

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN
LOGÍSTICA”**

TEMA:

**MODELO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE DESPACHO EN UN
CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO PARA
NUTRICIÓN ANIMAL EN LA CIUDAD DE DURÁN**

AUTOR:

FREDDY SAMUEL NAVARRO TOBAR

Guayaquil - Ecuador

2022

RESUMEN

La investigación que se presenta tiene como propósito generar escenarios utilizando métodos de simulación, para determinar la mano de obra operativa adecuada satisfaciendo la demanda que se despacha a clientes internos y externos de una empresa que fabrica producto terminado para nutrición animal, misma que debe estar acorde a la productividad de los negocios del centro de distribución que se encuentra ubicado en la ciudad de Durán.

Los negocios que se atienden son dos: NEG1 y NEG2; mismos que se especializan en las entregas de manera individual y en un mix; es decir, cargas compartidas. Los clientes se encuentran agrupados en seis macro canales; en donde, cada macro canal realiza sus pedidos a través de órdenes de ventas y cada orden de venta tiene un número de SKU.

Para resolver el problema, se analizará las distribuciones de los tiempos del proceso de preparación y despachos por parte de la mano de obra, la productividad por tipo de negocio, la correlación entre el número de SKU y las horas del proceso de preparación y despachos.

Con el diagrama de flujo, las variables y restricciones configuradas en el software de simulación, se obtiene un resultado que consecuentemente es comparado con el número de colaboradores en la operación actual.

ABSTRACT

The purpose of the research presented is to generate scenarios using simulation methods, to determine the appropriate operational workforce satisfying the demand that is dispatched to internal and external customers of a company that manufactures finished product for animal nutrition, which must be in accordance with the productivity of the business of the distribution center that is located in the city of Durán.

The businesses that are served are two: NEG1 and NEG2; they specialize in deliveries individually and in a mix; that is, shared loads. Customers are grouped into six macro channels; where, each macro channel places its orders through sales orders and each sales order has several SKUs.

To solve the problem, the distributions of the times of the preparation process and dispatches by the workforce, the productivity by type of ego, the correlation between the number of SKUs and the hours of the preparation process and dispatches will be analyzed.

With the flowchart, the variables and constraints configured in the simulation software, a result is obtained that is consequently compared with the number of collaborators in the current operation.

DEDICATORIA

A mis padres José e Ibis, a Karly mi esposa por su amor y apoyo incondicional,
con mucho amor a José e Ibis mis hijos.

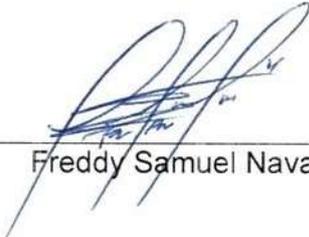
AGRADECIMIENTO

A mi tutor Sergio, compañeros en especial Alfredo, Kelvin y César.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.



Freddy Samuel Navarro Tobar

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



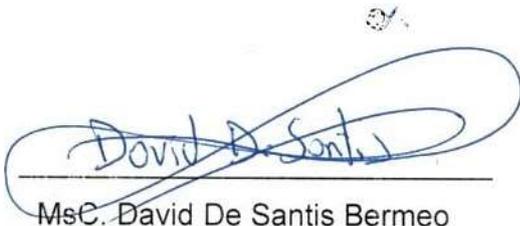
Omar Ruiz Barzola, PhD.

PRESIDENTE



Sergio Bauz Olvera, PhD

DIRECTOR



MsC. David De Santis Bermeo

VOCAL 1



Fernando Sandoya Sánchez, PhD.

