la tarde, ya que viajan durante la noche para estar a primera hora en los centros de distribución del resto del país.

En la Tabla 6, se detalla el cálculo teórico de bocas necesarias según el porcentaje de cargas. Las nuevas columnas de tiempo requerido son obtenidas distribuyendo los tiempos requeridos de la Tabla 5, según el porcentaje de arribos mencionados previamente. Por ejemplo, en el caso de los utilitarios, las 4,9 horas requeridas se distribuyen en 4,41 horas por la mañana y 0,49 horas por la tarde, análogamente se realiza para los camiones. Luego, se divide dichas columnas por 4 horas para obtener la cantidad de bocas requeridas por turno de trabajo.

Tipo de vehículo	Turno mañana			Turno tarde		
	Cargas [%]	Tiempo requerido [horas]	Bocas requeridas	Cargas [%]	Tiempo requerido [horas]	Bocas requeridas
Utilitarios	90	4,410	1,103	10	0,490	0,123
Camiones	35	5,588	1,397	65	10,378	2,595

Tabla 6: Cálculo de requerimiento teórico de bocas por turno.
Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa.

En la tabla anterior, se observa que los turnos más solicitados, para cada tipo de vehículo, son aquellos que requieren un mayor número de bocas, por lo tanto, se consideran dichos valores para determinar la cantidad de andenes a implementar. Según el cálculo teórico, los utilitarios necesitan **1,103** bocas, es decir, 1 o 2, y los camiones **2,595**, por ende, 2 o 3.

Por lo general, en los cálculos teóricos se realizan simplificaciones de la realidad, que facilitan la resolución del problema de forma analítica. En este caso, se asume que los arribos tienen una distribución uniforme, es decir, que el tiempo entre llegadas es siempre el mismo. En la realidad, cada uno de los tiempos es independiente del resto y no se conocen con antelación de forma exacta. Para modelar esta incertidumbre, en el estudio de fenómenos de espera, es muy habitual valerse de la distribución exponencial. Asumiendo

que los tiempos entre llegadas están exponencialmente distribuidos, se simplifica mucho el análisis de una cola.

En este punto, resulta importante destacar que la distribución normal previamente adoptada describe el comportamiento de los arribos **entre los distintos días**, lo que difiere al tiempo entre arribos que tiene cada tipo de vehículo durante la jornada laboral.

Por otra parte, para la cantidad de cargas se utiliza la media, sin tener en cuenta la desviación estándar de los datos, es decir, se considera que en todas las corridas llegan la misma cantidad de vehículos. En la realidad, no es lo que sucede, sino que la cantidad diaria varía dentro del rango de seis desviaciones, tres para cada lado respecto de la media, siendo esto una propiedad de la distribución normal.

3.5 Modelo base

3.5.1 Construcción del modelo base

A través de un software de simulación, se pueden generar modelos más representativos de la realidad, evitando las simplificaciones del cálculo teórico, de modo que se puedan obtener mejores resultados, ajustados a las consideraciones del sistema bajo estudio.

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 6, es necesario determinar un número entero de bocas ya que los resultados son números decimales. En ambos casos, se puede optar por el número entero superior o inferior. Es importante mencionar que, en el caso de los utilitarios, si se implementan 2 muelles, probablemente se logre satisfacer la demanda, sin embargo, la capacidad de la instalación resultaría ociosa, debido a la proximidad a 1 del resultado de la cantidad de bocas para este tipo de vehículos (1,103). No obstante, si se optara por implementar una sola boca en el modelo, es probable que el resultado sea el contrario, no se logre satisfacer la demanda con seguridad y la instalación este próxima al máximo de su capacidad. En el caso de los camiones, ocurre una situación similar, pero con un menor tiempo ocioso, ya que el resultado de la cantidad de andenes es 2,595.

En este caso, se propone un modelo base con 3 bocas para camiones y 2 para utilitarios para llevar a cabo una simulación y poder validar el modelo construido. En este punto, es necesario aclarar que el modelo estará validado si el tiempo entre los arribos posee una distribución exponencial y si las cantidades de vehículos que llegan en las distintas corridas tienden a la media de la distribución normal. Una vez lograda la validación, se pueden proponer modificaciones al sistema.

De manera que se entienda mejor el modelo, hay que tener en mente cómo sería el esquema real del sistema. Para ello, se debe considerar la entrada de los vehículos, la

ubicación en una cola de espera para ser atendidos, la boca de carga donde se efectúa la carga del pedido y, por último, la salida.

Para realizar la simulación, se plantea el modelo en el software *FlexSim*. En este caso particular, hay 4 tipos de vehículos, que a su vez están divididos en dos grupos, donde cada grupo tiene su cola de espera y, además, tiene cierta cantidad de bocas de acuerdo con el cálculo teórico. La representación del modelo se muestra a continuación en la Figura 5 y la Figura 6, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se diferencian los arribos por turnos de trabajo.
- Se realiza una cola para camiones (Cola 1) y otra para utilitarios (Cola 2).
- En el turno mañana, las bocas de carga trabajan de 8:00 a 12:00.
- Para el turno tarde, las bocas trabajan a partir de las 13:00. Si bien el cierre de las puertas del establecimiento se da a las 17:00, las bocas finalizan su actividad una vez que todos los vehículos han sido atendidos.

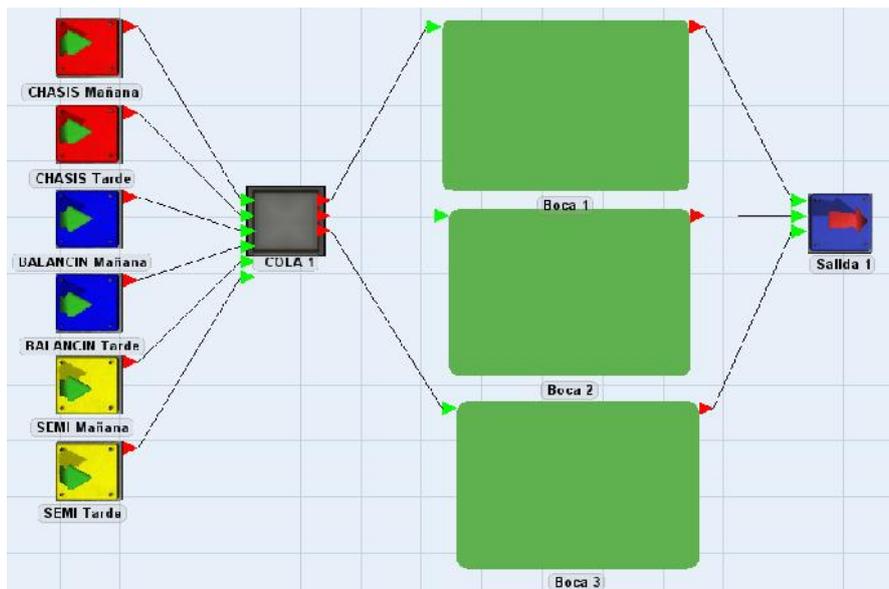


Figura 5: Modelo base en *FlexSim*. Bocas 1, 2 y 3 para camiones.
Fuente: *FlexSim*.

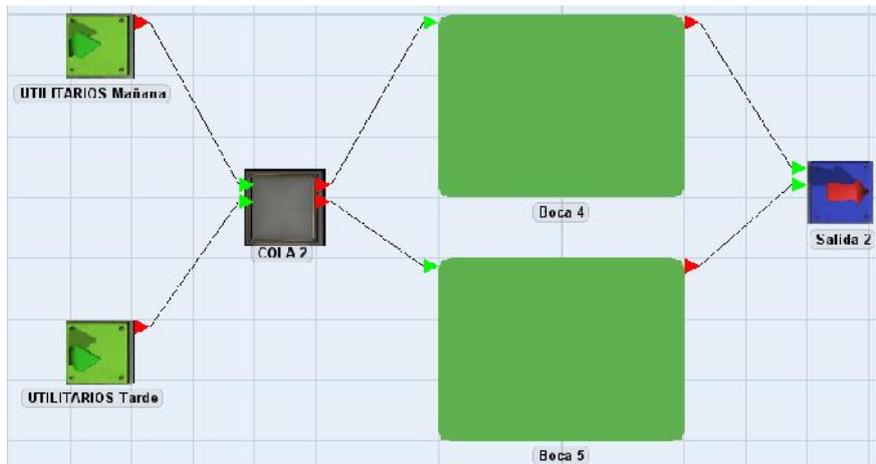


Figura 6: Modelo base en *FlexSim*. Bocas 4 y 5 para utilitarios.
Fuente: *FlexSim*.

En términos de simulación, los vehículos se generan mediante las “*Sources*”, diferenciadas por color de acuerdo al tipo de vehículo. Además, cada tipo de vehículo tiene una *Source* para cada turno de trabajo. Luego, los vehículos van a su cola (en *FlexSim*, *Queue*) correspondiente como lo indica la flecha, respetando el orden de llegada. A partir de ese momento, pueden darse 2 situaciones: Si las bocas (*Processor*) están ocupadas, se quedan en la cola hasta que una se desocupe y van hacia ella. Y si las bocas están vacías, van a una de ellas aleatoriamente. Una vez que pasan por la boca, se dirigen a su salida o *Sink* correspondiente.

Por lo tanto, para la construcción del modelo se utilizan los siguientes recursos:

- **8 *Source* para los distintos tipos de vehículos:** Chasis Mañana, Chasis Tarde, Balancín Mañana, Balancín Tarde, Semi Mañana, Semi Tarde, Utilitarios Mañana, Utilitarios Tarde. Los puertos de salida de éstos van conectados a los puertos de entrada de la Cola 1, para los vehículos de mayor porte, y de la Cola 2, para los utilitarios.
- **2 *Queue*:** Cola 1 y Cola 2. El puerto de salida de estas colas está conectado al puerto de entrada de sus respectivas bocas.
- **5 *Processor* para las bocas:** Boca 1, 2 y 3 son las encargadas de atender a los Chasis, Balancín y Semi, mientras que las Bocas 4 y 5 son las encargadas de atender a los utilitarios. El puerto de salida de cada *Processor* va conectado al puerto de entrada de su respectivo *Sink*.
- **2 *Sink* para representar la salida de los vehículos del sistema:** Salida 1, donde se retiran los vehículos de mayor porte y Salida 2, donde se retiran los utilitarios.

Después de construir el modelo, se procede a realizar la programación del mismo. Por un lado, dado que hay 8 fuentes, donde cada una corresponde a un tipo de vehículo y a su respectivo turno de trabajo, se las diferencia asignándoles un *ItemType* distinto a cada uno y, a su vez, se establece el comportamiento de llegada. El *ItemType* permite que cada boca identifique de qué elemento se trata y cuál es su tiempo de proceso. Por ejemplo: la *Source* 'Utilitarios Mañana' genera, como su nombre lo indica, los utilitarios que concurren durante el turno mañana, a éstos se le asigna el *ItemType* = 1, por consiguiente, cuando *flowitem* ingrese a la boca 4 o 5 y ésta identifique su *ItemType* como 1, podrá saber cuánto tiempo tiene que demorar dicho elemento en ser procesado.

Luego, para establecer el comportamiento entre llegadas, *FlexSim* permite múltiples opciones para describir el comportamiento de los *flowitem*s que una *Source* genera, en este caso, se le asigna una distribución exponencial. En la Figura 7, se pueden observar las variables de dicha distribución que son: *Location*, *Scale* y *Stream*. Donde en todos los casos *location* es 0 ya que representa un retraso en el comienzo de la función y en *Stream*, mediante el comando *getstream(current)*, se le indica al software que devuelve una secuencia aleatoria única asociada con el objeto en cuestión. El parámetro que varía para cada *Source* es *Scale* que representa el tiempo entre llegadas en segundos. Por ejemplo, para el caso de los Chasis, se sabe que el promedio de todas las corridas debe tender a 22 vehículos, donde el 65% arriban a la tarde, es decir, 14,3 aproximadamente. Por lo tanto, si 14,3 vehículos deben ingresar en 14400 segundos (4 horas), entonces un vehículo debe ingresar cada 1007 segundos aproximadamente. Éste último valor es el que se coloca en *Scale* al configurar las propiedades de la *Source* que genera los chasis de la tarde. (Ver Figura 7)

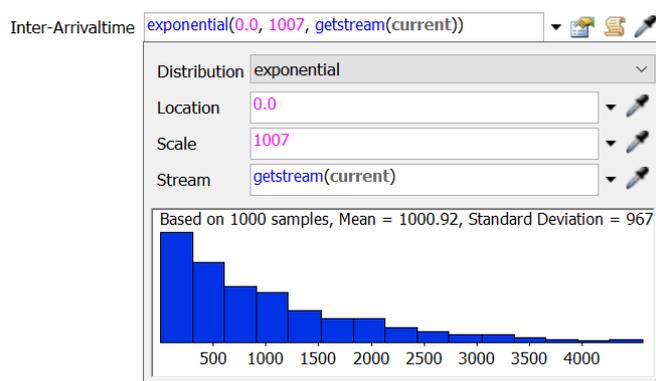


Figura 7: Asignación de distribución exponencial en *Source*.
Fuente: *FlexSim*.

Lo siguiente que hay que hacer, es verificar que las *Queue* estén en el formato *FIFO*, es decir, que el primer elemento que llegue sea el primero que sale.

Posteriormente, a cada boca se le indica el *ProcessTime*, es decir, cuánto tiempo tarda en procesarse cada vehículo según la Tabla 4. Esto es posible mediante una función que permite que la boca varíe su tiempo de procesamiento de acuerdo al elemento que esté presente en ella. Por lo tanto, a las Bocas 1, 2 y 3 se les asigna el tiempo neto de carga para los Chasis, Balancín y Semi. Mientras que a las Bocas 3 y 4, se les asigna el tiempo neto de carga para los utilitarios.

Para finalizar con la construcción del modelo, se generan *TimeTables* para establecer la ventana horaria de cada recurso. En la Tabla 7, se aprecian las cuatro *TimeTables* que son utilizadas en el modelo base.

Nº de <i>TimeTables</i>	Horario	Recurso afectado	Descripción
1	8:00 a 12:00	Utilitario Mañana Chasis Mañana Balancín Mañana Semi Mañana	Establece el rango horario en el que las 4 fuentes del turno mañana generan sus <i>flowitems</i> .
2	13:00 a 17:00	Utilitario Tarde Chasis Tarde Balancín Tarde Semi Tarde	Establece el rango horario en el que las 4 fuentes del turno tarde generan sus <i>flowitems</i> .
3	8:00 a 12:00 13:00 a 17:00	Bocas 1 a 5	Establece el rango horario de funcionamiento de las bocas, donde son procesados los <i>flowitems</i> .
4	8:00 a 17:00	Cola 1 Cola 2	Establece el rango horario de funcionamiento de las colas, donde se admiten los <i>flowitems</i> para iniciar la espera.

Tabla 7: *Time Tables* utilizadas en el modelo base.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Validación del diseño por simulación

Luego de construir el modelo, se procede a simular. Teniendo en cuenta que la teoría propone realizar entre 3 y 10 corridas, en este caso se realizan 10 réplicas y, a su vez, se eliminan aquellas 2 correspondiente a la mejor y la peor corrida en base a los resultados, quedando un total de 8 corridas para llevar a cabo el análisis. De esta forma, se busca disminuir la variabilidad y lograr un error inferior al 5% con respecto a la media diaria de arribos en cada tipo de vehículo. Una vez finalizada la simulación, se analizan los resultados obtenidos hasta el momento promediando las 8 corridas, con el objetivo de validar el modelo base. Para ello, se extrae de *FlexSim* información correspondiente a las unidades que arriban al establecimiento por tipo de vehículo.

A continuación, se presentan las cantidades promedio de vehículos que ingresan, discriminados por tipo y por turno de trabajo, tal como puede apreciarse en la Figura 8.

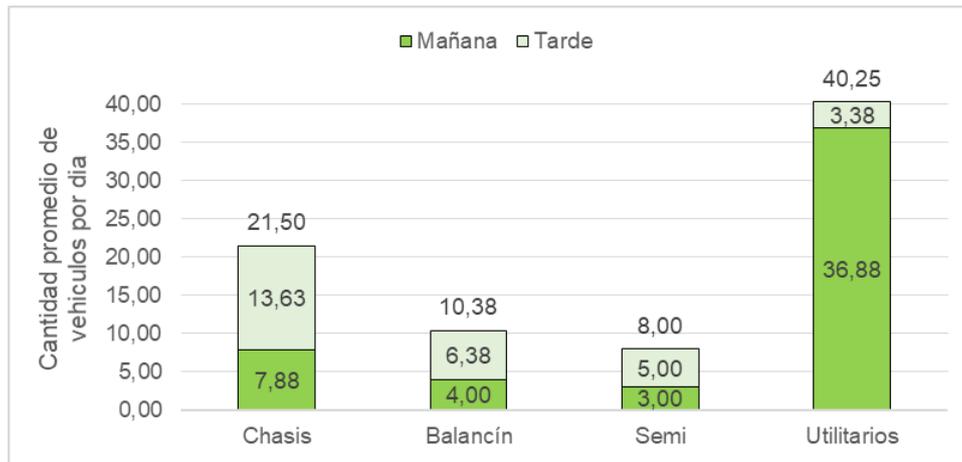


Figura 8: Cantidad promedio de vehículos discriminados por tipo y turno. Modelo base.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Como se menciona anteriormente, los arribos de C, B, S y U entre las distintas corridas tienen una distribución normal con media 22, 10, 8 y 42 respectivamente. Si se observa la Figura 8, la suma entre los valores promedio de ambos turnos para cada tipo de vehículos, tienden a los valores medios de cada distribución. Por ejemplo, en el caso de los utilitarios, sumando 36,88 del turno mañana y 3,38 del turno tarde, se obtiene un promedio total de arribos de 40,25, que tiende a la media diaria.

Para corroborar que los resultados presentan un error inferior al 5%, se presentan los resultados en la Tabla 8.

Tipo de Vehículo	Turno Mañana	Turno Tarde	Total de arribos	Error (%)
Chasis	7,88	13,63	21,50	2,27
Balancín	4,00	6,38	10,38	3,75
Semi	3,00	5,00	8,00	0,00
Utilitarios	36,88	3,38	40,25	4,17

Tabla 8: Error porcentual de la cantidad promedio de vehículos respecto de la media.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

A raíz de los resultados obtenidos, **se valida el modelo base**, ya que, en la construcción del mismo, se pudo asignar un comportamiento exponencial entre llegadas y, además, las cantidades promedio de los arribos diarios tienden a los valores medios establecidos con un error inferior al 5%.

3.6 Análisis de configuraciones

Una vez validado el modelo base, se procede a realizar el análisis de las diferentes configuraciones posibles, haciendo referencia a la cantidad de bocas a implementar, tanto para camiones como para utilitarios. La primera configuración corresponde a la cantidad de bocas del modelo base, donde se proponen 3 muelles de carga para camiones y 2 para utilitarios. Por otro lado, en la segunda configuración, se analiza la posibilidad de implementar una boca menos para cada grupo de vehículos, es decir, 2 bocas para camiones y 1 para utilitarios.

Teniendo en cuenta que los arribos de los camiones y los arribos de los utilitarios son independientes unos con los otros, dichas configuraciones podrían combinarse, de acuerdo con aquellas que arrojen mejores resultados de los indicadores definidos.

3.6.1 Nivel de servicio y nivel de eficiencia

Tal como se menciona anteriormente, los indicadores son indispensables para determinar la configuración adecuada, teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la empresa. En ambas configuraciones, se evalúan todos los resultados que determinan dos indicadores: el nivel de servicio y el nivel de eficiencia de la instalación.

En primer lugar, en la ecuación 3, se define el nivel de servicio (NS) al cliente que debe ser mayor al 90%. Si bien las empresas suelen buscar un nivel de servicio mayor al 95%, en este caso, es importante recordar que los cálculos son realizados tomando al pico de la demanda como valor medio. Por consiguiente, si la instalación planteada obtiene un NS mayor al previamente mencionado, la compañía se asegura que, para el resto de los días, el nivel de servicio será superior que el obtenido para el día de mayor demanda.

Este indicador tiene en cuenta la cantidad de vehículos que esperan en la cola por debajo de cierta cantidad de minutos. El objetivo de este indicador se centra en evaluar el nivel de servicio para diferentes lapsos de espera.

$$\text{Nivel de servicio } [\%] = \frac{\text{vehiculos que esperan X minutos o menos}}{\text{vehiculos que ingresan}} \times 100 > \mathbf{90\%} \quad (3)$$

En la ecuación anterior, el valor de X corresponde a los minutos de espera que se quieran evaluar. Para el modelo bajo estudio, se incrementa dicho límite cada 10 minutos, es decir, 10, 20, 30, etcétera, hasta encontrar el mínimo tiempo de espera que asegure un nivel de 90% o superior.

Por otro lado, el indicador de nivel de eficiencia de la instalación corresponde a la tasa promedio de ocupación, cuyo valor debe estar comprendido entre 85% y 95%. El límite

inferior asegura a la empresa que sus recursos no son subutilizados, mientras que el límite superior permite tener un margen mínimo de 5%, para atender posibles eventualidades a la hora de llevar a cabo las cargas, tales como, demoras en el área de picking, errores en la composición de los pedidos, mantenimientos correctivos, incidentes laborales, entre otros.

3.6.2 Configuración 1

3.6.2.1 Tiempo de permanencia en cola

Con el objetivo de estimar el nivel de servicio, se debe extraer de la simulación, el tiempo de permanencia en la cola de espera de cada vehículo. Luego, se agrupan dichos resultados según la espera en los diferentes intervalos de tiempo, diferenciados por tipo de vehículos y por turno.

En las Figuras 9 y 10, correspondiente al turno mañana y tarde respectivamente, se presentan los niveles de servicio obtenidos para los camiones, en función del límite de tiempo de espera. El área verde representa el porcentaje de clientes que espera **menos** del límite en cada una de las barras y el área roja es la proporción de clientes que espera **más** tiempo que el valor adoptado. Por ejemplo, de la lectura de la Figura 9, se puede apreciar que, si se establece un límite de 10 minutos, se puede asegurar un nivel de servicio de 91,99%, en cambio, si el límite asciende a 20 minutos, el nivel de servicio es de 98,48 %.

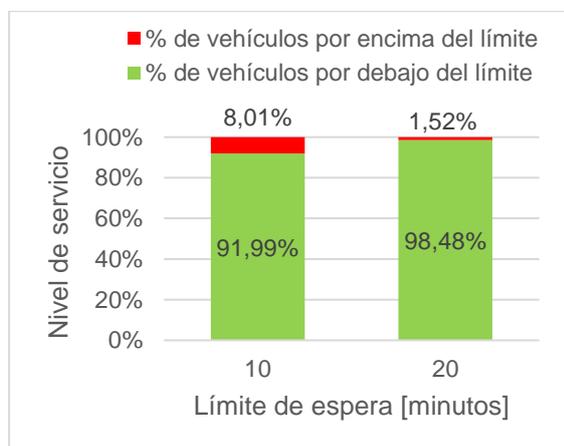


Figura 9: Nivel de servicio para camiones en turno mañana según límite de espera. Configuración 1. Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

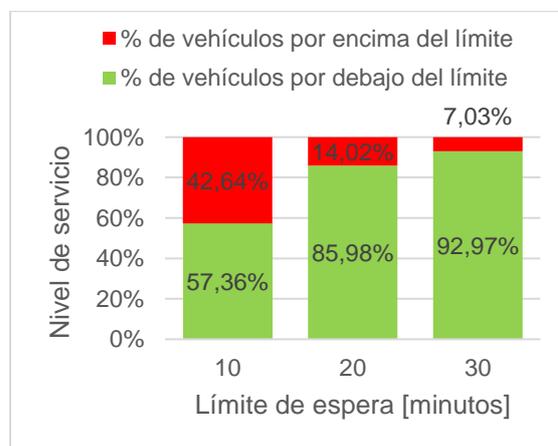


Figura 10: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Configuración 1. Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Se puede observar que el nivel de servicio aumenta, a medida que aumenta el límite de espera establecido. En este caso, considerando que el turno tarde es el más solicitado para este tipo de vehículos, se puede establecer un límite de 30 minutos asegurando un 90% de nivel de servicio.

En el caso de los utilitarios, correspondiente al turno mañana, se obtiene que se puede brindar un nivel de servicio de 96,71% estableciendo un límite de espera de tan solo 10 minutos. En el turno tarde, ningún utilitario espera más de 10 minutos, por lo cual, el nivel de servicio es de 100% para todos los límites de espera.

Además, se puede analizar la espera máxima y promedio por día, realizando un promedio de dichos parámetros en cada una de las corridas. Esta información puede observarse en la Tabla 9.

Tiempo de espera [minutos]	Camiones		Utilitarios	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Máximo	9,69	30,44	8,93	0,00
Promedio	1,83	9,52	1,46	0,00

Tabla 9: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. Configuración 1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Los resultados de la tabla anterior reflejan bajos tiempos de espera en relación con el tiempo de servicio, cuya demora es, en promedio, 7, 17, 28 y 38 minutos, para U, C, B y S respectivamente. Por ejemplo, un tiempo promedio de espera de 9,52 minutos, para los camiones en el turno tarde, se considera bajo, teniendo en cuenta un tiempo promedio de proceso de 17 minutos como mínimo, correspondiente a la carga de C. Lo mismo sucede con los utilitarios, ya que una espera promedio de 1,46 minutos por la mañana, es baja en comparación con el tiempo de atención promedio de 7 minutos.

El tiempo de espera depende directamente de la cantidad de vehículos en la cola, es por esto que es importante analizar dicha variable, ya que el cliente al arribar al establecimiento evalúa su permanencia en función del número de vehículos delante suyo. En las Tablas 10 y 11, se aprecia la probabilidad relativa y la probabilidad acumulada según las distintas cantidades de vehículos en la Cola 1, durante el turno tarde, y en la Cola 2, durante el turno mañana, respectivamente. Por ejemplo, de la lectura de la Tabla 10, se desprende que la probabilidad de que la Cola 1 esté vacía cuando un cliente arriba es de 56,48% y, además, puede afirmarse que existe una probabilidad del 93,99% de que haya 3 o menos vehículos cuando dicho cliente llegue.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	56,48	56,48
1	16,53	73,01
2	14,91	87,92
3	6,07	93,99
4	3,26	97,25
5	1,41	98,66
6	1,34	100

Tabla 10: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Configuración 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	86,56	86,56
1	8,79	95,35
2	2,31	97,66
3	1,59	99,25
4	0,69	99,94
5	0,06	100

Tabla 11: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Configuración 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

A partir de las tablas anteriores, se puede extraer la cantidad máxima, la cantidad promedio de vehículos y el porcentaje de ocupación de cada cola. En primer lugar, se observa que en la Cola 1, el máximo es de 6 camiones, mientras que en la Cola 2, el máximo de utilitarios es de 5 unidades.

Por otra parte, la cantidad promedio de vehículos se obtiene reconociendo aquella fila de la tabla que contenga la probabilidad acumulada de 50% o el valor inmediato superior. Una vez identificada dicha fila, se observa su correspondiente cantidad de vehículos en cola, y se define al promedio como un resultado que oscila entre dicha cantidad y la perteneciente a la siguiente fila, teniendo en cuenta que se trata de una variable discreta. Por lo tanto, para ambas colas, un cliente se encuentra, en promedio, con entre 0 y 1 vehículos esperando delante de él. Éste último valor puede resultar alentador para el cliente, ya que puede estimar que debe esperar poco tiempo para ser atendido y, por ende, decidir quedarse en la cola.

Por último, la ocupación de la cola es igual a la probabilidad de que haya al menos un vehículo en la misma. En otras palabras, la cola está ocupada siempre y cuando no esté vacía, por lo tanto, se obtiene el porcentaje de ocupación de la cola 1 y la cola 2, según la ecuación 4.

$$\text{Ocupación cola} [\%] = 100 \% - \text{probabilidad de que la cola este vacía} \quad (4)$$

$$\text{Ocupación Cola 1} = 100\% - 56,48\% = \mathbf{43,53\%}$$

$$\text{Ocupación Cola 2} = 100\% - 86,56\% = \mathbf{13,44\%}$$

3.6.2.2 Tasa de ocupación de bocas

Para determinar la eficiencia de la instalación, se debe analizar los indicadores de las tasas de ocupación de cada boca, donde la empresa establece una utilización de las bocas mayor al 85% e inferior al 95%. En la Figura 11, se presenta la información correspondiente, diferenciando por turno de trabajo, con el objetivo de identificar la carga de trabajo en ambos momentos de la jornada, recordando que el 65% de los camiones llegan por la tarde y el 90% de los utilitarios por la mañana.

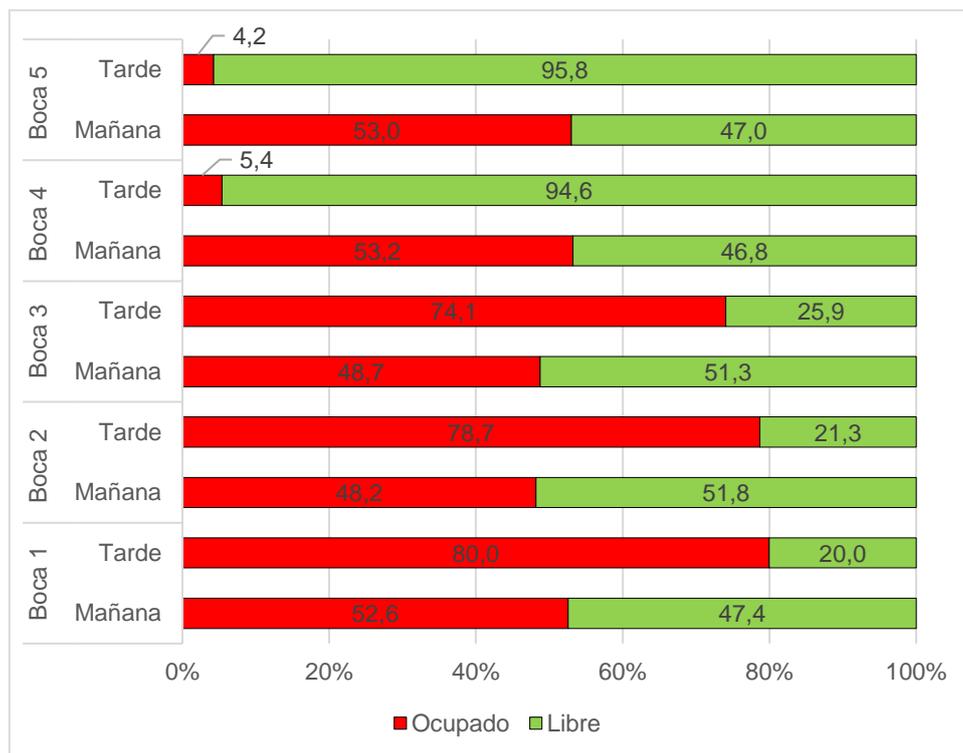


Figura 11: Tasas de ocupación por boca y turno. Configuración 1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Como puede apreciarse en la figura precedente, si se analiza las bocas 1, 2 y 3 de manera aislada, se encuentran cercanas al valor límite de ocupación de 85% en el turno tarde, donde arriban el 65% de los vehículos de mayor porte, pero no llegan al mínimo rendimiento exigido por la empresa. En lo que respecta al turno mañana, dichas bocas poseen más tiempo libre ya que solo deben atender al 35 % de los camiones.

En el caso de las bocas 4 y 5, que atienden utilitarios, se puede observar en ambos turnos una baja tasa de ocupación, esto implica la subutilización de los recursos debido a un gran tiempo ocioso. Estos resultados, se corresponden con la hipótesis planteada, donde a priori se estima que la capacidad de instalación sería ociosa para el caso de los utilitarios, debido a la elección de utilizar 2 bocas para este tipo de vehículos. Si bien en el turno tarde la boca 4 alcanza una tasa de ocupación de 53,2%, ésta no es suficiente para cubrir el

mínimo de 85%. La diferencia de rendimiento que se aprecia entre los turnos mañana y tarde, es consecuencia de que, durante el primer turno arriba el 90% de los utilitarios, mientras que en el segundo el 10 % restante.

En la ecuación 5, se define un indicador que permite promediar la tasa de ocupación, donde n es la cantidad de bocas que posee la respectiva configuración. Dado que las bocas 1, 2 y 3 atienden a los mismos tipos de vehículos, se promedia las 3 tasas de ocupación por turno de trabajo, procediendo de forma análoga para las bocas 4 y 5. (Aclaración: TO = tasa de ocupación; B = boca)

$$\text{Tasa promedio de ocupación} [\%] = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n TO B_i \quad (5)$$

$$\text{Tasa promedio de ocupación C, B y S Mañana} = \frac{52.6 + 48.2 + 48.7}{3} = \mathbf{49,83\%}$$

$$\text{Tasa promedio de ocupación C, B y S Tarde} = \frac{80 + 78.7 + 74.1}{3} = \mathbf{77,6\%}$$

$$\text{Tasa promedio de ocupación U Mañana} = \frac{53.2 + 53}{2} = \mathbf{53,1\%}$$

$$\text{Tasa promedio de ocupación U Tarde} = \frac{5.4 + 4.2}{2} = \mathbf{4,8\%}$$

Como puede observarse, en ningún caso se alcanza la tasa de ocupación mínima del rango óptimo, por lo cual, no se logran alcanzar los niveles de eficiencia deseados.

Para concluir con el análisis correspondiente al modelo base, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la Tabla 12. (Aclaración: TPO = Tasa Promedio de Ocupación)

Parámetro		Camiones	Utilitarios
Nivel de servicio [%]		92,97	96,71
Límite de espera [minutos]		30	10
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	9,52	1,46
	Máximo	30,44	8,93
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	0 - 1
	Máximo	6	5
Ocupación de cola [%]		43,53	13,44
TPO [%]		77,60	53,10

Tabla 12: Resultados Configuración 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En esta primera configuración, los límites de tiempo de espera para asegurar un nivel de servicio mayor al 90% son aceptables para ambos casos, siendo estos de 30 minutos, para camiones por la tarde, y 10 minutos, para utilitarios por la mañana. Por otra parte, los tiempos de espera promedio son de 9,52 y 1,46 minutos, para la Cola 1 y la Cola 2 respectivamente, en los turnos con mayor volumen, lo que se consideran esperas leves teniendo en cuenta los tiempos de proceso para los distintos tipos de vehículos. Finalmente, los niveles de eficiencia resultantes son 77,6% para camiones y 52,1% para utilitarios, es decir, que están por debajo del intervalo de 85% y 95%, por lo que no alcanzan los niveles deseados. No obstante, dado que la instalación está pensada a largo plazo, con los resultados hasta el momento, se cuenta con capacidad de respuesta ante un aumento de la demanda.

3.6.3 Configuración 2

Para la segunda configuración se evalúa la efectividad del sistema implementando 2 bocas para camiones y 1 boca para utilitarios. Al tratarse de un nuevo modelo, la cantidad de réplicas difiere de la configuración 1, en este caso, se realizan 12 corridas y se eliminan la mejor y la peor réplica. Esto se debe a que se busca minimizar el error en referencia a la cantidad media de arribos, por debajo del 5%.

En la Tabla 13, se presentan las cantidades promedio de arribos por turno de trabajo y, además, se muestra el error entre las cantidades diarias resultantes en relación con la media esperada.

Tipo de vehículo	Turno Mañana	Turno Tarde	Total de arribos	Error [%]
Chasis	8,30	13,10	21,40	2,73
Balancín	3,00	7,50	10,50	5,00
Semi	3,50	4,80	8,30	3,75
Utilitarios	39,20	4,70	43,90	4,52

Tabla 13: Cantidad promedio de vehículos y error porcentual respecto de la media. Configuración 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

De la Tabla 13, se evidencia que el modelo implementado para representar la configuración 2 posee un error igual o inferior al 5% respecto de la media de arribos diarios.

3.6.3.1 Tiempo de permanencia en cola

En el caso de la configuración 2, se espera un aumento en el tiempo que un vehículo permanece en la cola, debido a la reducción de las bocas de carga. A continuación,

en las Figuras 12 y 13, se presentan los porcentajes de camiones, según cada límite de espera, correspondientes al turno mañana y tarde respectivamente.

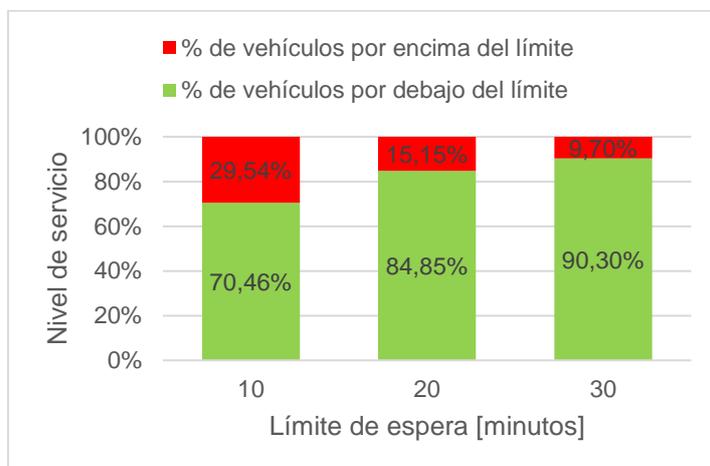


Figura 12: Nivel de servicio para camiones en turno mañana según límite de espera. Configuración 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

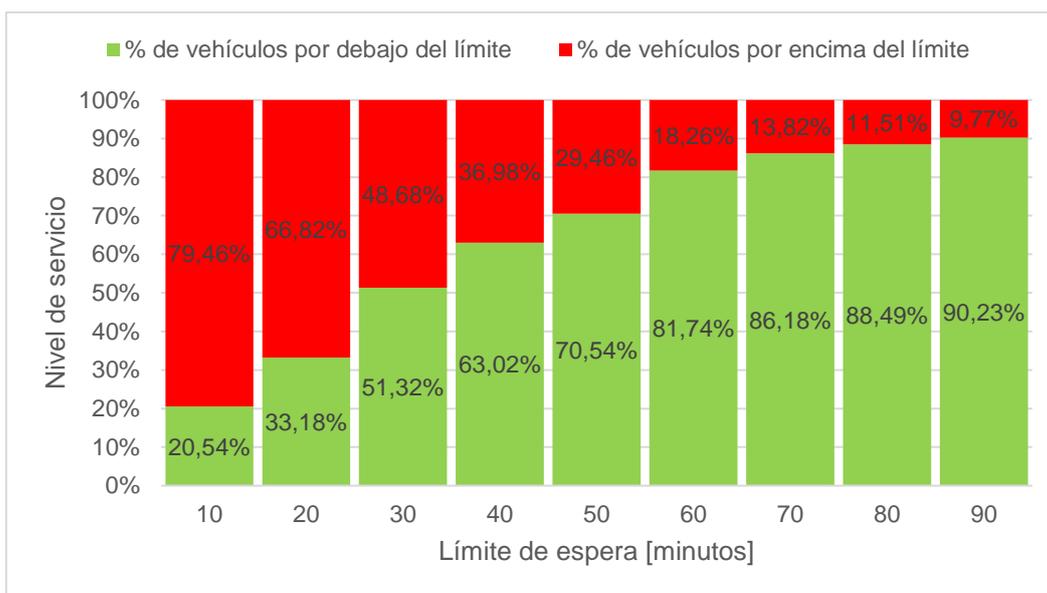


Figura 13: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Configuración 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Como puede apreciarse, hay un aumento significativo en los minutos de espera. En el turno mañana (Figura 12), para cumplir con un nivel de servicio mayor al 90%, se debe tener en cuenta un límite de 30 minutos, dado que el 90,30% de los camiones, durante el turno matutino, esperan por debajo de dicho límite. En el caso del turno tarde (Figura 13), los camiones deben esperar aún más, considerando que en dicho periodo se acumula el 65% de los arribos diarios. Además, para asegurar un nivel de servicio de 90%, la empresa debe establecer un límite de 90 minutos, el cual resulta un valor de espera muy elevado.

Para los utilitarios, se espera una gran concentración de vehículos en cola durante el turno mañana, ya que el 90% de ellos arriban durante las primeras 4 horas de la jornada y, en esta configuración, son atendidos por una única boca de carga. En la Figura 14, se presentan los porcentajes de utilitarios, según el límite de espera, correspondientes al turno mañana.

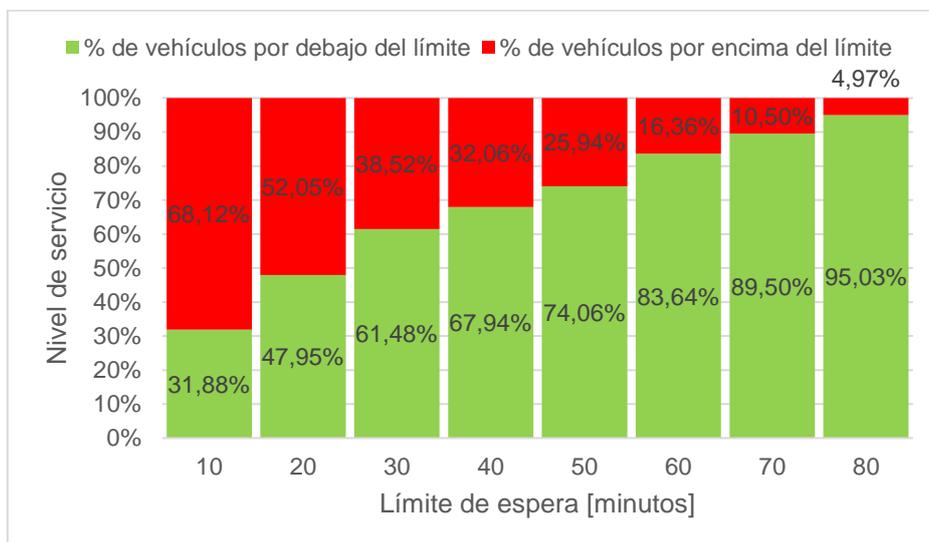


Figura 14: Nivel de servicio para utilitarios en turno mañana según límite de espera. Configuración 2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Para el caso de los utilitarios, en su período de mayor concentración de vehículos, se logra cumplir con el nivel de servicio deseado de 90%, para un límite de espera de 80 minutos. Cabe destacar que, durante el turno tarde arriba el 10% del total de arribos diarios de utilitarios. Por ende, la actividad es muy baja en dicho periodo, donde el 98,75% de los utilitarios esperan menos de 10 minutos en ser atendidos.