VOCAL 2

ABREVIATURAS O SIGLAS

OMS.- Organización Mundial de la Salud

ERP.- Enterprise Resource Planning

S&OP.- Sales and Operation Planning

MPS.- Master Production Schedule

DRP.- Distribution Resource Planning

KPI.- Key Performance Indicators

WMS.- Warehouse Management System

OV.- Ordenes de Ventas

RPL.- Ordenes de Transferencias

SKU.- Stock Keeping Unit

NEG1.- Cuidado otras especies

NEG2.- Negocio animal

NEG3.- Mix de NEG1 y NEG2

CD.- Centro de distribución

WIP.-Trabajo en proceso

CT.- Tiempo de ciclo

TH.- Rendimiento

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Hipótesis	4
1.4. Alcance	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Simulación	6
2.1.1. Definición.....	6
2.1.2. Ventajas y desventajas	6
2.1.3. Metodología de la simulación	7
2.2. Funciones de distribución discretas y continuas	7
2.2.1. Variable aleatoria	7
2.2.2. Distribución discreta de probabilidad	8
2.2.3. Distribución de Poisson	8
2.2.4. Distribución discreta acumulada	9
2.2.5. Distribución de probabilidad continua	9
2.2.6. Función de distribución acumulativa.....	10
2.2.7. Distribución normal	11
2.2.8. Distribución Gamma	11
2.2.9. Distribución de Weibull	12
2.2.10. Pruebas de bondad de ajuste.....	13
2.2.11. Prueba de bondad de ajuste Ji-cuadrado.....	13

2.2.12.	Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov	13
2.3.	Software de simulación	14
2.4.	Centro de distribución	15
2.4.1.	Recepción de mercadería.....	16
2.4.2.	Almacenamiento de mercadería	16
2.4.3.	Preparación de pedidos y despachos	17
2.5.	Ley de Little.....	18
2.5.1.	WIP (Work in Process).....	18
2.5.2.	CT (Cycle Time).....	18
2.5.3.	TH (Throughput)	18
CAPÍTULO 3.....		19
3.	METODOLOGÍA	19
3.1.	Base de datos	19
3.2.	Centro de distribución de NEG1, NEG2 y NEG3	20
3.3.	Costos de mano de obra operativa	21
3.4.	Demanda Proyectada	22
3.5.	Descripción de las variables aleatorias	23
3.6.	Definición de locaciones y relación con las variables	24
3.7.	Diagrama de flujo interno de la simulación	25
3.7.1.	Entidad.....	26
3.7.2.	Selección de negocio.....	26
3.7.3.	Selección de canal de distribución.....	26
3.7.4.	Espera de acumulación	27
3.7.5.	Proceso de carga.....	27
3.7.6.	Salida de Entidad.....	27
3.8.	Estadística descriptiva	27

3.9.	Correlación entre variables	31
3.10.	Función de distribución de la demanda	32
3.11.	Pruebas de bondad de ajuste de las variables	34
CAPÍTULO 4.....		39
4.	RESULTADOS.....	39
4.1.	Resultados del modelo de simulación.....	45
4.1.1.	Primer Experimento (Demanda referencial al mes de enero 2023).....	46
4.1.2.	Segundo Experimento (Demanda mes de febrero 2023)	49
4.1.3.	Tercer Experimento (Demanda mes de noviembre 2023).....	51
4.1.4.	Cuarto Experimento (Demanda mes de diciembre 2023).....	53
4.2	Resultados generales del modelo de simulación	55
4.3	Resultados generales de análisis por andenes disponibles.....	56
4.3.1	Resultados escenario 1 (NEG1;2) y 2 (NEG1;4) negocio NEG1	57
4.3.2	Resultados escenario 3 (NEG2;2) y 4 (NEG2;4) negocio NEG2	61
4.3.3	Resultados escenario 5 (NEG3;2) y 6 (NEG3;4) negocio NEG3	66
CAPÍTULO 5.....		70
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
5.1	Conclusiones	70
5.2	Recomendaciones	71
6.	REFERENCIAS	73

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1. Distribución normal	10
Figura 2.2. Curva normal	11
Figura 2.3 Almacenamiento de mercadería	16
Figura 2.4 Montacarga eléctrico.....	17
Figura 2.5 Sistema de colas Little Law.....	18
Figura 3.1 Centro de distribución de NEG1, NEG2 y NEG3	20
Figura 3.2 Estructura mano de obra CD	21
Figura 3.3 Serie de tiempos de la demanda	23
Figura 3.4 Diagrama de flujo de simulación	26
Figura 3.5 Correlación entre SKU y Horas Trabajadas de la base de datos....	31
Figura 3.6 Correlación entre SKU y Horas Trabajadas del negocio NEG1	31
Figura 3.7 Correlación entre Toneladas y Horas Trabajadas.....	32
Figura 3.8 Función de distribución Demanda.....	34
Figura 3.9 Función de distribución N1M1VEH1	35
Figura 3.10 Función de distribución N1M1VEH3	36
Figura 3.11 Análisis por andenes disponibles.....	38
Figura 4.1 Modelo del Negocio NEG1.....	40
Figura 4.2 Modelo del Negocio NEG2.....	41
Figura 4.3 Modelo del Negocio NEG3.....	42
Figura 4.4 Propiedades del Búfer de Macro canales	42
Figura 4.5 Layout del modelo de simulación.....	44
Figura 4.6 Porcentaje de utilización enero 2023	46
Figura 4.7 Conteo de carga enero 2023	47
Figura 4.8 Porcentaje de utilización febrero 2023.....	49