Es evidente que, al disminuir el número de bocas, aumentan los tiempos de espera, debido al incremento de las cantidades de vehículos en cola. Procediendo de forma análoga a la Configuración 1, se pueden extraer los valores máximos y promedios de tiempos de espera para cada tipo de vehículo y según el turno de trabajo. (Ver Tabla 14)

Tiempo de espera [minutos]	Camiones		Utilitarios	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Máximo	24,62	97,05	61,67	2,36
Promedio	8,07	37,88	30,22	0,70

Tabla 14: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. Configuración 2.
Fuente: Elaboración propia.

En este caso, si comparamos los resultados de la tabla anterior con los tiempos de servicio para cada tipo de vehículo, se consideran esperas significativas, recordando que los tiempos de proceso son, en promedio, 7, 17, 28 y 38 minutos para U, C, B y S respectivamente. Para el caso de los camiones en el turno tarde, cuentan con una espera promedio elevada, ya que, por ejemplo, los Chasis deben aguardar más del doble del tiempo que tardan en ser cargados. Además, los utilitarios deben esperar, en promedio, más de 4 veces el tiempo de proceso, y para ambos tipos de vehículos, los tiempos máximos también son muy elevados en función a la carga.

Análogamente a la Configuración 1, en las Tablas 15 y 16, se presentan la probabilidad relativa y acumulada para ambas colas. Cabe destacar que, dichos valores son obtenidos en función al comportamiento que presenta cada grupo de vehículos en su turno más solicitado, esto es, turno tarde para camiones y turno mañana para utilitarios. Por ejemplo, al observar la Tabla 15, se obtiene que existe una probabilidad del 2,29% de que haya 7 camiones en la Cola 1 y, además, se puede afirmar que la probabilidad de que haya 4 o menos vehículos cuando un cliente arriba a la empresa es del 73,26%.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]	Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	17,31	17,31	7	2,29	88,96
1	14,03	31,34	8	2,25	91,21
2	17,84	49,19	9	3,26	94,48
3	12,71	61,90	10	2,26	96,74
4	11,36	73,26	11	0,87	97,61
5	8,02	81,29	12	1,36	98,97
6	5,39	86,68	13	1,02	100

Tabla 15: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Configuración 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]	Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	19,75	19,75	10	3,46	88,81
1	13,80	33,54	11	4,36	93,17
2	10,36	43,90	12	2,02	95,19
3	9,84	53,74	13	1,31	96,49
4	6,96	60,71	14	0,57	97,07
5	4,55	65,26	15	0,38	97,45
6	3,80	69,06	16	0,90	98,35
7	4,62	73,68	17	1,13	99,48
8	7,21	80,89	18	0,42	99,90
9	4,46	85,35	19	0,10	100

Tabla 16: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Configuración 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

A partir de las tablas anteriores, se extraen la cantidad máxima, la cantidad promedio de vehículos y el porcentaje de ocupación de cada cola. En primer lugar, se observa que en la Cola 1, el máximo es de 13 camiones, mientras que en la Cola 2, el máximo de utilitarios es de 19 unidades.

Por otra parte, se tiene en cuenta la cantidad promedio de vehículos en cola siendo éste un factor que afecta directamente a la satisfacción del cliente. La cantidad promedio de vehículos de cada cola se aprecia reconociendo aquella fila de la tabla que contenga la probabilidad acumulada de 50% o el valor inmediato superior. Por lo tanto, para ambas colas, se obtiene que un vehículo se encuentra, en promedio, con entre 3 y 4 cliente esperando delante de él. Este último valor puede resultar elevado para los clientes que cuentan con camiones considerando que, como mínimo, cada uno de ellos tardará 17 minutos en ser atendido.

Por último, se obtiene la ocupación de la cola, según la ecuación 4.

$$\text{Ocupación Cola 1} = 100\% - 17,31\% = \mathbf{82,69\%}$$

$$\text{Ocupación Cola 2} = 100\% - 19,75\% = \mathbf{80,25\%}$$

3.6.3.2 Tasa de ocupación de bocas

Procediendo de forma análoga al análisis de bocas de la primera configuración, en principio se presenta la información correspondiente a la tasa de ocupación de las bocas, diferenciando por turno de trabajo, con el objetivo de identificar la carga de trabajo en ambos

momentos de la jornada. Dicha información puede observarse en la Figura 15, recordando que el 65% de los camiones llegan por la tarde y el 90% de los utilitarios por la mañana.

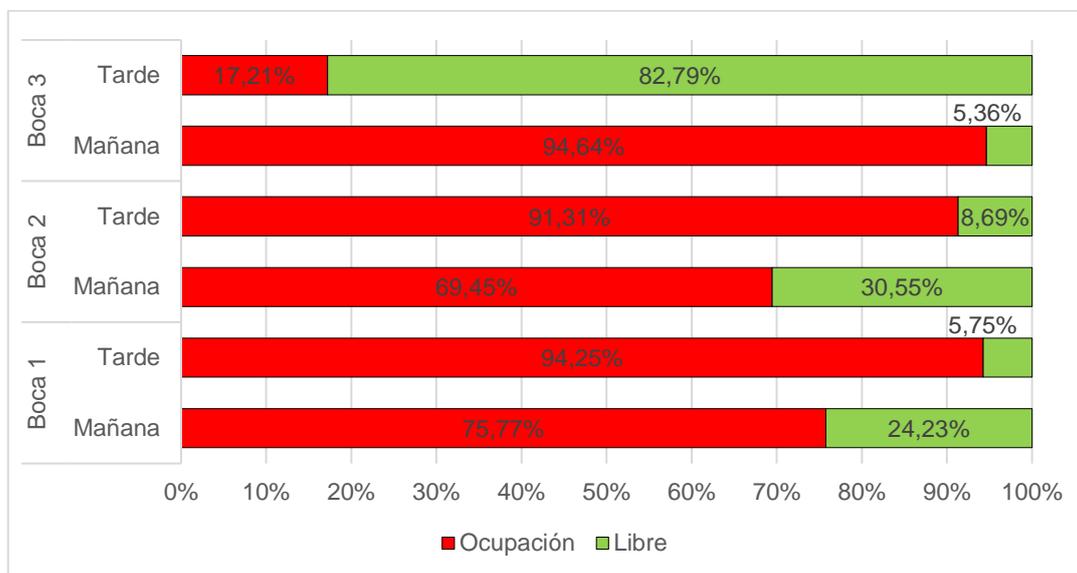


Figura 15: Tasas de ocupación por boca y turno. Configuración 2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Como puede apreciarse en la figura anterior, en las bocas 1 y 2, correspondientes a los vehículos de mayor porte, se presenta una tasa de ocupación óptima durante la tarde, y una reducción de la misma durante la mañana. Lógicamente, resulta una mayor ocupación en todas las bocas, para ambos tipos de vehículos, con respecto a la primera configuración.

Por otra parte, la boca 3, cuya actividad es destinada a la carga de los utilitarios, presenta una tasa de ocupación óptima durante la mañana, cuyo porcentaje se encuentra entre el 85 y 95% esperado por la empresa.

Agrupando las estadísticas de las bocas, por grupo de vehículos y por turno, se obtienen los siguientes indicadores según la ecuación 5.

$$\text{Tasa promedio de ocupación C, B y S Mañana} = \frac{75,77 + 69,45}{2} = \mathbf{72,61\%}$$

$$\text{Tasa promedio de ocupación C, B y S Tarde} = \frac{94,25 + 91,31}{2} = \mathbf{92,78\%}$$

$$\text{Tasa promedio de ocupación U Mañana(\%)} = \mathbf{94,64\%}$$

$$\text{Tasa promedio de ocupación U Tarde(\%)} = \mathbf{17,21\%}$$

Como puede observarse, en los turnos con más concentración de vehículos se obtiene una tasa de ocupación dentro del rango óptimo, por lo tanto, se logran alcanzar los niveles de eficiencia deseados.

Por último, se muestran todos los indicadores obtenidos para la presente configuración en la Tabla 17.

Parámetro		Camiones	Utilitarios
Nivel de servicio [%]		90,23	95,03
Límite de espera [minutos]		90	80
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	37,88	30,22
	Máximo	97,05	61,67
Largo en cola [vehículos]	Promedio	3 - 4	3 - 4
	Máximo	13	19
Ocupación de cola [%]		82,69	80,25
TPO [%]		92,78	94,64

Tabla 17: Resultados Configuración 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En la configuración 2, los límites de tiempo de espera para asegurar un nivel de servicio mayor al 90% son elevados para ambos casos, siendo estos de 90 minutos para camiones y 80 para utilitarios. Más aún, los tiempos de espera promedio son de 38 y 30 minutos para la Cola 1 y Cola 2, respectivamente, lo que se consideran esperas significativas, teniendo en cuenta que los tiempos de proceso son de 7, 17, 28 y 38 minutos para los distintos tipos de vehículos. Para finalizar, si bien en esta configuración, los niveles de eficiencia resultan óptimos, por encontrarse dentro del intervalo de 85% y 95%, también es importante tener en cuenta que esta instalación está pensada para el largo plazo. Esto quiere decir que, por ejemplo, ante el aumento de la demanda, la instalación no sería capaz de trabajar eficientemente, ya que, con los valores de demanda actuales, el sistema presenta niveles cercanos al límite superior de 95%.

3.7 Análisis de escenarios

A partir de los resultados de las configuraciones anteriores, se decide realizar el análisis de escenarios en base a la **configuración 1** teniendo en cuenta el nivel de eficiencia y nivel de servicio de la instalación.

Por un lado, si bien la configuración 1 no cumple con la tasa de ocupación mínima del 85% y los niveles de eficiencia resultan óptimos para la configuración 2, es importante tener en cuenta que esta instalación está pensada para el largo plazo. Esto implica que, por ejemplo, ante un aumento de la demanda, la instalación propuesta en la segunda configuración dejaría de funcionar eficientemente, ya que con la demanda actual se encuentra cerca del límite superior del 95%.

Por otra parte, la configuración 1 presenta mejor nivel de servicio que la segunda. Esto se puede apreciar, ya que el límite de tiempo de espera para asegurar un nivel de servicio superior al 90%, en el primer caso, es de 40 minutos para camiones por la tarde, y 10 minutos en ambos turnos para utilitarios. Mientras que, en la configuración 2, es de 90 minutos para los camiones y 80 minutos para utilitarios en sus turnos más solicitados.

Por ende, se le aplican distintos escenarios a la configuración 1, que permitan analizar la respuesta del sistema ante ciertas situaciones que varíen el funcionamiento de este último. Luego de analizar todos los escenarios, se puede tomar una decisión acerca de la cantidad de bocas a proponer de acuerdo con el impacto de cada una de las situaciones.

En este punto, es importante aclarar que, en cada una de las alternativas, a lo largo de los 5 escenarios planteados, se presentan los resultados en base a los parámetros establecidos. Dichos resultados, surgen del análisis realizado de forma análoga al estudio de las configuraciones. En el ANEXO II: Complemento al análisis de escenarios, se encuentran las gráficas y tablas para cada uno de los escenarios planteados.

3.7.1 Escenario 1

En este primer escenario, se plantea la posibilidad de una variación en la composición de los arribos por turno. El objetivo de este escenario se centra en determinar cómo varían los resultados si, por ejemplo, en vez de arribar el 35% de camiones a la mañana y el 65% a la tarde, llegan el 25% y 75% respectivamente.

La variación de la concentración de los arribos por turno se evalúa por separado para camiones y utilitarios, teniendo en cuenta que sus respectivas demandas son independientes. A continuación, en la Tabla 18, se muestran las distintas variaciones a evaluar en cada caso, para conocer la reacción del sistema ante dichos cambios que pueden presentarse en el futuro.

Apartado	Tipo de vehículo	Turno	
		Mañana	Tarde
Escenario 1.1	Camiones	45%	55%
Escenario 1.2		25%	75%
Escenario 1.3		15%	85%
Escenario 1.4	Utilitarios	80%	20%
Escenario 1.5		95%	5%
Escenario 1.6		100%	0%

Tabla 18: Composición de arribos por turno para camiones y utilitarios. Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.1 Escenario 1.1

De acuerdo con la Tabla 18, en este apartado se analiza una posible nivelación de la composición de la demanda de camiones por turno, pasando de ser 35% por la mañana y 65% por la tarde, a una proporción de 45% y 55% respectivamente. A partir de dicha modificación, a priori se estima una disminución de la carga de trabajo por la tarde y de las esperas de los vehículos de mayor porte en dicho turno.

En la Tabla 19, se presentan los indicadores obtenidos luego de simular la presente alternativa.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		95,49
Límite de espera [minutos]		20
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	4,3
	Máximo	18,18
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1
	Máximo	5
Ocupación de cola [%]		25,50
TPO [%]		67,77

Tabla 19: Resultados Escenario 1.1

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

De la tabla precedente, se aprecia que se puede establecer un límite de 20 minutos asegurando un NS mayor a 90%. Además, se reflejan bajos tiempos de espera en relación con el tiempo de proceso, que demora, en promedio, 17, 28 y 38 minutos, para C, B y S respectivamente. Cabe destacar, que los bajos tiempos de espera se dan tras la poca acumulación de vehículos en cola. Por último, la línea de espera se encuentra con un bajo porcentaje de ocupación y la TPO no alcanza el mínimo de 85% para considerarse eficiente.

3.7.1.2 Escenario 1.2

En este escenario, se analizan las variaciones que sufre el sistema si la proporción de los arribos difiera aún más entre ambos turnos. A partir de ello, se pretende evaluar la respuesta del sistema durante el turno tarde, siendo este el más afectado, con una composición de los arribos del 75%. En la Tabla 20, se observan los parámetros obtenidos.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		90,50
Límite de espera [minutos]		40
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	17,7
	Máximo	43,98
Largo en cola [vehículos]	Promedio	2 - 3
	Máximo	9
Ocupación de cola [%]		70
TPO [%]		89,3

Tabla 20: Resultados Escenario 1.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En este caso, para obtener un NS mayor a 90% se requiere establecer un límite de 40 minutos. No obstante, cuando un camión ingresa al establecimiento, demora menos de 20 minutos en promedio para ser atendido, y se encuentra con entre 2 y 3 vehículos esperando delante suyo. Por otra parte, la línea de espera se encuentra ocupada la mayor parte del tiempo, y la TPO está dentro del intervalo óptimo de eficiencia.

3.7.1.3 Escenario 1.3

Ahora bien, se plantea una tercera alternativa de variación en la composición de los arribos de camiones, donde se busca comprometer aún más la instalación durante el turno tarde. En esta oportunidad, se evalúa la respuesta del sistema ante el arribo del 15% de los vehículos durante la mañana, y el 85% restante durante el turno tarde. (Ver Tabla 21)

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		95,55
Límite de espera [minutos]		80
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	30,94
	Máximo	69,03
Largo en cola [vehículos]	Promedio	3 - 4
	Máximo	15
Ocupación de cola [%]		74,58
TPO [%]		90,2

Tabla 21: Resultados Escenario 1.3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

La Tabla 21 refleja que, los camiones que arriban durante el turno tarde demoran en promedio media hora en ser atendidos, esto sucede ya que hay entre 3 y 4 vehículos esperando por delante de ellos. Este último valor puede resultar elevado para los chasis que poseen un tiempo promedio de atención de 17 minutos. Además, el tiempo promedio máximo que este grupo de vehículos espera es de aproximadamente 69 minutos y el contenido máximo de la Cola 1 asciende a 15 camiones. Todos estos factores contribuyen a que el límite de espera, para superar el 90% de NS, sea de 80 minutos.

Por último, se obtiene una ocupación de la cola 1 del 74,58% y las bocas, destinadas a atender camiones, están ocupadas el 90% del tiempo, cumpliendo con el requisito de la organización.

3.7.1.4 Escenario 1.4

En este apartado, se plantea una primera alternativa de variación en la composición de los arribos de los utilitarios. Para ello, se analiza cómo responde el sistema ante una pequeña nivelación de la demanda, donde la proporción de los utilitarios sea del 80% durante la mañana, y del 20% restante durante la tarde. En la Tabla 22, se exponen los valores correspondientes al presente escenario.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		98,62
Límite de espera [minutos]		10
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	0,97
	Máximo	8,00
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1
	Máximo	4
Ocupación de cola [%]		8,55
TPO [%]		46,45

Tabla 22: Resultados Escenario 1.4.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En caso de generarse un balance entre los arribos de utilitarios de ambos arribos, los resultados dan indicios de una instalación sobredimensionada, dado que, en principio, se realiza el cálculo considerando que por la mañana arriba el 90% de este tipo de vehículos.

Como puede observarse en la tabla anterior, el NS es mayor al 90, y cercano a 100%, para un límite de 10 minutos, teniendo en cuenta que el tiempo promedio de espera

es tan solo de 1 minutos, siendo este 7 veces menor al tiempo medio de proceso. Además, en la cola hay en promedio entre 0 y 1 vehículos, donde ocasionalmente puede haber hasta 4 vehículos en espera, y la tasa de ocupación de la misma es inferior al 10%.

Por último, se puede observar una baja tasa promedio de ocupación que, no es suficiente para cubrir el mínimo de 85%, e incluso está por debajo del 50%.

3.7.1.5 Escenario 1.5

Ahora bien, se pretende evaluar la respuesta del sistema ante una mayor concentración de los arribos durante la mañana. Se plantea una composición del 95% de los arribos durante el turno matutino, y del 5% por la tarde, buscando forzar la instalación durante el turno más solicitado. Los indicadores del escenario se presentan en la Tabla 23.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		97,95
Límite de espera [minutos]		10
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	1,58
	Máximo	8,95
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1
	Máximo	4
Ocupación de cola [%]		16,54
TPO [%]		55,80

Tabla 23: Resultados Escenario 1.5.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

De la Tabla 23, se obtiene que, si se adopta un límite de 10 minutos, el nivel de servicio es mayor al 90%. Adicionalmente, los utilitarios esperan un lapso breve en comparación con el tiempo que tardan en ser atendidos (7 minutos), por lo tanto, en general tiene entre 0 y 1 unidades por delante. Con respecto a la ocupación de la cola 2 y las bocas, en ambos casos, resultan muy bajas, provocando que estas últimas no logren ser eficientes.

3.7.1.6 Escenario 1.6

Para finalizar el escenario 1, se analiza la respuesta de la instalación en el caso de que la totalidad de los utilitarios arriben durante la mañana. En la Tabla 24, se observan los parámetros obtenidos para el presente caso.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		98,68
Límite de espera [minutos]		10
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	1,59
	Máximo	8,17
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1
	Máximo	4
Ocupación de cola [%]		18,33
TPO [%]		58,10

Tabla 24: Resultados Escenario 1.6.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En esta última alternativa del escenario 1, donde la totalidad de los utilitarios arriba por la mañana, los parámetros resultan similares al escenario 1.5, dado que el aumento de los arribos durante la mañana no es significativo.

3.7.2 Escenario 2

En esta alternativa, se contempla cómo afecta a la instalación el tiempo de proceso. Por un lado, en el escenario 2.1, se propone la **disminución** de los tiempos en un 10%, esto puede deberse, por ejemplo, a la adquisición de nuevas tecnologías que permitan realizar la carga de los pedidos de una manera más eficiente. En segundo lugar, en el escenario 2.2, se plantea un **aumento** del tiempo en un 10%, esta circunstancia puede presentarse, por ejemplo, debido a una rotura en los elementos de manipulación de materiales teniendo que realizar tareas de forma manual, o por la curva de experiencia que poseen los nuevos empleados ya que los trabajadores con experiencia que lleven años realizando la misma acción son más productivos, en principio, que aquellos que acaban de empezar.

3.7.2.1 Escenario 2.1

Como se menciona anteriormente, la primera alternativa del escenario 2, corresponde a la disminución del tiempo de proceso de las bocas en un 10%. En la Tabla 25, se presentan los tiempos de ocupación de boca antes y después de la disminución mencionada.

Tipo de vehículo	TOB [minutos]	TOB con disminución [minutos]
Utilitarios	7	6,30
Chasis	17	15,30
Balancín	28	25,20
Semi/TEU/FEU	38	34,20

Tabla 25: Tiempos de ocupación de boca por carga. Escenario 2.1.
Fuente: Elaboración propia.

Luego, en la Tabla 26, se exponen los valores obtenidos luego de la simulación del escenario 2.1.

Parámetro		Camiones	Utilitarios
Nivel de servicio [%]		97,18	99,17
Límite de espera [minutos]		20	10
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	3,14	0,78
	Máximo	15,73	6,59
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0-1	0-1
	Máximo	4	4
Ocupación de cola [%]		21,30	7,65
TPO [%]		67,53	45,85

Tabla 26: Resultados Escenario 2.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En esta oportunidad, para obtener un nivel de servicio mayor a 90% se debe establecer un límite de 20 minutos, para los camiones, y 10 minutos, para los utilitarios. Por otra parte, cuando un cliente ingresa al establecimiento se encuentra con entre 0 y 1 vehículos esperando delante suyo, esto genera que, en promedio, demore en la cola menos de un minuto, para el caso de los utilitarios, y tres minutos, los vehículos de mayor porte.

Finalmente, las colas están vacías la mayoría del tiempo y ambas TPO no logran superar el 85% necesario para considerarlas eficientes.

3.7.2.2 Escenario 2.2

En este caso, se evalúa la respuesta de la instalación ante un aumento del tiempo de proceso de las bocas en un 10%, de acuerdo con la Tabla 27.

Tipo de vehículo	TOB [minutos]	TOB con aumento [minutos]
Utilitarios	7	7,7
Chasis	17	18,7
Balancín	28	30,8
Semi/TEU/FEU	38	41,8

Tabla 27: Tiempos de ocupación por carga. Escenario 2.2.

Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, los resultados para cada parámetro o característica de servicio se muestran en la Tabla 28.

Parámetro		Camiones	Utilitarios
Nivel de servicio [%]		93,70	94,74
Límite de espera [minutos]		40	10
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	13,01	2,01
	Máximo	37,40	9,69
Largo en cola [vehículos]	Promedio	1-2	0-1
	Máximo	7	5
Ocupación de cola [%]		50,75	22,72
TPO [%]		81,67	57,55

Tabla 28: Resultados Escenario 2.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

La Tabla 28 refleja que, los camiones que arriban durante el turno tarde demoran en promedio 13 minutos en ser atendidos, esto sucede ya que hay entre 1 y 2 vehículos esperando por delante de ellos. Para los utilitarios, desciende a 2 minutos por la mañana, por lo tanto, la cola 2 está vacía o a lo sumo con un vehículo, la mayor parte del tiempo. En ambos casos, se obtienen resultados favorables teniendo en cuenta la duración aproximada del proceso de atención para cada tipo de vehículo. Los niveles de servicio superan el 90% al establecer un límite de espera de 40 minutos, en el primer caso, y 10 minutos en el segundo.

Por último, se obtiene una ocupación de la cola 1 del 50,75% y de la cola 2 del 22,72%. Las bocas destinadas a atender camiones están ocupadas el 82% del tiempo,

mientras que las que atienden utilitarios lo están el 58% del tiempo. Por ende, no logran cumplir con las exigencias de la compañía.

3.7.3 Escenario 3

Teniendo en cuenta la difícil situación que atraviesa el país, y el mundo, tras la aparición de la pandemia originada por el COVID-19, se podría generar una tendencia por disminuir el contacto entre empresas. Por dicho motivo, aquellas empresas que anteriormente enviaban Chasis o Balancín para realizar las cargas podrían optar por enviar Semi, disminuir la cantidad de viajes y, por ende, reducir la exposición de los transportistas. En este caso, no se propone una disminución de vehículos tipo utilitarios, ya que los mismos son implementados para la distribución dentro de la ciudad de Mar del Plata, mientras que, el resto de los vehículos, generalmente, son destinados para viajes de larga distancia.

En la Tabla 29, se presentan las cantidades promedio de pallets que cada tipo de camión puede cargar, con el objetivo de evaluar los vehículos Chasis y Balancín que se deben reducir para completar la carga de un Semi.

Tipo de vehículo	Carga promedio	Relación de carga con SEMI
Chasis	10	2,4:1
Balancín	16	1,5:1
Semi	24	1:1

Tabla 29: Cantidades promedio de pallets según tipo de camión y relaciones de carga.
Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa.

En este caso, de modo que se logren completar la capacidad de los Semi en su totalidad, se busca el mínimo común múltiplo entre las relaciones de carga, para lograr equiparar las mismas hasta completar la capacidad de todos los camiones. De esta forma, dado que 1 semi equivale a 1,5 Balancín, se necesita prescindir de 3 vehículos de tipo Balancín para completar la capacidad de 2 Semi.

Por otro lado, teniendo en cuenta que 1 Semi equivale a 2,4 Chasis, se necesitan 12 de estos últimos para completar un total de 5 vehículos Semi al máximo de su capacidad. Entonces, se muestra la nueva cantidad promedio de arribos según el tipo de vehículo en la Tabla 30.

Tipo de vehículo	Cantidad promedio (Inicial)	Cantidad promedio (Escenario 3)
U	42	42
C	22	10
B	10	7
S	8	15

Tabla 30: Cantidad promedio de arribos para Escenario 3.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan en la Tabla 31 los indicadores obtenidos tras el análisis de los resultados de la simulación.

Parámetro		E 3
Nivel de servicio [%]		94,67
Límite de espera [minutos]		30
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	6,68
	Máximo	21,03
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0-1
	Máximo	4
Ocupación de cola [%]		32,98
TPO [%]		75,27

Tabla 31: Resultados Escenario 3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En caso de que la instalación cuente con una mayor cantidad de arribos de Semi, el NS mayor a 90% se logra implementando un límite de 30 minutos. Sin embargo, el tiempo promedio de espera es bajo en relación con el tiempo de servicio, y como máximo llegan a esperar alrededor de 21 minutos. Además, la cola se encuentra vacía la mayor parte del tiempo, con un 33% de ocupación, un promedio de entre 0 y 1 vehículo, y un máximo de 4.

Por otro lado, la TPO es de aproximadamente 75%, por lo cual no se considera eficiente teniendo en cuenta el rango óptimo establecido entre el 85% y 95%.

3.7.4 Escenario 4

Para profundizar el estudio del funcionamiento de la configuración 1, se desea analizar el impacto que tiene la avería o falla² de una de las bocas sobre la tasa de ocupación y el tiempo de espera. En este escenario, se plantea que la boca se encuentra fuera de servicio durante el lapso de 2 horas mientras se realiza el mantenimiento correctivo³. Cabe destacar, que se estudia cómo afecta la rotura si ocurriera en el turno de mayor afluencia dependiendo el tipo de vehículo, es decir, en el turno mañana para los utilitarios y en el turno tarde para los camiones. Además, se evalúa su efecto en tres momentos del turno: en las primeras dos horas, en las dos centrales y en las últimas dos horas. Esto último se clarifica al observar la Tabla 32, donde se presentan las distintas variaciones dentro del escenario 4.

Apartado	Tipo de vehículo	Horario fuera de servicio
Escenario 4.1	Camiones	13:00 a 15:00
Escenario 4.2		14:00 a 16:00
Escenario 4.3		15:00 a 17:00
Escenario 4.4	Utilitarios	8:00 a 10:00
Escenario 4.5		9:00 a 11:00
Escenario 4.6		10:00 a 12:00

Tabla 32: Horario de mantenimiento para camiones y utilitarios. Escenario 4.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso en particular, el análisis comparativo entre las alternativas resulta más valioso que el análisis individual de cada una de ellas. A continuación, se presentan los parámetros tabulados, sin embargo, se realiza el análisis comparativo en el apartado 3.8 Análisis de resultados.

3.7.4.1 Escenario 4.1

Como se aprecia en la Tabla 32, en esta primera alternativa del escenario 4, se propone la rotura de un muelle de carga para los camiones. La avería y mantenimiento de la

² Falla: El deterioro o desperfecto en las instalaciones, máquinas o equipos que no permite su normal funcionamiento. (Torres, 2005)

³ Mantenimiento correctivo: comprende todas las tareas que se ejecutan luego que un equipo tuvo un cese de funcionamiento imprevisto (falla), o cuando decrece su actividad por debajo de un nivel aceptable estando en operación. (Torres, 2005)

boca ocurre durante las primeras dos horas del turno tarde, es decir, de 13:00 a 15:00. En la Tabla 33, se arrojan los indicadores obtenidos para este caso.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		91,63
Límite de espera [minutos]		60
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	24,26
	Máximo	48,42
Largo en cola [vehículos]	Promedio	2-3
	Máximo	10
Ocupación de cola [%]		69,79
TPO [%]		72,67

Tabla 33: Resultados Escenario 4.1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

3.7.4.2 Escenario 4.2

En esta segunda alternativa del presente escenario, la rotura y mantenimiento del muelle de carga para los camiones se realiza en las dos horas centrales del turno tarde, es decir, de 14:00 a 16:00. A continuación, se muestran los parámetros correspondientes al escenario 4.2. (Ver Tabla 34)

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		93,61
Límite de espera [minutos]		50
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	17,08
	Máximo	45,60
Largo en cola [vehículos]	Promedio	1-2
	Máximo	7
Ocupación de cola [%]		58,00
TPO [%]		69,33

Tabla 34: Resultados Escenario 4.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

3.7.4.3 Escenario 4.3

En esta tercera variante para los camiones, la avería se genera en las últimas dos horas del turno tarde, es decir, de 15:00 a 17:00. Se pueden apreciar los indicadores obtenidos en la Tabla 35.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		92,13
Límite de espera [minutos]		70
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	22,61
	Máximo	64,70
Largo en cola [vehículos]	Promedio	1-2
	Máximo	11
Ocupación de cola [%]		56,94
TPO [%]		70,83

Tabla 35: Resultados Escenario 4.3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

3.7.4.4 Escenario 4.4

La cuarta variante del escenario 4, corresponde a la falla de una boca de utilitarios durante las primeras dos horas del día, de 8:00 a 10:00 horas. En la Tabla 36, se exponen los valores de cada uno de los parámetros para el escenario 4.4.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		92,13
Límite de espera [minutos]		30
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	10,51
	Máximo	29,23
Largo en cola [vehículos]	Promedio	1-2
	Máximo	11
Ocupación de cola [%]		51,47
TPO [%]		55,65

Tabla 36: Resultados Escenario 4.4.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

3.7.4.5 Escenario 4.5

En este caso, se propone la avería de un andén de carga para los utilitarios en las dos horas centrales de su turno más solicitado, es decir, de 9:00 a 11:00. Los resultados obtenidos para la presente alternativa pueden ser observados en la Tabla 37.

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		93,16
Límite de espera [minutos]		30
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	9,92
	Máximo	28,31
Largo en cola [vehículos]	Promedio	1-2
	Máximo	12
Ocupación de cola [%]		50,97
TPO [%]		52,50

Tabla 37: Resultados Escenario 4.5.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

3.7.4.6 Escenario 4.6

La última alternativa del escenario 4, contempla la necesidad de realizar el mantenimiento de una de las bocas de utilitarios durante las últimas 2 horas del turno. Se presentan los indicadores correspondientes a la última alternativa del presente escenario. (Ver Tabla 38)

Parámetro		Valor
Nivel de servicio [%]		94,84
Límite de espera [minutos]		30
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	6,93
	Máximo	25,88
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0-1
	Máximo	8
Ocupación de cola [%]		40,67
TPO [%]		51,35

Tabla 38: Resultados Escenario 4.6.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

3.7.5 Escenario 5

En este quinto y último escenario, considerando que la instalación es pensada para el largo plazo, se propone aumentar la demanda de los pedidos en un 20% (Escenario 5.1), 40% (Escenario 5.2) y 100% (Escenario 5.3) para conocer el efecto que tendría sobre la configuración 1. Cabe destacar, como se menciona previamente, que se genera un aumento en la demanda de los pedidos, es decir, en el total de los arribos, debido a que cada vehículo que ingresa al establecimiento llega con el propósito de realizar la carga de un pedido. Por lo tanto, dichos porcentajes no afectan en igual medida a los distintos tipos de vehículos.

Para conocer el impacto que tiene dicho incremento en la cantidad de arribos por tipo de vehículos, se analiza la composición de la demanda en función de las cantidades iniciales. (Ver Figura 16)

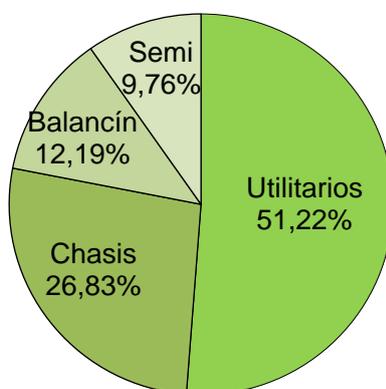


Figura 16: Composición de la demanda de pedidos por tipo de vehículo.
Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa.

3.7.5.1 Escenario 5.1

A partir de los porcentajes observados en la Figura 16, se distribuye el 20% de aumento de la demanda de pedidos y se presenta la nueva cantidad promedio de arribos en la Tabla 39.

Tipo de vehículo	Proporción de aumento de pedidos (%)	Cantidad promedio de arribos (Inicial)	Cantidad promedio de arribos (Escenario 5.1)
U	10,24	42	46,30
C	5,37	22	23,18
B	2,44	10	10,24
S	1,95	8	8,16
Total	20,00		

Tabla 39: Cantidad promedio de arribos para Escenario 5.1.

Fuente: Elaboración propia.

Ante un aumento del 20% de los pedidos, se genera un mayor impacto en los arribos de los utilitarios, mientras que la variación en los arribos de camiones no es significativa. Los parámetros obtenidos tras el análisis de los resultados de la simulación pueden observarse en la Tabla 40.

Parámetro		Camiones	Utilitarios
Nivel de servicio [%]		92,75	97,79
Límite de espera [minutos]		40	10
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	11,30	1,85
	Máximo	31,62	9,24
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0-1	0-1
	Máximo	7	5
Ocupación de cola [%]		40,81	21,47
TPO [%]		79,20	61,20

Tabla 40: Resultados Escenario 5.1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Para los camiones, el NS mayor a 90% se obtiene con un límite de 40 minutos. No obstante, el tiempo promedio de espera es bajo en relación con los tiempos de proceso, dado que el promedio de vehículos en cola está entre 0 y 1, y a lo sumo puede haber un máximo de 7 camiones en espera. Adicionalmente, la cola está libre la mayor parte del tiempo, y las bocas tienen una ocupación por debajo del límite mínimo de eficiencia del 85%.

Por otro lado, los utilitarios tienen un óptimo NS para un límite de 10 minutos, con un promedio de espera menor a los 2 minutos y un máximo por debajo de 10, teniendo en cuenta que, en promedio, hay entre 0 y 1 vehículos en cola. Además, las bocas no pueden ser consideradas como eficientes, ya que su ocupación está por debajo del rango óptimo. Las colas se encuentran libres en su mayoría, con un máximo de 5 vehículos en espera.

3.7.5.2 Escenario 5.2

Análogamente, se distribuye el aumento del 40%, a partir de los porcentajes que se observan en la Figura 16, y se presenta el nuevo promedio de arribos en la Tabla 41.

Tipo de vehículo	Proporción de aumento de pedidos (%)	Cantidad promedio de arribos (Inicial)	Cantidad promedio de arribos (Escenario 5.2)
U	20,49	42	50,60
C	10,73	22	24,36
B	4,88	10	10,49
S	3,90	8	8,31
Total	40		

Tabla 41: Cantidad promedio de arribos para Escenario 5.2.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 42, se tabulan los resultados pertinentes al escenario 5.2.

Parámetro		Camiones	Utilitarios
Nivel de servicio [%]		92,74	90,53
Límite de espera [minutos]		50	10
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	13,32	2,78
	Máximo	37,36	11,89
Largo en cola [vehículos]	Promedio	0-1	0-1
	Máximo	9	6
Ocupación de cola [%]		47,85	30,05
TPO [%]		81,57	66,25

Tabla 42: Resultados Escenario 5.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En esta oportunidad, se debe establecer un límite de 50 minutos, para los camiones, y 10 minutos, para los utilitarios, para obtener un NS aceptable para la organización. Adicionalmente, cuando un vehículo ingresa a la instalación se encuentra con entre 0 y 1 clientes por delante suyo. Esto último provoca que, en promedio, un camión demore 13 minutos en ser atendido, mientras que, para los utilitarios, dicho valor desciende a 3 minutos. En última instancia, las colas están libre la mayor parte del tiempo y ambas TPO no logran superar el 85% necesario para considerarlas eficientes.

3.7.5.3 Escenario 5.3

Para finalizar con el análisis de escenarios, en este último se propone un aumento de la demanda de pedidos en un 100%. Este valor puede resultar elevado para el lector, sin embargo, cabe recordar que la instalación es pensada para el largo plazo. En la Tabla 43, se pueden observar las cantidades promedios de arribos para esta nueva alternativa.

Tipo de vehículo	Proporción de aumento de pedidos (%)	Cantidad promedio de arribos (Inicial)	Cantidad promedio de arribos (Escenario 5.3)
U	51,22	42	63,51
C	26,83	22	27,90
B	12,19	10	11,22
S	9,76	8	8,78
Total	100,00		

Tabla 43: Cantidad promedio de arribos para Escenario 5.3.

Fuente: Elaboración propia.

Ante un aumento del 100% de los pedidos, se puede observar que los utilitarios y los chasis son los que perciben en mayor medida dicho crecimiento, mientras que la variación en los arribos de Balancín y Semi no es significativa. En la Tabla 44, se plasman los indicadores correspondientes a la alternativa presente.

Parámetro		Camiones	Utilitarios
Nivel de servicio [%]		90,47	96,74
Límite de espera [minutos]		60	20
Tiempo de espera [minutos]	Promedio	19,33	6,69
	Máximo	50,92	17,76
Largo en cola [vehículos]	Promedio	1-2	1-2
	Máximo	14	8
Ocupación de cola [%]		58,55	61,71
TPO [%]		82,80	86,00

Tabla 44: Resultados Escenario 5.3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Para los camiones, se puede apreciar que al establecer un límite de 60 minutos se supera el NS de 90%. El tiempo promedio de espera es razonable comparándolo con los tiempos de proceso, esto ocurre ya que el promedio de vehículos en cola está entre 1 y 2. Por otra parte, la línea de espera encuentra posee una ocupación del 58,55%, y las bocas tienen una tasa promedio de ocupación cercano al 85%.

Por otra parte, los utilitarios cuentan con parámetros favorables para la empresa. En principio, se logra un nivel de servicio mayor a 90%, con un límite de 20 minutos. Adicionalmente, el tiempo de espera promedio es inferior 7 minutos, debido a la poca acumulación de vehículos en la línea de espera, con un promedio entre 1 y 2, y a lo sumo,

un máximo de 8 utilitarios. Sin embargo, la cola se encuentra ocupada poco más del 60% del tiempo. Finalmente, la tasa promedio de ocupación se encuentra dentro del rango óptimo, por lo que trabajan eficientemente.

3.8 Análisis de resultados

En este apartado del desarrollo, se realiza un análisis comparativo de la configuración 1 con cada uno de los escenarios planteados. De esta manera, se puede observar cómo afectan las distintas alternativas al modelo base y, en caso de ser oportuno, proponer diferentes cursos de acción. La información que se expone en esta sección corresponde al turno más solicitado según el tipo de vehículo, es decir, turno mañana, para los utilitarios, y turno tarde, para los camiones.

Configuración 1 vs Escenario 1

En la Tabla 45, se muestran los resultados de la configuración 1 (C1) en contraste con las primeras tres alternativas del Escenario 1 donde se analiza la variación de la concentración de los arribos por turno correspondientes a los camiones.

Parámetro		C 1	Escenario 1			
			1.1	1.2	1.3	
Camiones	Nivel de servicio [%]	92,97	95,49	90,50	95,55	
	Límite de espera [min]	30	20	40	80	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	9,52	4,3	17,7	30,94
		Máximo	30,44	18,18	43,98	69,03
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	0 - 1	2 - 3	3 - 4
		Máximo	6	5	9	15
	Ocupación de cola [%]	43,53	25,50	70	74,58	
	TPO [%]	77,60	67,77	89,3	90,2	

Tabla 45: Resultados Configuración 1 y Escenario 1, camiones.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En los resultados precedentes, se puede observar un aumento progresivo en todos los parámetros, que concuerda con el aumento del porcentaje de arribos de camiones durante la tarde.

Por otra parte, se obtiene que los Escenarios 1.2 y 1.3 logran cumplir con el nivel de eficiencia óptimo ya que se encuentran en un rango de 85% y 95%, pero en el segundo caso para tener un nivel de servicio mayor a 90%, el límite de espera asciende a 80 minutos. Esta

última alternativa, requiere de esperas excesivas, donde el promedio supera la media hora, y el máximo está por encima de la hora de espera. En cambio, el Escenario 1.2 requiere de un límite de espera de 40 minutos para alcanzar el NS deseado, con un promedio de espera inferior a 18 minutos.

No obstante, ante un mayor balance de la demanda en los turnos, tal como sucede en el Escenario 1.1, se obtiene un mejor nivel de servicio respecto a C1, E1.2 y E1.3, a costa de un bajo nivel de eficiencia de la instalación.