Figura 4.9	Conteo de carga febrero 2023	50
Figura 4.10	Porcentaje de utilización noviembre.....	51
Figura 4.11	Conteo de carga noviembre 2023.....	52
Figura 4.12	Porcentaje de utilización diciembre 2023.....	53
Figura 4.13	Conteo de carga 2023.....	54
Figura 4.14	Productividad NEG1.....	61
Figura 4.15	Utilización NEG1	61
Figura 4.16	Productividad NEG2.....	65
Figura 4.17	Utilización NEG2	65
Figura 4.18	Productividad NEG3.....	69
Figura 4.19	Utilización NEG3	69

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3.1 Tipo de Negocios	19
Tabla 3.2 Macro canal.....	19
Tabla 3.3 Tipo de transportes y capacidad	20
Tabla 3.4 número de colaboradores fijos y eventuales por cargo	21
Tabla 3.5 Salario por cargo.....	22
Tabla 3.6 Demanda Proyectada.....	23
Tabla 3.7 Locaciones.....	25
Tabla 3.8 Estadística por Negocios.....	28
Tabla 3.9 Estadística por el negocio NEG1	29
Tabla 3.10 Estadística por el negocio NEG2.....	29
Tabla 3.11 Estadística por el negocio NEG3.....	30
Tabla 3.12 Bondad de ajuste de la demanda.....	32
Tabla 3.13 Estadística descriptiva de la demanda	33
Tabla 3.14 Parámetros Weibull de la demanda	33
Tabla 3.15 Estadística descriptiva del negocio N1M1VEH1	35
Tabla 3.16 Prueba de bondad de ajuste N1M1VEH1	35
Tabla 3.17 Estadística descriptiva del negocio N1M1VEH3	36
Tabla 3.18 Prueba de bondad de ajuste N1M1VEH3	36
Tabla 3.19 Prueba de bondad de ajuste – distribución	37
Tabla 3.20 Escenarios por andenes del centro de distribución.....	38
Tabla 4.1 Tabla de resultados mes enero 2023	48
Tabla 4.2 Tabla de resultados mes febrero 2023.....	50
Tabla 4.3 Tabla de resultados mes noviembre 2023	52
Tabla 4.4 Tabla de resultados mes diciembre 2023.....	54

Tabla 4.5 Tabla de resultados generales correspondientes a los 8 primeros experimentos.....	55
Tabla 4.6 Tabla de resultados generales correspondientes a los 8 últimos experimentos.....	56
Tabla 4.7 Análisis actual del Negocio NEG1 1era Parte	57
Tabla 4.8 Análisis actual de NEG1 2doParte	58
Tabla 4.9 Análisis de NEG1 1er escenario 1era parte	58
Tabla 4.10 Análisis de NEG1 1er escenario 2da parte	59
Tabla 4.11 Análisis de NEG1 2do escenario 1era parte	59
Tabla 4.12 Análisis de NEG1 2do escenario 2da parte.....	60
Tabla 4.13 Análisis actual del Negocio NEG2 1era parte	62
Tabla 4.14 Análisis actual del NEG2 2da parte.....	62
Tabla 4.15 Análisis de NEG2 3er escenario 1era parte	63
Tabla 4.16 Análisis de NEG2 3er escenario 2da parte	63
Tabla 4.17 Análisis de NEG2 4to escenario 1era parte	64
Tabla 4.18 Análisis de NEG2 4to escenario 2da parte.....	64
Tabla 4.19 Análisis actual de NEG3 1era parte	66
Tabla 4.20 Análisis actual de NEG3 2da parte.....	66
Tabla 4.21 Análisis de NEG3 5to escenario 1era parte	67
Tabla 4.22 Análisis de NEG3 5to escenario 2da parte.....	67
Tabla 4.23 Análisis de NEG3 6to escenario 1era parte	68
Tabla 4.24 Análisis de NEG3 6to escenario 2da parte.....	68

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La mano de obra fue necesaria para el crecimiento de las fábricas desde la época de la revolución industrial. Los trabajadores comenzaron a ser una figura muy relevante por sus servicios hasta la actualidad. Se considera mano de obra a todo esfuerzo sea este físico o mental llevado a cabo por un ser humano cuyos objetivos puede ser fabricar, construir, reparar, mantenimiento de un bien, servicio o realizar una tarea específica a cambio de una remuneración económica que dicho trabajo implica. (Meléndez, 2014)