A continuación, en la Tabla 46, se contrastan los resultados de la configuración 1 con los restantes del escenario 1 (E1.4, E1.5 y E1.6) que corresponden a los vehículos de menor porte. (Aclaración: E = Escenario)

Parámetro		C 1	Escenario 1			
			1.4	1.5	1.6	
Utilitarios	Nivel de servicio [%]	96,71	98,62	97,95	98,68	
	Límite de espera [min]	10	10	10	10	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	1,46	0,97	1,58	1,59
		Máximo	8,93	8,00	8,95	8,17
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
		Máximo	5	4	4	4
	Ocupación de cola [%]	13,44	8,55	16,54	18,33	
	TPO [%]	53,10	46,45	55,80	58,10	

Tabla 46: Resultados Configuración 1 y Escenario 1, utilitarios.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Los resultados para los distintos escenarios reflejan indicadores similares, dado que los cambios en las cantidades de arribos no generan un impacto significativo en los parámetros analizados.

Adicionalmente, se puede observar que incluso en el escenario 1.6, que resulta el más pesimista para la instalación, no se logra obtener una tasa promedio de ocupación superior al 85%.

Además, ante cualquier composición de arribos, se obtienen NS óptimos para la demanda actual, más aún, hay subutilización de las bocas en todos los casos.

Configuración 1 vs Escenario 2

Para el escenario 2, se exponen todos los parámetros correspondientes a sus dos alternativas, en la Tabla 47. Cabe recordar que, en E2.1 y E2.2, se propone respectivamente la disminución y el aumento de los tiempos de proceso en un 10%.

Parámetro		C 1	Escenario 2		
			2.1	2.2	
Camiones	Nivel de servicio [%]	92,97	97,18	93,70	
	Límite de espera [min]	30	20	40	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	9,52	3,14	13,01
		Máximo	30,44	15,73	37,40
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	0-1	1-2
		Máximo	6	4	7
	Ocupación de cola [%]	43,53	21,30	50,75	
TPO [%]	77,60	67,53	81,67		
Utilitarios	Nivel de servicio [%]	96,71	99,17	94,74	
	Límite de espera [min]	10	10	10	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	1,46	0,78	2,01
		Máximo	8,93	6,59	9,69
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	0-1	0-1
		Máximo	5	4	5
	Ocupación de cola [%]	13,44	7,65	22,72	
TPO [%]	53,10	45,85	57,55		

Tabla 47: Resultados Configuración 1 y Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Comenzando con el análisis entre C1 y E2.1, se puede observar que, ante una posible inversión en nuevas tecnologías o nuevos métodos para lograr disminuir un 10% el tiempo de proceso, se obtienen cambios significativos. En el caso de los camiones, el límite de espera para cumplir con un NS mayor a 90% se reduce a 20 minutos, mientras que el tiempo de espera promedio disminuye más de un 67%. Por otra parte, para los utilitarios aumenta el NS con el mismo límite de espera, y el tiempo promedio de permanencia en cola se reduce en más de un 46%.

Además, en ambos casos se reducen los máximos de espera y los contenidos en las colas, aunque la eficiencia de la instalación no alcanza los niveles deseados.

Por otra parte, contrastando los valores del E2.2 con los de C1, se obtienen resultados alentadores, ya que los indicadores se mantienen dentro de un rango aceptable en el caso de que el tiempo de proceso aumente en un 10%, debido a la rotura de un equipo, incidentes laborales, personal suplente no capacitado, entre otras. Esta última afirmación se debe a que, para los vehículos de mayor porte, el límite de espera aumenta a 40 minutos y el tiempo de espera promedio a 13 minutos, mientras que, para los utilitarios, el límite no varía y la demora promedio en ser atendidos resulta de 2 minutos.

En conclusión, se propone a la compañía 3 posibles cursos de acción:

1. Mantener los tiempos de proceso actuales.
2. Invertir en nuevas tecnologías, métodos o recursos para el procesamiento de cargas. De esta manera, se reducirían los tiempos de proceso y se generaría una disminución en los tiempos de espera, mejorando el nivel de servicio.
3. Reducir la cantidad de recursos en los andenes. Esto mejoraría los niveles de eficiencia de la instalación, reduciendo la subutilización de los mismos y manteniendo los niveles de servicio dentro de los parámetros aceptables.

Ahora bien, priorizando el nivel de servicio por encima del nivel de eficiencia, se recomienda seguir el segundo curso de acción. De esta manera, tras disminuir el tiempo de proceso, los vehículos deben esperar menos tiempo para ser atendidos y la empresa obtiene un mejor NS, con respecto a la configuración 1. Además, se reducen las cantidades de vehículos en cola, la ocupación de esta última y la TPO de las bocas.

Configuración 1 vs Escenario 3

A continuación, se contrastan los resultados del modelo base, con el tercer escenario, correspondiente a la implementación de una mayor cantidad de vehículos Semi, en lugar de Chasis y Balancín. En la Tabla 48, se presentan los resultados obtenidos en ambas alternativas.

Parámetro		C 1	E 3	
Camiones	Nivel de servicio [%]	92,97	94,67	
	Límite de espera [min]	30	30	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	9,52	6,68
		Máximo	30,44	21,03
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	0-1
		Máximo	6	4
	Ocupación de cola [%]	43,53	32,98	
	TPO [%]	77,60	75,27	

Tabla 48: Resultados Configuración 1 y Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

De la lectura de la Tabla 48, se puede observar que, si los clientes optan por aumentar la cantidad de Semi que utilizan y disminuir la de Chasis y Balancín, el modelo presenta indicadores más favorables. Esto se evidencia ya que, para un mismo límite de espera (30 minutos), el E3 tiene un nivel de servicio mayor que C1. Además, se logra obtener una disminución del 30% del tiempo de espera promedio que un camión pasa en la

Cola 1. Por último, la tasa promedio de ocupación disminuye en un 2,33% para el escenario propuesto, lo cual no representa un aumento significativo en la subutilización de los muelles.

Por lo tanto, se puede afirmar que la opción de que un cliente migre de un vehículo tipo Chasis o Balancín a Semi, es beneficioso para la empresa.

Configuración 1 vs Escenario 4

En esta oportunidad, se comparan los parámetros de C1 con E4. Durante la simulación, se considera un mantenimiento correctivo, producto de la avería de una boca en particular, donde la reparación se lleva a cabo durante 2 horas, en distintos períodos.

En la Tabla 49, se contrastan los resultados de la configuración 1 con las primeras tres alternativas del Escenario 4, correspondientes a los vehículos de mayor porte.

Parámetro		C 1	Escenario 4			
			4.1	4.2	4.3	
Camiones	Nivel de servicio [%]	92,97	91,63	93,61	92,13	
	Límite de espera [min]	30	60	50	70	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	9,52	24,26	17,08	22,61
		Máximo	30,44	48,42	45,60	64,70
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	2-3	1-2	1-2
		Máximo	6	10	7	11
	Ocupación de cola [%]	43,53	69,79	58,00	56,94	
TPO [%]	77,60	72,67	69,33	70,83		

Tabla 49: Resultados Configuración 1 y Escenario 4, camiones.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Se puede apreciar que, los horarios más conflictivos para que una boca se rompa y sea reparada, es de 13:00 a 15:00 y de 15:00 a 17:00, correspondientes a los E4.1 y E4.3. Por ejemplo, el primero es el que mayor tiempo promedio de espera tiene con 24,36 minutos, mientras que el segundo, es el que posee la TPO más baja.

De la tabla precedente, es evidente que la instalación responde de forma más favorable ante una rotura durante las horas centrales del turno tarde. En comparación, el E4.2 presenta un NS mayor al 90% con un menor límite de espera, tiempos de espera inferiores, tanto máximo como promedio, y menor cantidad de vehículos en cola. Si bien la ocupación de la cola y el TPO son menores, se prioriza el nivel de servicio al cliente.

Por otro lado, en la Tabla 50, se presentan los resultados de la configuración 1 y los restantes del escenario 4, que corresponden a los vehículos de menor porte.

Parámetro		C 1	Escenario 4			
			4.4	4.5	4.6	
Utilitarios	Nivel de servicio [%]	96,71	92,13	93,16	94,84	
	Límite de espera [min]	10	30	30	30	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	1,46	10,51	9,92	6,93
		Máximo	8,93	29,23	28,31	25,88
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	1-2	1-2	0-1
		Máximo	5	11	12	8
	Ocupación de cola [%]	13,44	51,47	50,97	40,67	
	TPO [%]	53,10	55,65	52,50	51,35	

Tabla 50: Resultados Configuración 1 y Escenario 4, utilitarios.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En el caso de los utilitarios, el peor escenario para la empresa sería que falle uno de los muelles durante las primeras horas del turno mañana, dado que el E4.4 arroja los resultados más negativos entre las 3 alternativas planteadas.

Por otra parte, la tendencia de los resultados indica que, la instalación responde de forma más favorable si la rotura ocurre durante las últimas horas del turno mañana. Dicha afirmación, se basa en los resultados del E4.6, donde se presenta un mayor NS, menores tiempos de espera y menores cantidades en cola, con respecto al E4.4 y E4.5.

Lógicamente, ante la rotura de una de las bocas, la instalación brinda un NS superior al 90% para límites de espera mayores, con respecto a C1. No obstante, para ambos tipos de vehículos, los tiempos promedio de espera para ser atendidos continúan siendo aceptables. Por lo tanto, se puede afirmar que la instalación es capaz de soportar la avería de una de sus bocas durante el lapso de 2 horas, en los turnos más solicitados.

Configuración 1 vs Escenario 5

Por último, se realiza un análisis de los resultados para el escenario restante, que contempla un posible crecimiento de la demanda en un 20, 40 y 100%. En la Tabla 51, se presentan las cantidades de arribos para el aumento correspondiente de cada escenario, con el objetivo de estudiar la variabilidad de los mismos y lograr comprender mejor los resultados de la simulación.

Tipo de vehículo		Cantidades promedio			
		C1	E5.1	E5.2	E5.3
Camiones	Chasis	22	23,18	24,36	27,90
	Balancín	10	10,24	10,49	11,22
	Semi	8	8,16	8,31	8,78
Utilitarios		42	46,30	50,60	63,51

Tabla 51: Cantidades promedio para Configuración 1 y Escenario 5.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla precedente, se evidencia que los Utilitarios son los que sufren un mayor incremento en las unidades que llegan por día, esto ocurre ya que en la configuración 1, representan el 51% de la demanda. Por otra parte, los camiones no se ven tan afectados debido a que el 49% restante se distribuye entre Chasis, Balancín y Semi. Sin embargo, los arribos de los vehículos tipo chasis sufren un aumento cada vez más significativo.

En la Tabla 52, se observan los resultados de las simulaciones de cada alternativa.

Parámetro		C 1	Escenario 5			
			5.1	5.2	5.3	
Camiones	Nivel de servicio [%]	92,97	92,75	92,74	90,47	
	Límite de espera [min]	30	40	50	60	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	9,52	11,30	13,32	19,33
		Máximo	30,44	31,62	37,36	50,92
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	0-1	0-1	1-2
		Máximo	6	7	9	14
	Ocupación de cola [%]	43,53	40,81	47,85	58,55	
TPO [%]	77,60	79,20	81,57	82,80		
Utilitarios	Nivel de servicio [%]	96,71	97,79	90,53	96,74	
	Límite de espera [min]	10	10	10	20	
	Tiempo de espera [min]	Promedio	1,46	1,85	2,78	6,69
		Máximo	8,93	9,24	11,89	17,76
	Largo en cola [vehículos]	Promedio	0 - 1	0-1	0-1	1-2
		Máximo	5	5	6	8
	Ocupación de cola [%]	13,44	21,47	30,05	61,71	
TPO [%]	53,10	61,20	66,25	86,00		

Tabla 52: Resultados Configuración 1 y Escenario 5.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

En el caso de los camiones, se puede observar una baja variabilidad de sus indicadores, como consecuencia de la similitud en la cantidad de los arribos para cada tipo de camión. Sin embargo, a través de los distintos escenarios, se incrementan los límites de espera para obtener un NS superior al 90%. Además, se generan mayores tiempos de espera y cantidades en las colas, aunque estos parámetros continúan siendo aceptables. A su vez, se produce un crecimiento en la tasa promedio de ocupación, lo cual es beneficioso para la instalación, ya que se encuentra más cercana al nivel de eficiencia óptimo de 85%.

A diferencia del caso anterior, las bocas que atienden a los utilitarios reciben una cantidad de vehículos sustancialmente mayor, llegando a aumentar hasta un 51% los arribos en el E5.3. En esta última alternativa, si bien el límite de espera asciende a 20 minutos para obtener un NS mayor a 90%, los tiempos de espera máximos y promedio continúan siendo aceptables, los largos de las colas no sufren un incremento mayúsculo, y la tasa promedio de ocupación ingresa en el rango óptimo de nivel de eficiencia de la instalación.

Por lo tanto, es posible concluir que, ante un aumento de la demanda, con un consecuente incremento de los arribos, la instalación presenta resultados favorables, incluso ante un crecimiento del 100%.

Luego de analizar los resultados de los diferentes escenarios planteados, se **valida** la configuración 1, ya que, ante los cambios aplicados a las distintas variables, los parámetros continúan siendo aceptables, e incluso, en algunos casos resultan más favorables. Adicionalmente, dado que los muelles de carga se encuentran subutilizados durante los turnos con menor afluencia, se propone que la empresa habilite solamente 2 bocas para los camiones en el turno mañana, y un andén para utilitarios en el turno tarde. De esta manera, los indicadores de la instalación en los turnos mencionados, son equivalentes a los parámetros de la configuración 2.

4. CONCLUSIONES

A partir de los datos brindados por la empresa, se estudiaron las distribuciones para cada grupo de datos mediante el test Chi-Cuadrado. En ninguno de los casos se pudo validar una distribución específica, ya que se rechazó la hipótesis de que la información siguiera alguna de las distribuciones propuestas. Por ende, se decidió utilizar la distribución normal para definir el comportamiento de los arribos, según el Teorema Central del Límite.

Luego, se calculó la cantidad teórica de bocas, en función de la media de arribos y el tiempo de ocupación de boca, considerando como media al máximo número de arribos, de forma que la instalación tenga la capacidad de cubrir los picos estacionales de la demanda. Se obtuvo que, para utilitarios, se necesitan 1 o 2 muelles de carga, y para los camiones 2 o 3.

Posteriormente, se construyó el modelo base a través del software *FlexSim*. A raíz de los resultados obtenidos, se validó el modelo, ya que se pudo asignar un comportamiento exponencial entre llegadas y, además, las cantidades promedio de los arribos diarios tendieron a los valores medios establecidos, con un error inferior al 5%.

A continuación, se analizaron dos posibles configuraciones. En la configuración 1, con 3 bocas para camiones y 2 para utilitarios, se obtuvieron niveles de servicio elevados, a costa de una baja utilización de los muelles. En la configuración 2, donde se propusieron 2 bocas para camiones y 1 para utilitarios, los niveles de servicio son bajos y, si bien los niveles de eficiencia resultaron óptimos, ante un aumento de la demanda, la instalación dejaría de ser óptima. Se realizó un análisis de escenarios a la configuración 1, priorizando tener un mejor nivel de servicio al cliente y menores tiempos de espera.

En el primer escenario, se propuso una variación en la composición de los arribos por turno. Para los camiones, se obtuvo que, ante un mayor balance de los arribos entre turnos, el nivel de servicio mejora y el nivel de eficiencia es cada vez menor. En cambio, para los utilitarios los niveles de servicio resultaron óptimos ante cualquier composición de arribos, más aún, hay subutilización de las bocas en todos los casos.

En el segundo escenario, se planteó una disminución y un aumento del tiempo proceso en un 10%. En el primer caso, se generó una disminución en los tiempos de espera y se obtuvo una mejora en el nivel de servicio. Por otra parte, en la segunda alternativa, se obtuvieron mejores niveles de eficiencia, manteniendo los niveles de servicio dentro de los parámetros aceptables. Sin embargo, se propuso disminuir los tiempos de proceso priorizando obtener un mejor nivel de servicio a costa de reducir la ocupación de las bocas.

En el tercer escenario, se propuso que aquellas empresas que anteriormente enviaban Chasis o Balancín, podrían optar por enviar Semi, disminuyendo la cantidad de

viajes. El modelo presentó indicadores más favorables, por lo tanto, la opción de que un cliente migre de un vehículo tipo Chasis o Balancín a Semi, es beneficioso para la empresa.

En el cuarto escenario, se analizó el impacto que tiene la avería de una de las bocas por un lapso de dos horas. Para ambos tipos de vehículos, los indicadores obtenidos son más desfavorables respecto a la configuración 1, de todas maneras, se consideran aceptables, por lo que la instalación es capaz de responder aún ante la rotura de uno de sus muelles.

En el quinto y último escenario, considerando que la instalación es pensada para el largo plazo, se propuso aumentar la demanda de los pedidos. Ante el incremento de los arribos, la instalación presentó resultados favorables, incluso ante un crecimiento del 100%.

Luego de validar la configuración seleccionada, a través del análisis de escenarios, ***se propone realizar un total de 5 bocas, donde 3 de ellas deben ser destinadas a camiones, incluyendo la implementación de niveladores de andén, y 2 bocas para vehículos utilitarios, con carga al nivel del suelo.***

Por otra parte, dado que los muelles se encuentran subutilizados en los turnos menos solicitados, se propone que la empresa habilite solamente 2 bocas de camiones en el turno mañana, y 1 andén para utilitarios en el turno tarde. De esta manera, los parámetros de la instalación en dichos turnos, son equivalentes a los indicadores de la configuración 2.

Por último, se considera que los objetivos planteados al inicio del trabajo pudieron lograrse de manera exitosa. Asimismo, el presente trabajo permitió determinar la cantidad y el tipo de bocas de carga necesarias para garantizar un óptimo nivel de servicio al cliente y lograr una instalación cuya capacidad sea sostenible en el largo plazo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ANAYA TEJERO J. J. (2000). *“Logística integral. La gestión operativa de la empresa”*. Madrid. Editorial ESIC.
- ANDERSON D. R, SWEENEY D. J., WILLIAMS T. A., CAMM J. D., MARTIN K. (2011). *“Métodos cuantitativos para los negocios”*. Onceava edición. Cengage Learning Editores S.A.
- AZARANG M.R. y GARCÍA DUNNA E. (1996) *“Simulación y análisis de Modelos estocásticos”*. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.
- BALLOU R. (2004). *“Logística. Administración de la cadena de suministro”*. Quinta Edición. Ed. Pearson Education.
- BALLOU R. (2006). *“The evolution and future of logistics and supply chain management”*. Case Western Reserve University.
- BOWERSOX D. J, CLOSS D. J. y COOPER M. B. (2007) *“Administración y logística en la Cadena de suministros”* Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- CASADIEGO ALZATE R. (2015). *“Guía de Usuario para el modelamiento y análisis con el Software FlexSim”*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- CHOPRA S. y MEINDL P. (2006). *“Administración de la cadena de suministro”*. Tercera edición. Ed. Pearson/Prentice Hall.
- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (2020). Extraído el 9 de julio de 2020, de <https://cscmp.org/>
- CUATRECASAS ARBÓS L. (2012). *“Logística. Gestión de la cadena de suministro”*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España.
- FULLANA BELDA C. y URQUÍA GRANDE E. (2015) *“Los modelos de simulación: Una herramienta multidisciplinar de investigación”*. Universidad Pontificia de Comillas.
- GARCÍA DUNNA E. y GARCÍA REYES H. (2006). *“Simulación y análisis de sistemas con Promodel”*. Ed. Pearson Education.
- GeoGebra (2020). Extraído el 20/07/2020 de <https://www.geogebra.org/m/Ps6ZVrVZ>
- GRINSTEAD C.M. y SNELL J.L. (2006) *“Introduction to Probability”*. Segunda Edición EBook. Ed. American Mathematical Society.
- GUTIERREZ PULIDO H., DE LA VARA SALAZAR R. (2009) *“Control estadístico de calidad y seis sigmas”*. Segunda Edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- HERNANDEZ ORALLO J. (2004). *“Introducción a la Minería de Datos”*. Versión EBook. Editorial Pearson Education.
- INSHT. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2016). *“Muelles de carga y descarga: seguridad.”* Argentina.

- KELLEY COMPANY (2000). *“Diseño moderno de andén”*. Kelley Company, Inc. Germantown, Wisconsin, Estados Unidos.
- MENDENHALL W., REINMUTH J.E. y BEAVER R.J. (1993). *“Statistics for Management and Economics”*. Séptima Edición. Editorial Thomson Brooks/Cole.
- NICOLAO GARCÍA J.I. (2019). *“Estimación del Número y Tipo de Vehículos de Carga Mediante Clasificación Supervisada y no Supervisada Aplicación a un Almacén de Productos Terminados”*. XXXII ENDIO – XXX EPIO. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Tucumán.
- NICOLAO GARCÍA J.I. y ZÁRATE C. (2018). *“Diseño del muelle de cargas para un almacén de productos congelados”*. COINI. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- ORACLE (2019). *“Guía de usuario de Crystal Ball”*.
- PIÑA-MONARREZ M.R. (2011) *“Desarrollo de la función densidad de probabilidad de la distribución normal y su aplicación”*. Instituto de Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- ROMER CRESPO (2017) *“Técnicas de recolección de datos en investigación cuantitativa”*. Yacambú Editores.
- Transgesa (2018). Extraído el 19 de julio de 2020, de <https://www.transgesa.com/blog/tipos-de-transporte/>

6. ANEXO

ANEXO I: Distribuciones de entrada

A continuación, se presentan valores y gráficos proporcionados por *Crystal Ball* correspondiente a las cargas C, B y S.

Tipo de vehículo	Distribución propuesta por <i>Crystal Ball</i>	Estadístico de prueba C	Valor p	Parámetros
C	Poisson	16,8337	0,0051	Tasa=4
B	Binomial	77,4155	0,00	Probabilidad =0,60582 Parámetro de pruebas=3
S	Binomial negativa	75,4925	0,00	Probabilidad= 0,62 Parámetro de forma= 1

Tabla I. 1: Mejor distribución según tipo de vehículo.

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa. *Crystal Ball*

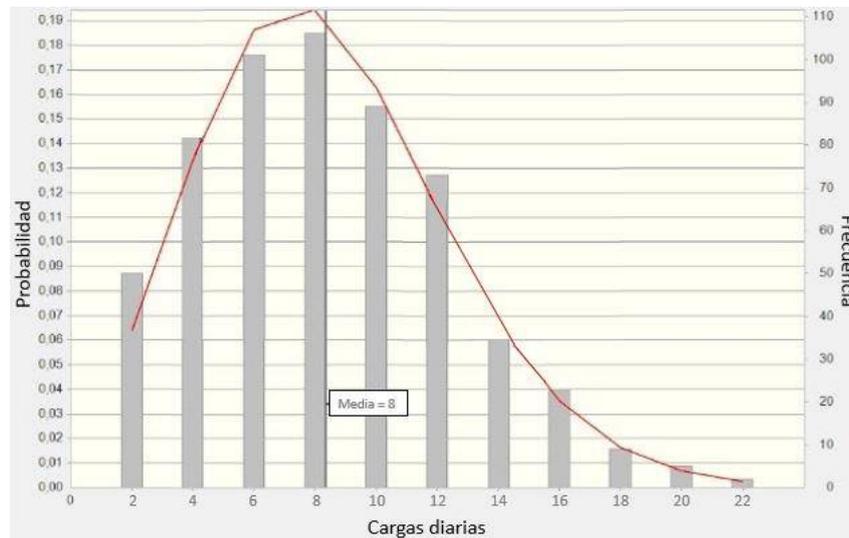


Figura I. 1: Histograma de cargas C y polígono de frecuencias de la mejor distribución.

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa. *Crystal Ball*

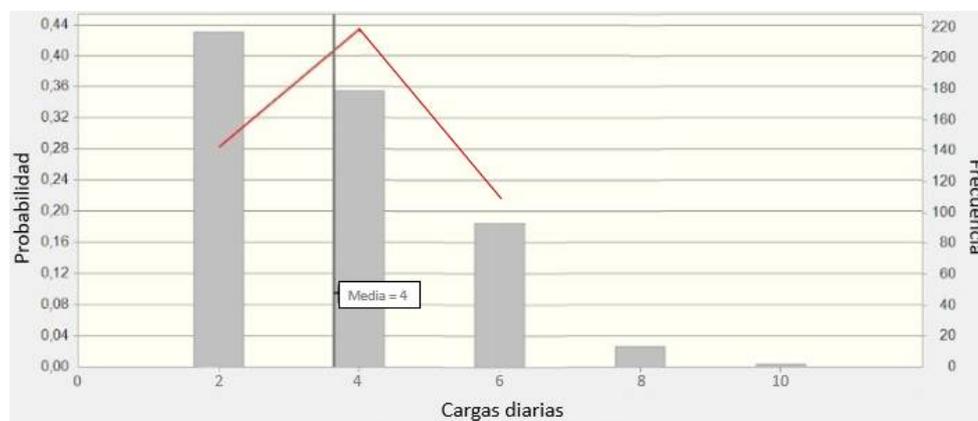


Figura I. 217: Histograma de cargas B y polígono de frecuencias de la mejor distribución.

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa. *Crystal Ball*.

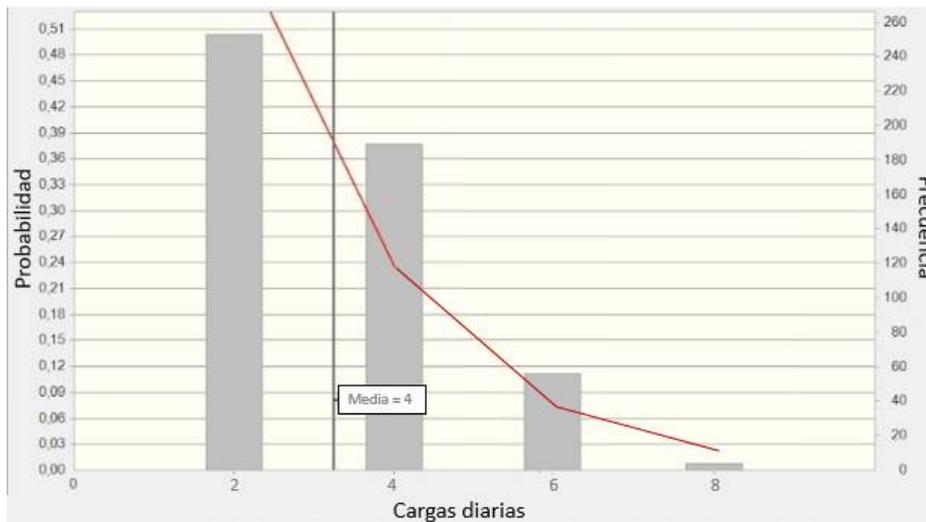


Figura I. 3: Histograma de cargas S y polígono de frecuencias de la mejor distribución. Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionado por la empresa. *Crystal Ball*.

ANEXO II: Complemento al análisis de escenarios

En esta sección, se presentan las figuras y tablas correspondientes a la información extraída de la simulación de cada uno de los escenarios en particular, complementando el análisis de los escenarios abordado durante el desarrollo. Además, se calcula la tasa promedio de ocupación en los turnos más solicitados, de acuerdo a la ecuación 5.

- Escenario 1

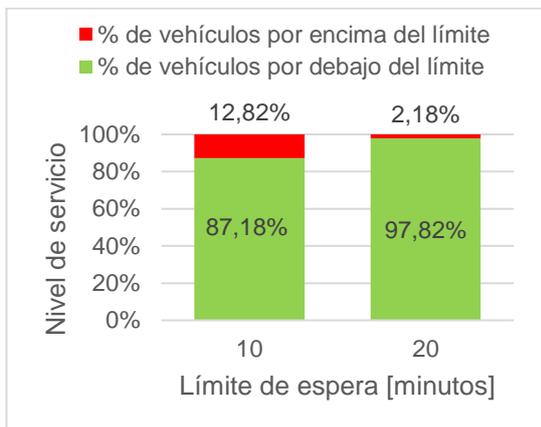


Figura II. 1: Nivel de servicio para camiones turno mañana según límite de espera. Escenario 1.1 Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

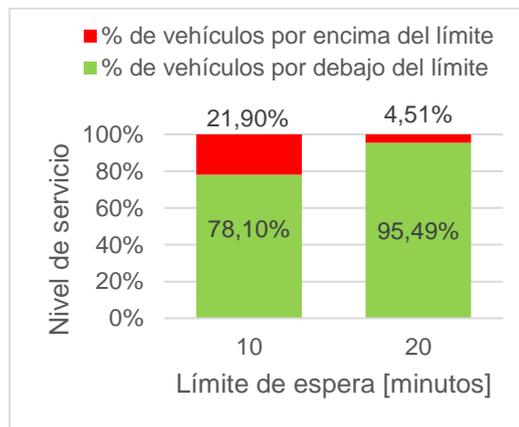


Figura II. 2: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 1.1. Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Tiempo de espera [minutos]	Turno	
	Mañana	Tarde
Máximo	12,94	18,18
Promedio	2,64	4,30

Tabla II. 1: Tiempo de espera máximo y promedio en cola 1. Escenario 1.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	74,50	74,50
1	14,82	89,33
2	6,53	95,85
3	3,43	99,28
4	0,69	99,97
5	0,03	100

Tabla II. 2: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 1.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

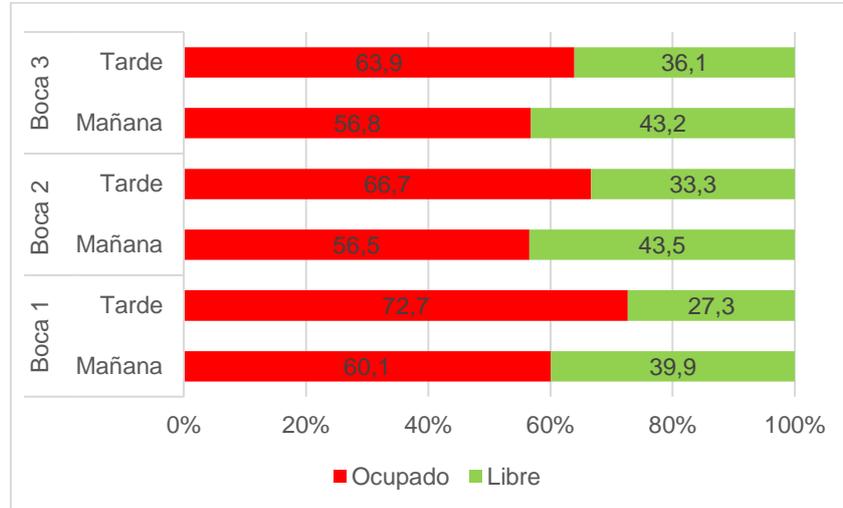


Figura II. 3: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 1.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

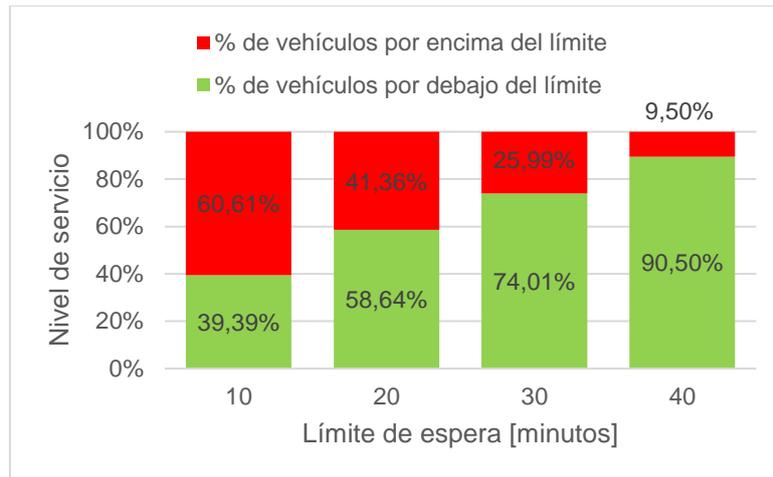


Figura II. 4: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 1.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Tiempo de espera [minutos]	Turno	
	Mañana	Tarde
Máximo	2,09	43,98
Promedio	0,23	17,70

Tabla II. 3: Tiempo de espera máximo y promedio en Cola 1. Escenario 1.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	30,00	30,00
1	12,99	42,99
2	13,21	56,20
3	14,98	71,18
4	12,70	83,88
5	9,35	93,23
6	4,25	97,48
7 - 9	2,52	100

Tabla II. 4: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 1.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

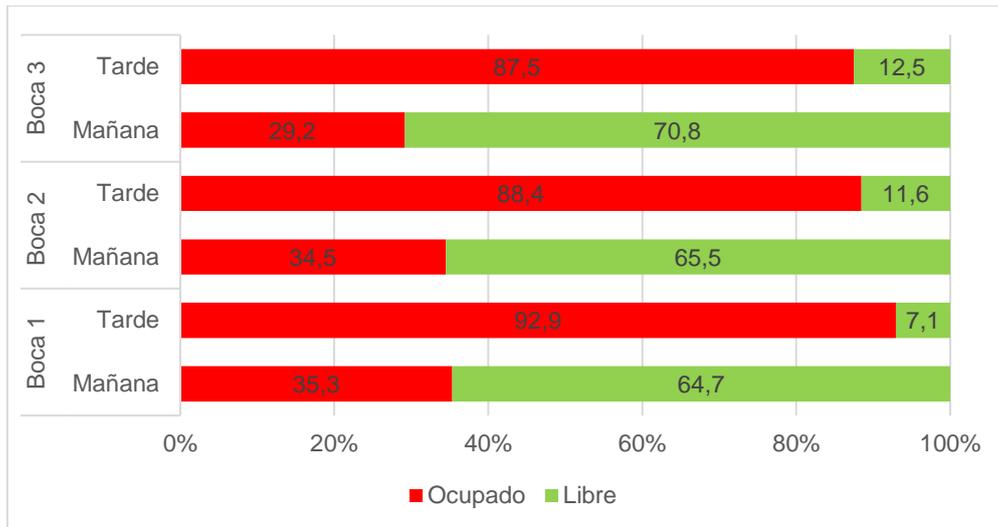


Figura II. 5: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 1.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

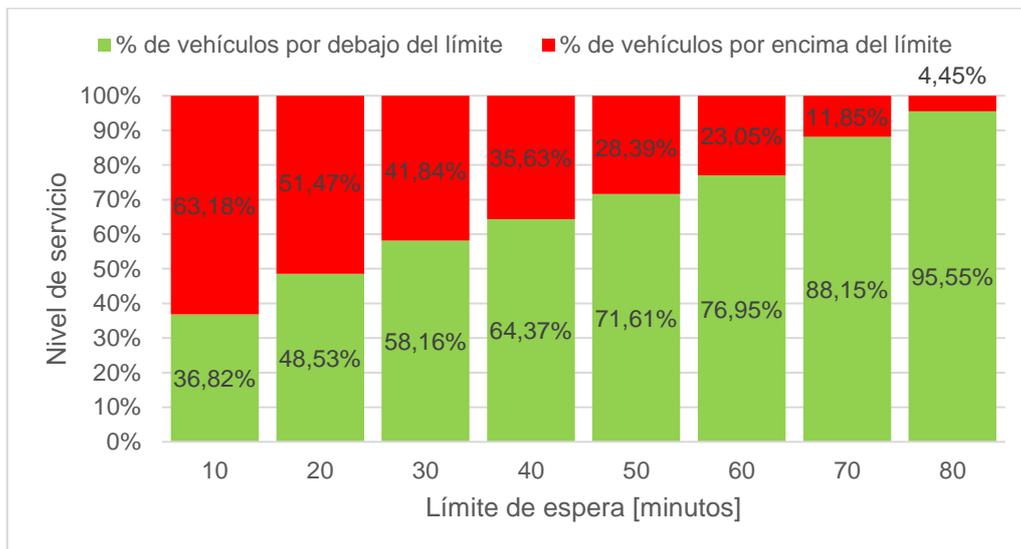


Figura II. 6: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 1.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	25,42	25,42
1	11,49	36,91
2	9,09	46,00
3	8,24	54,24
4	6,39	60,64
5	4,98	65,62
6	5,91	71,53
7	7,03	78,57
8	7,39	85,95
9	7,19	93,14
10	3,40	96,54
11-15	3,46	100

Tabla II. 5: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 1.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

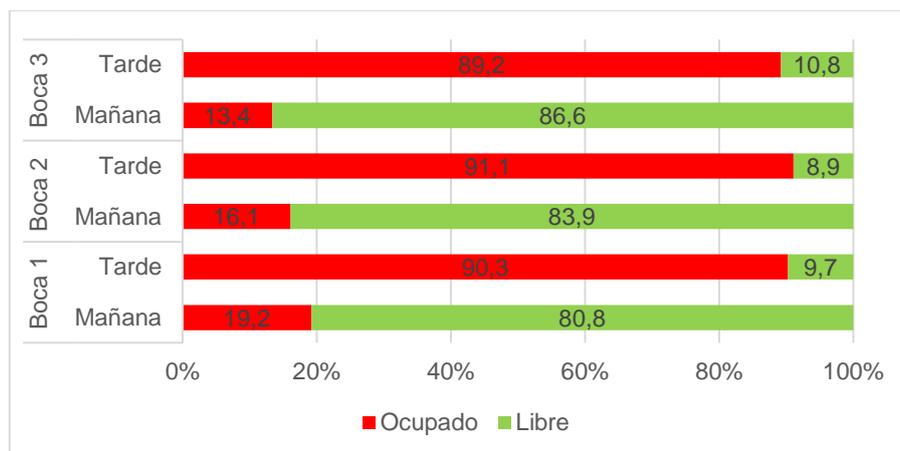


Figura II. 7: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 1.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	91,45	91,45
1	5,32	96,76
2	1,86	98,63
3	1,21	99,83
4	0,17	100

Tabla II. 6: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 1.4.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

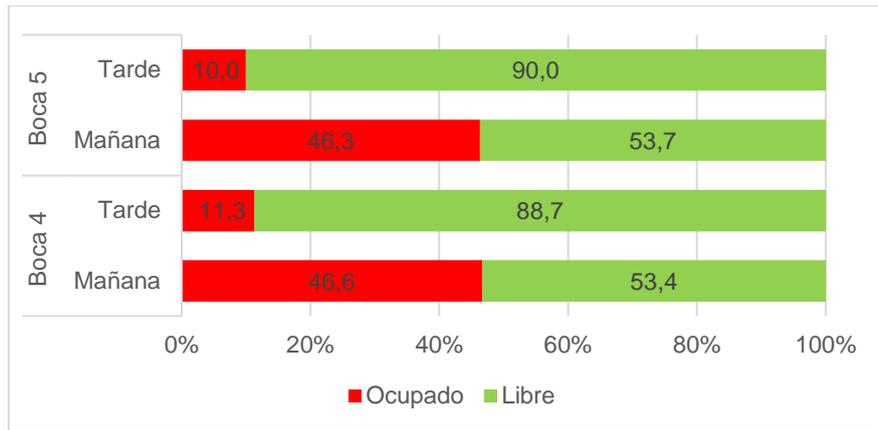


Figura II. 8: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 1.4.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	82,46	82,46
1	10,12	92,57
2	4,14	96,71
3	2,01	98,72
4	0,79	100

Tabla II. 7: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 1.5.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

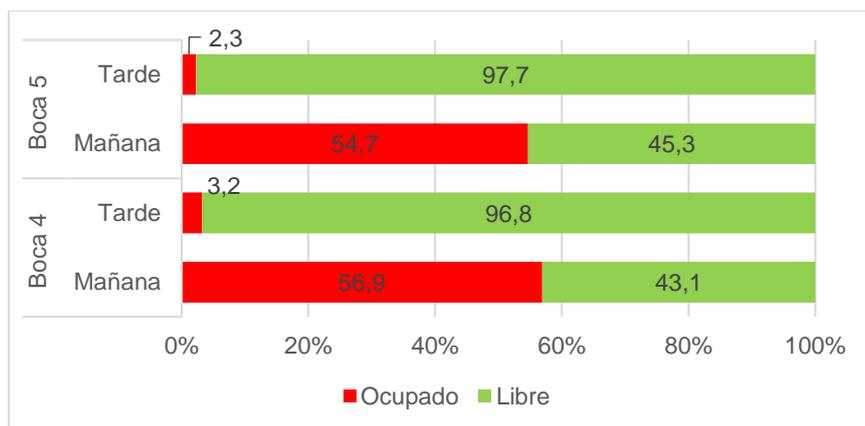


Figura II. 9: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 1.5.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	81,67	81,67
1	11,17	92,85
2	4,92	97,77
3	2,04	99,81
4	0,19	100,00

Tabla II. 8: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 1.6.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

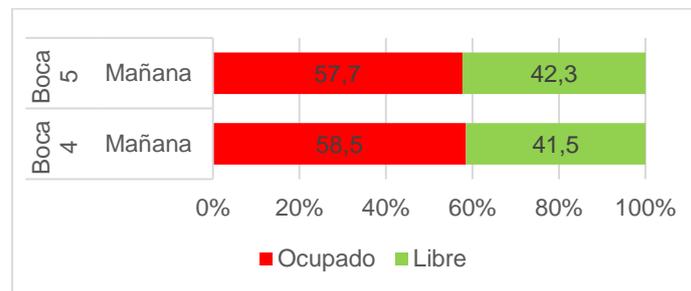


Figura II. 10: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 1.6.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

- Escenario 2

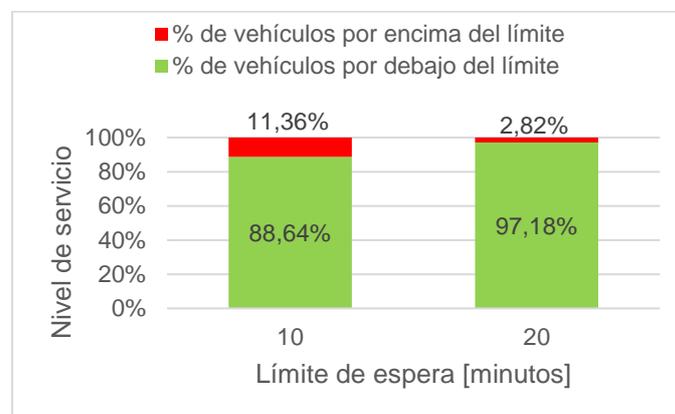


Figura II. 11: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 2.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Tiempo de espera [minutos]	Camiones		Utilitarios	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Máximo	5,74	15,73	6,59	0,00
Promedio	0,65	3,14	0,78	0,00

Tabla II. 9: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. Escenario 2.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	78,70	78,70
1	12,88	91,58
2	5,80	97,38
3	2,36	99,74
4	0,25	100

Tabla II. 10: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 2.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	92,35	92,35
1	4,88	97,23
2	1,58	98,81
3	0,92	99,74
4	0,27	100

Tabla II. 11: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 2.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

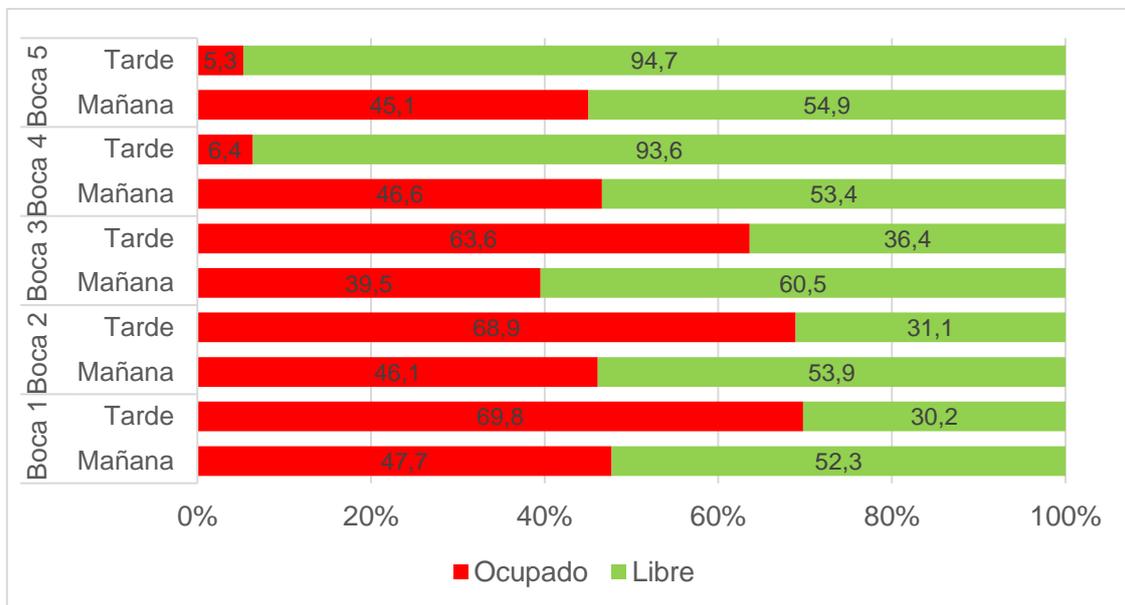


Figura II. 12: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 1.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

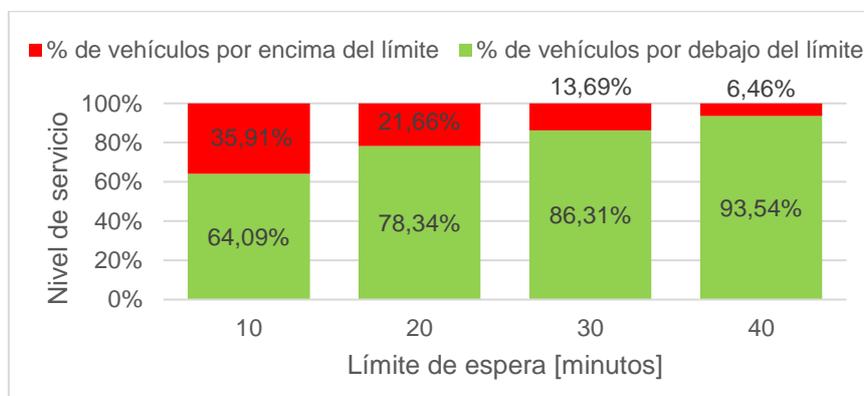


Figura II. 13: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 2.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Tiempo de espera [minutos]	Camiones		Utilitarios	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Máximo	9,88	37,40	9,69	0,71
Promedio	1,17	13,01	2,01	0,10

Tabla II. 12: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. Escenario 2.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	49,25	49,25
1	15,10	64,35
2	9,58	73,94
3	7,82	81,76
4	7,83	89,59
5	7,45	97,04
6	1,88	98,92
7	1,09	100

Tabla II. 13: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 2.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	77,28	77,28
1	11,90	89,17
2	6,54	95,71
3	3,03	98,74
4	1,18	99,92
5	0,07	100

Tabla II. 14: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 2.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

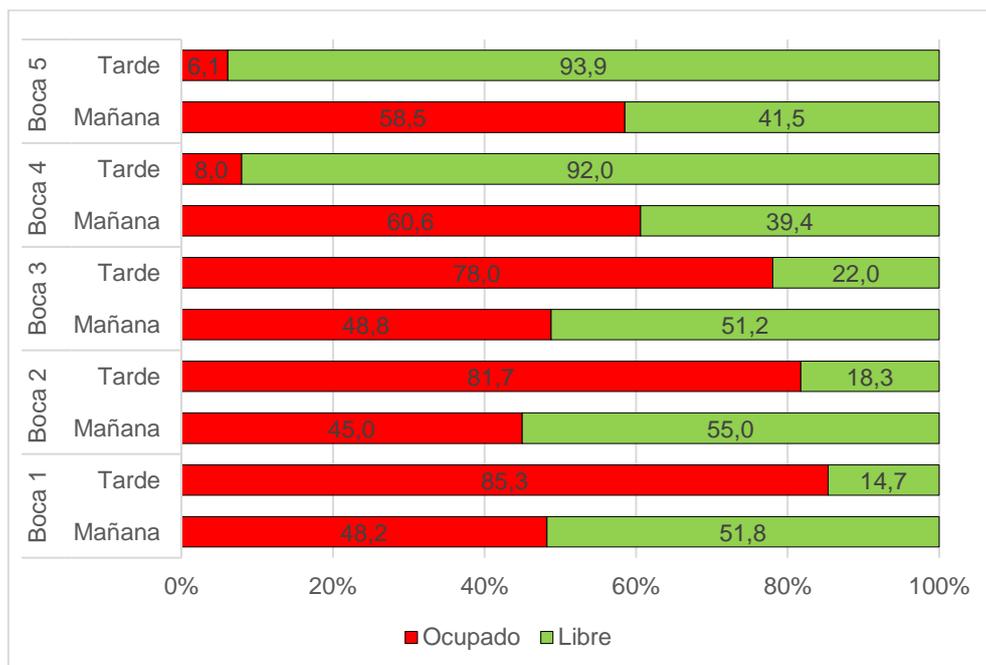


Figura II. 14: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 2.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

- Escenario 3

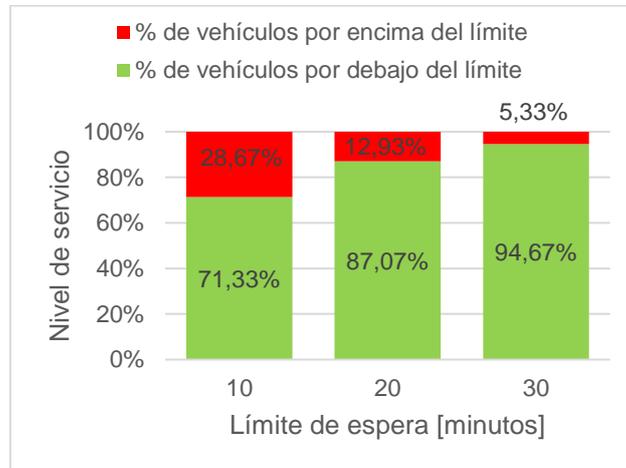


Figura II. 15: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Tiempo de espera [minutos]	Turno	
	Mañana	Tarde
Máximo	5,25	21,03
Promedio	0,92	6,68

Tabla II. 15: Tiempo de espera máximo y promedio en Cola 1. Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	67,02	67,02
1	14,80	81,82
2	11,75	93,56
3	4,31	97,87
4	2,13	100

Tabla II. 16: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

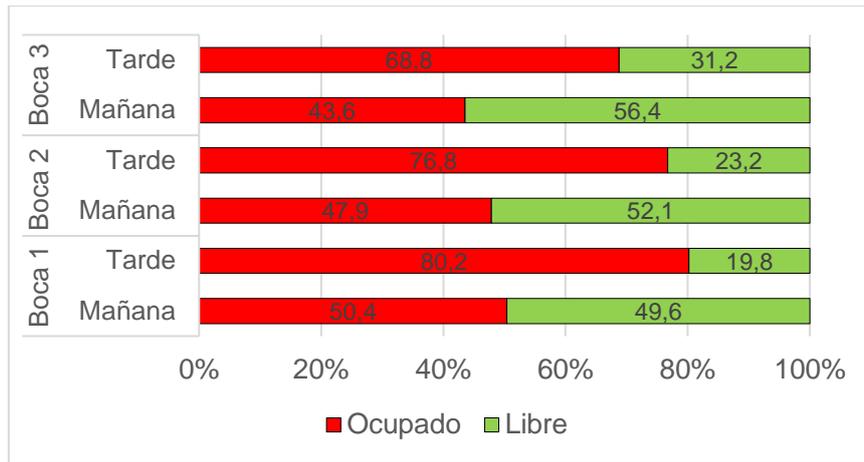


Figura II. 16: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

- Escenario 4

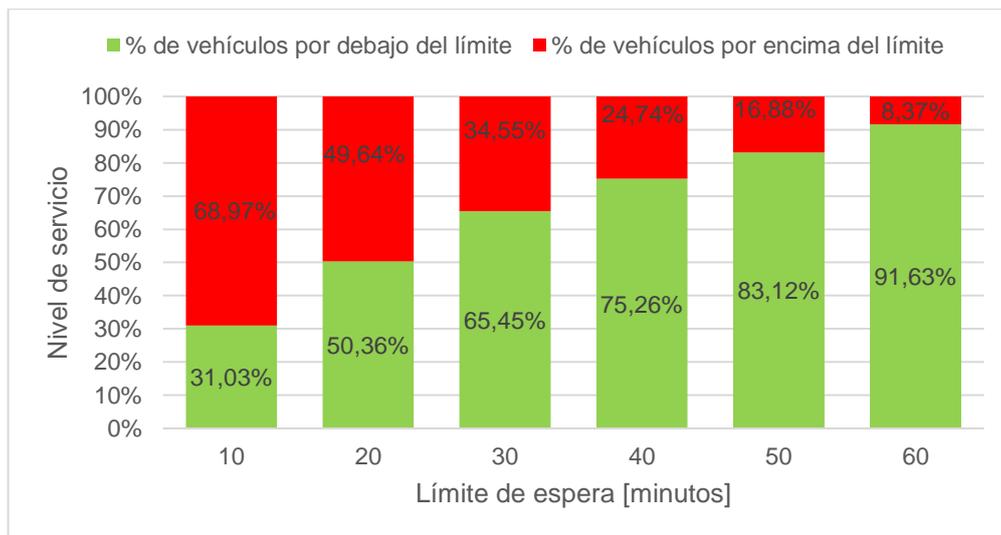


Figura II. 17: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 4.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	30,21	30,21
1	15,31	45,52
2	12,40	57,92
3	11,07	68,99
4	7,74	76,74
5	6,43	83,17
6	8,12	91,29
7	4,25	95,53
8	2,32	97,86
9	1,89	99,75
10	0,24	100

Tabla II. 17: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 4.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

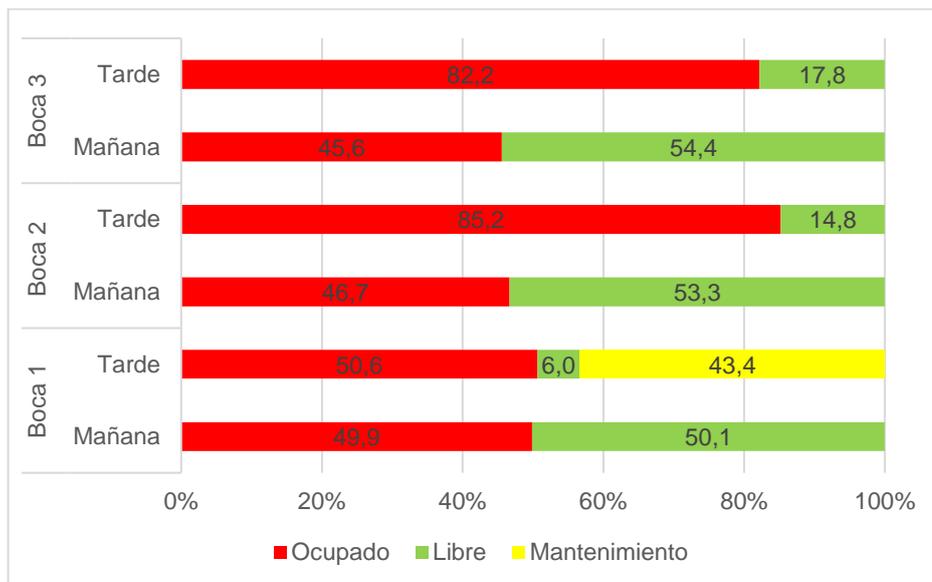


Figura II. 18: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 4.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

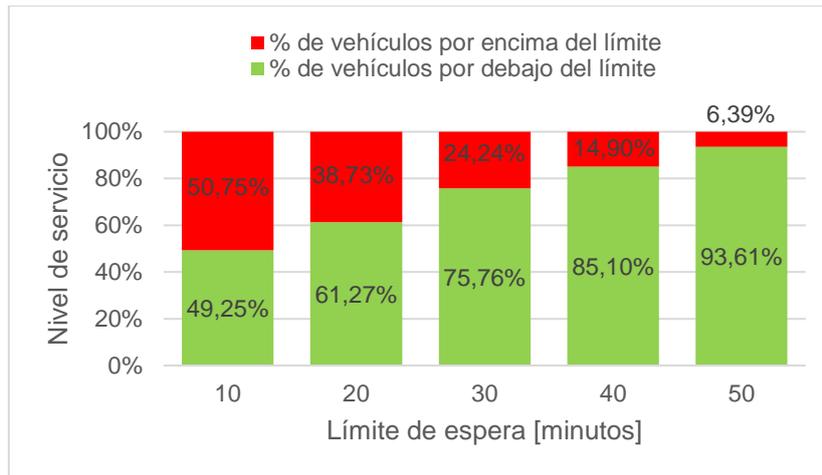


Figura II. 19: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 4.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	42,00	42,00
1	14,43	56,44
2	13,11	69,55
3	9,37	78,93
4	8,27	87,20
5	8,54	95,74
6	3,72	99,46
7	0,54	100

Tabla II. 18: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 4.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

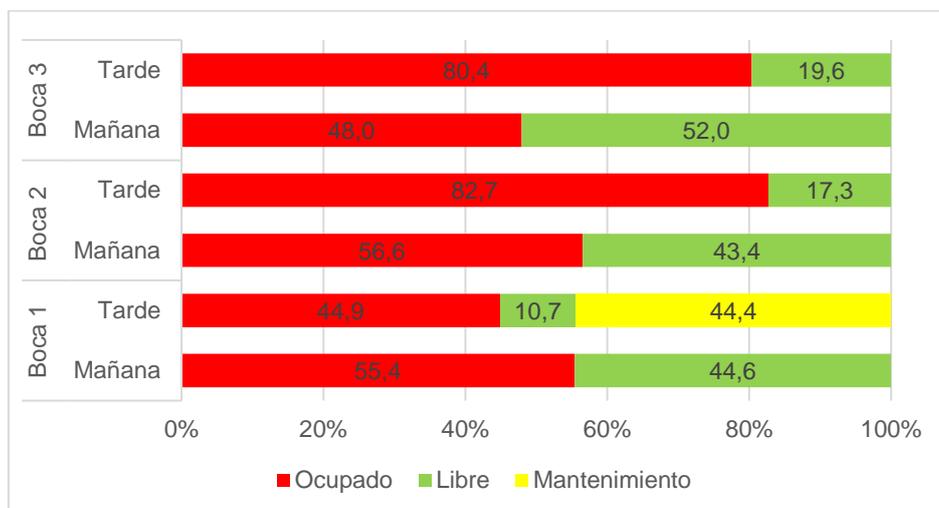


Figura II. 20: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 4.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

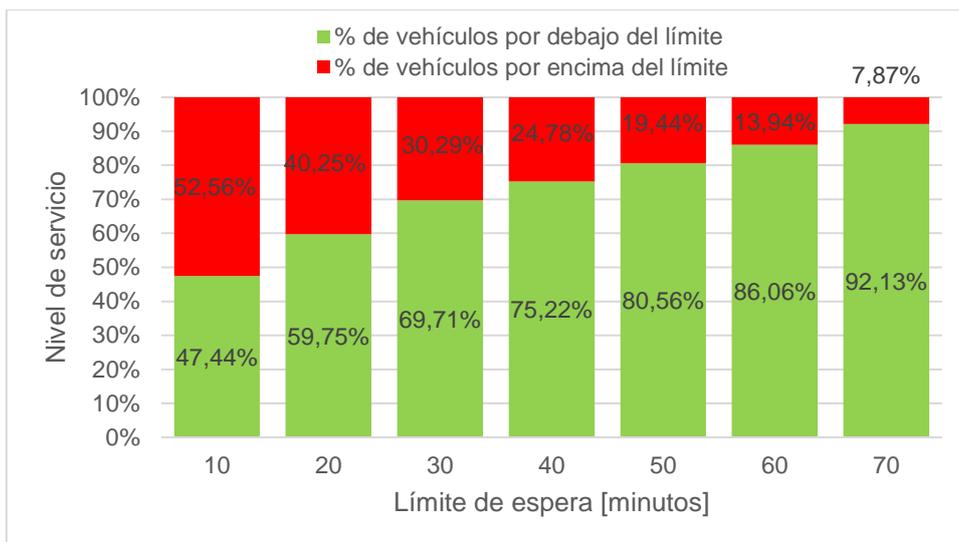


Figura II. 21: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 4.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]	Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	43,06	43,06	6	4,06	88,59
1	10,63	53,70	7	4,06	92,65
2	12,23	65,92	8	2,47	95,12
3	10,04	75,97	9	2,09	97,21
4	4,72	80,68	10	2,36	99,57
5	3,85	84,54	11	0,43	100

Tabla II. 19: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 4.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

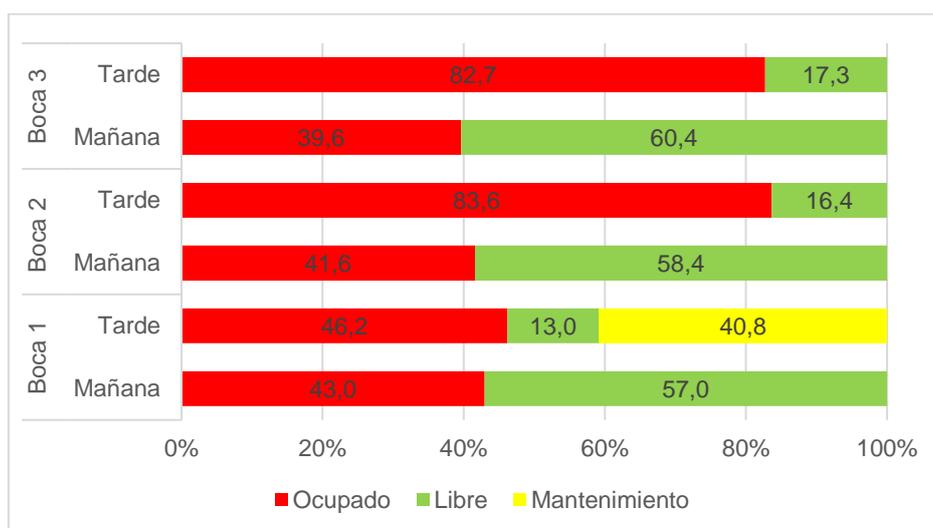


Figura II. 22: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 4.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

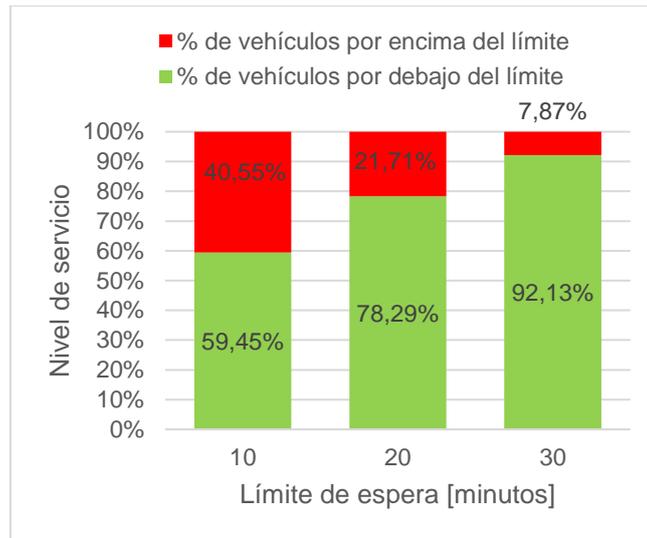


Figura II. 23: Nivel de servicio para utilitarios en turno mañana según límite de espera. Escenario 4.4.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	48,63	48,63
1	12,17	60,80
2	9,08	69,88
3	10,44	80,32
4	6,70	87,02
5	4,73	91,74
6	2,17	93,91
7	2,16	96,08
8	2,43	98,51
9 - 11	1,49	100

Tabla II. 20: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 4.4.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

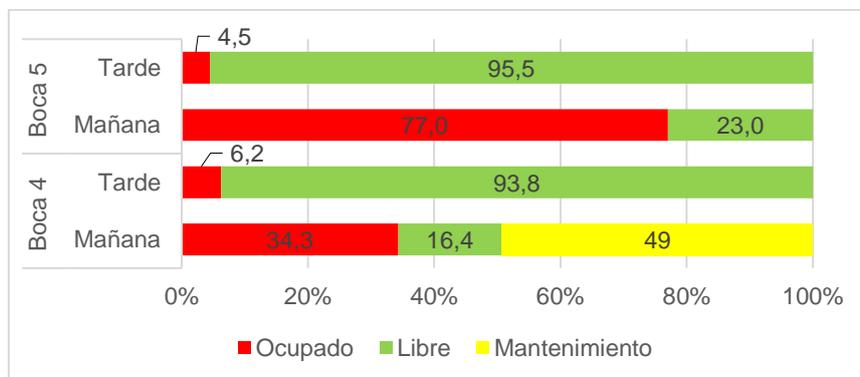


Figura II. 24: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 4.4.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

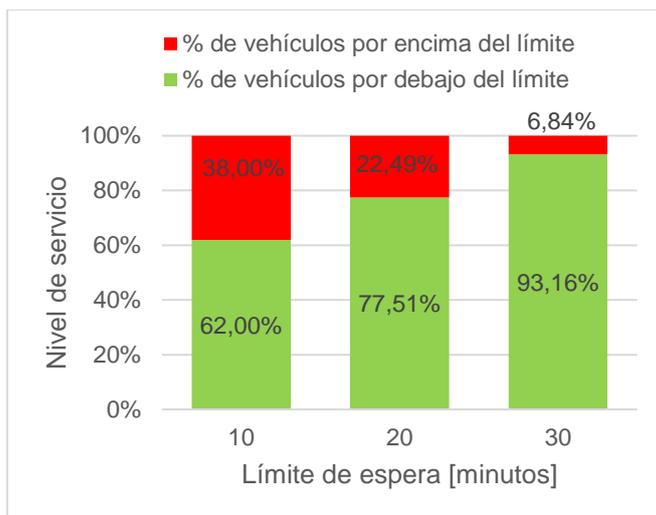


Figura II. 25: Nivel de servicio para utilitarios en turno mañana según límite de espera. Escenario 4.5.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]	Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	49,03	49,03	7	1,26	97,36
1	15,52	64,55	8	1,14	98,50
2	8,82	73,37	9	0,34	98,84
3	8,45	81,82	10	0,26	99,10
4	8,78	90,59	11	0,63	99,73
5	3,33	93,93	12	0,27	100
6	2,17	96,10			

Tabla II. 21: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 4.5.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

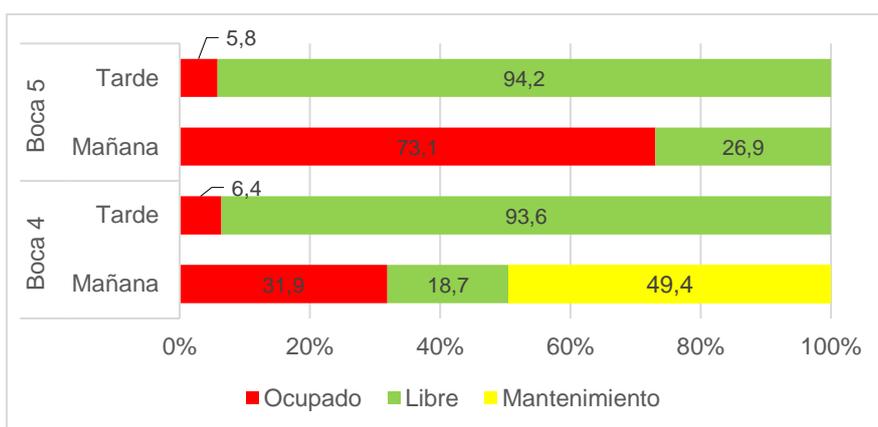


Figura II. 26: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 4.5.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

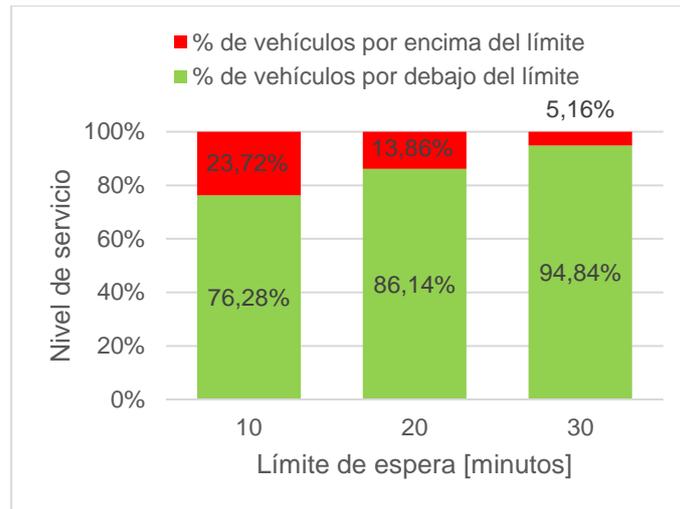


Figura II. 27: Nivel de servicio para utilitarios en turno mañana según límite de espera. Escenario 4.6.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	59,43	59,43
1	16,22	75,65
2	8,38	84,02
3	6,23	90,26
4	4,88	95,14
5	2,16	97,29
6	1,71	99,00
7	0,98	99,99
8	0,01	100

Tabla II. 22: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 4.6.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

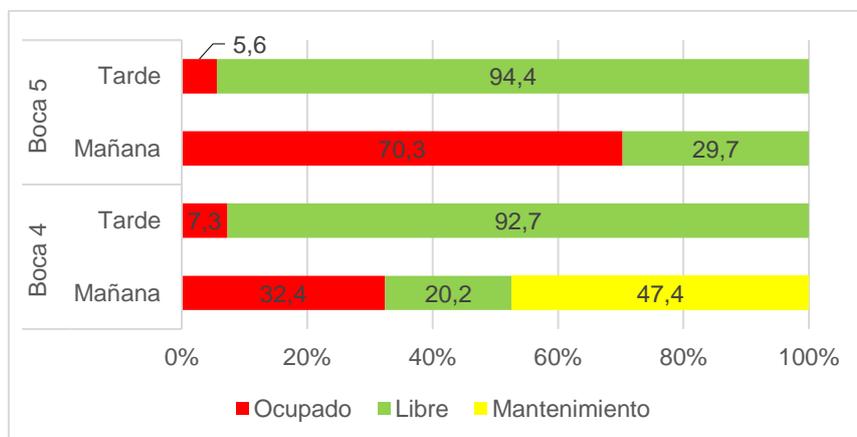


Figura II. 28: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 4.5.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

- Escenario 5

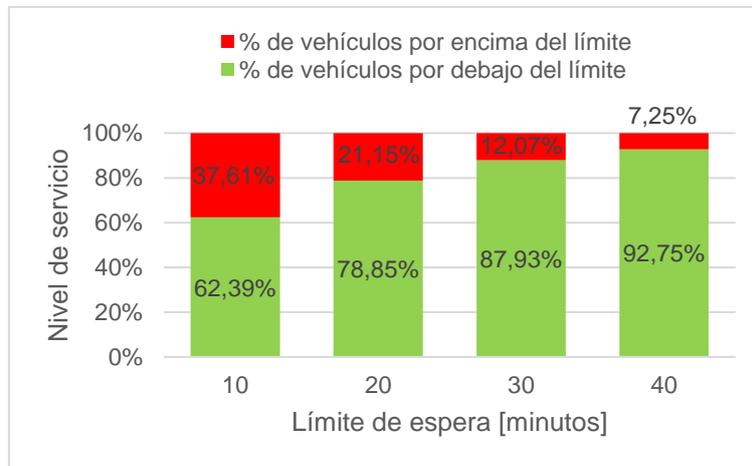


Figura II. 29: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 5.1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Tiempo de espera [minutos]	Camiones		Utilitarios	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Máximo	9,51	31,62	9,24	0,00
Promedio	1,43	11,30	1,85	0,00

Tabla II. 23: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. Escenario 5.1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	59,19	59,19
1	15,91	75,10
2	9,72	84,82
3	9,08	93,90
4	3,71	97,61
5 - 7	2,39	100

Tabla II. 24: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 5.1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	78,53	78,53
1	13,12	91,65
2	5,49	97,13
3	2,24	99,37
4 - 5	0,63	100

Tabla II. 25: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 5.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

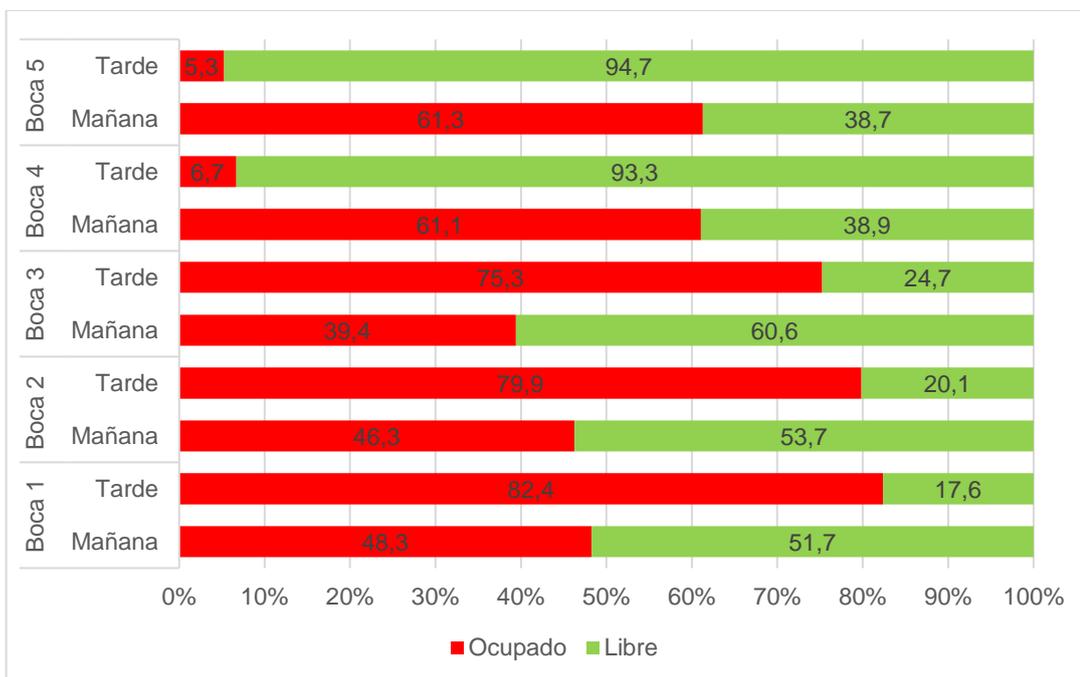


Figura II. 30: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 5.1.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

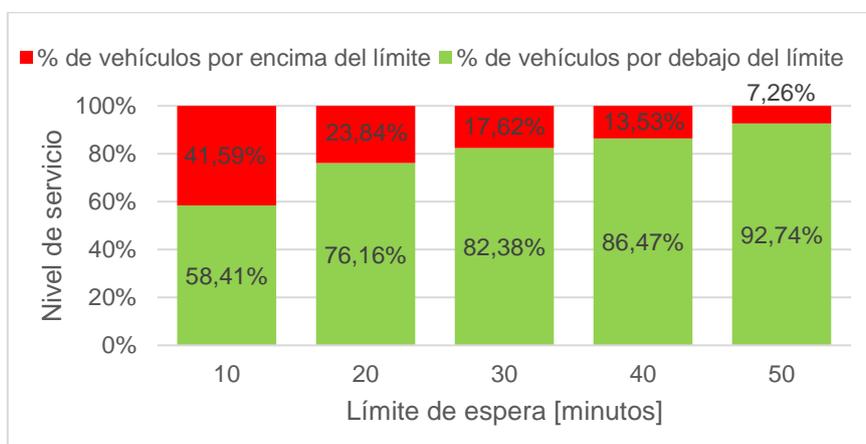


Figura II. 31: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 5.2.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Tiempo de espera [minutos]	Camiones		Utilitarios	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Máximo	6,30	37,46	11,89	0,11
Promedio	1,01	13,32	2,78	0,03

Tabla II. 26: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. Escenario 5.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	52,15	52,15
1	17,09	69,24
2	7,77	77,01
3	5,87	82,87
4	4,11	86,98
5	6,36	93,34
6	2,31	95,66
7	2,25	97,91
8	1,73	99,64
9	0,35	100

Tabla II. 27: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 5.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	69,95	69,95
1	13,25	83,20
2	6,15	89,35
3	4,77	94,12
4	3,28	97,40
5	2,19	99,59
6	0,41	100

Tabla II. 28: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 5.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

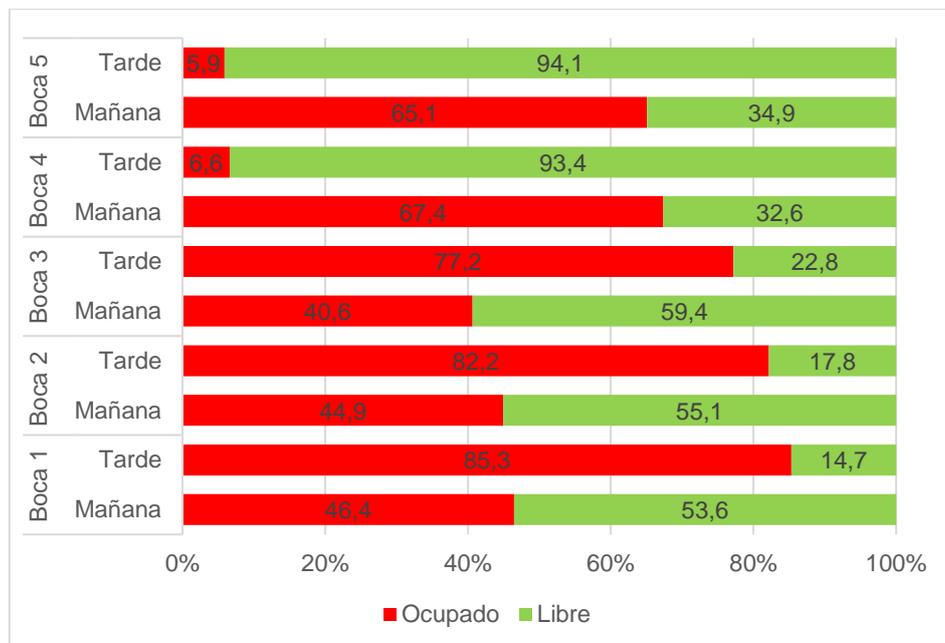


Figura II. 32: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 5.2.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

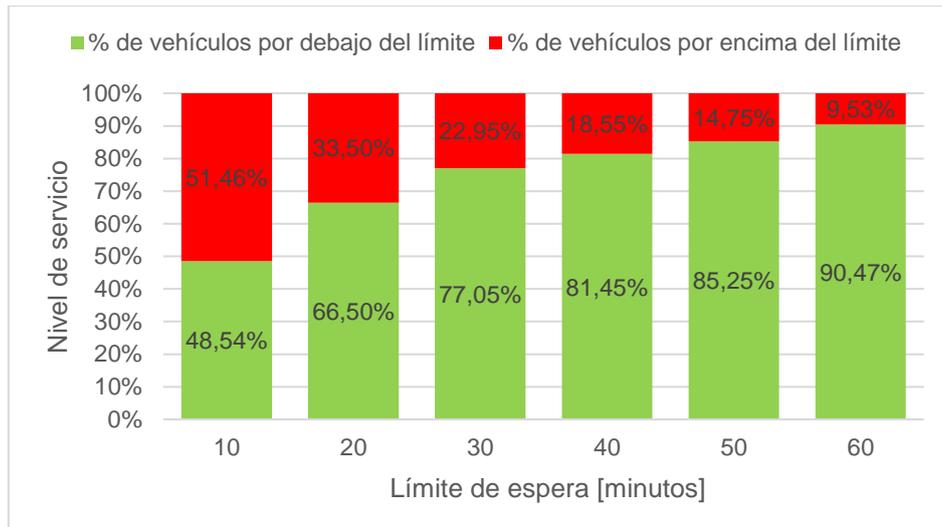


Figura II. 33: Nivel de servicio para camiones en turno tarde según límite de espera. Escenario 5.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

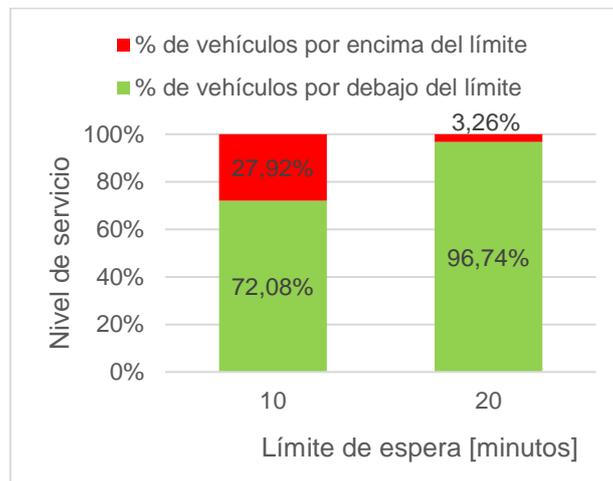


Figura II. 34: Nivel de servicio para utilitarios en turno mañana según límite de espera. Escenario 5.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Tiempo de espera [minutos]	Camiones		Utilitarios	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Máximo	12,37	50,92	17,76	0,00
Promedio	2,88	19,33	6,69	0,00

Tabla II. 29: Tiempo de espera máximo y promedio en cola. Escenario 5.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]	Cantidad de vehículos en cola 1	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	41,45	41,45	8	3,44	90,05
1	14,54	55,98	9	4,24	94,29
2	10,94	66,92	10	2,12	96,40
3	7,05	73,97	11	1,28	97,68
4	5,42	79,39	12	1,12	98,81
5	3,20	82,58	13	1,01	99,81
6	2,39	84,97	14	0,18	100
7	1,63	86,60			

Tabla II. 30: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 1. Escenario 5.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

Cantidad de vehículos en cola 2	Probabilidad [%]	Probabilidad acumulada [%]
0	38,29	38,29
1	16,21	54,50
2	15,79	70,29
3	10,04	80,32
4	9,92	90,24
5	5,76	96,01
6 - 8	3,99	100

Tabla II. 31: Cantidad de vehículos y probabilidad de ocurrencia en Cola 2. Escenario 5.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.

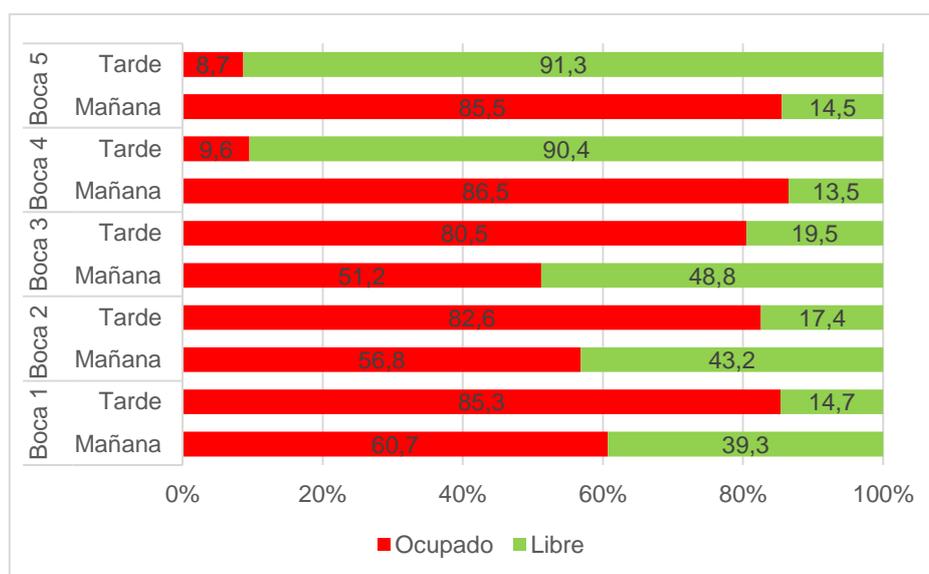


Figura II. 35: Tasas de ocupación por boca y turno. Escenario 5.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en *FlexSim*.