Toda iniciativa o actividad económica productiva o servicio que se desea realizar requiere de mano de obra. Esa capacidad que involucra el trabajo es lo que la clase trabajadora tiene para intercambiar en el circuito económico, por lo general, a cambio de un salario. La división del trabajo es un concepto económico desarrollado por el escocés Adam Smith, quien plantea: La desagregación de una actividad compleja en componentes, a fin de que los individuos sean responsables de un conjunto limitado de actividades y no de la actividad como un todo. (Meléndez, 2014)

Cada trabajador debe concentrarse únicamente en una etapa del proceso productivo y no en la totalidad como en los centros de distribución siendo los procesos de recepción, almacenamiento y despachos. Esta división trae como consecuencia el incremento de la eficiencia en los trabajadores, por ende, el incremento en la productividad de la empresa, fábrica o industria. (Debreu, 1973)

Las empresas tienen sus métricas en función de la actividad en la que se desempeñan. La productividad es una medida que calcula cuantos bienes, artículos han sido fabricados o despachados en función de un objetivo por cada mano de obra o grupo de trabajadores dentro de un plazo determinado

(Paz & Gómez, s.f.), o a su vez en términos de volumetría como es el caso de toneladas y las horas hombres trabajadas en un periodo de tiempo.

A mayor productividad se obtiene mayor rentabilidad, es decir, mayores beneficios. Así, en muchos casos la productividad se incrementa cuando se realizan cambios significativos en toda la cadena de valor. La relevancia de la productividad tiene relación con el crecimiento de una organización. Al lograr mejorar la eficiencia en los procesos productivos, las empresas tienen un amplio margen para generar acciones y estrategias que le permitan obtener mayor rentabilidad, como, precios más bajos de los productos o servicios, poder cumplir con grandes volúmenes de pedidos. (Anaya, 2007), logrando así competitividad.

Al comprender que es productividad y su importancia, las empresas pueden lograr mayores ganancias al atraer nuevos clientes, invirtiendo en proyectos de innovación y con planes de mejora continua. (Anaya, 2007)

La productividad se encuentra directamente relacionado a la mano de obra, y debemos tener precaución con las enfermedades ocupacionales cuando no se mantiene un equilibrio entre el objetivo y el recurso humano. En los centros de distribución se debe tener una métrica para la productividad, si la productividad es muy alta existe la probabilidad de enfermedades ocupacionales, lo cual debe implementar un plan de seguimiento para la salud.

Según OMS, la enfermedad ocupacional es una actividad multidisciplinaria dirigida a promover y proteger la salud de los trabajadores, mediante la prevención, el control de las enfermedades y accidentes de trabajo, eliminando los factores y condiciones que ponen en peligro la salud y la seguridad en el trabajo. (Carrillo, s.f.)

Las enfermedades músculo – esqueléticas son las más comunes en el proceso de despachos de los centros de distribución cuando se desbalancea la productividad con el recurso humano, entre la más usual se

encuentra el lumbago o dolor de rabadilla. (López, Macorra, & Alcántara, 2019).

En el centro de distribución la productividad de despachos va relacionada entre las toneladas distribuidas con el número de horas trabajadas por todo el personal dedicado a esa área.

1.1. Descripción del problema

En el centro de distribución de productos terminados, durante el proceso de despacho, los colaboradores de cargo auxiliar, montacarguista y auxiliar de bodega se exceden en las horas de trabajo de los turnos definidos, adicional, son convocados para apertura de turnos extraordinarios durante los fines de semana.

Los cargos de los colaboradores son de plaza fija y eventual. Para la selección del personal el área médica realiza diferentes procedimientos de selección y a nivel de salario la plaza eventual es mayor a la fija.

Para el cumplimiento de todo el proceso de selección en ocasiones el personal eventual es contratado en meses donde la demanda disminuye ocasionando incremento en el gasto de mano de obra y disminuyendo la productividad del centro, en meses donde la demanda es alta y temporal se realizan contrataciones de personal con cargo fijo ocasionando tiempo después reducción de mano de obra, incurriendo así en liquidaciones de personal y por ende incremento en gastos por despidos.

En los últimos tres años se ha incrementado el número de órdenes de ventas y ordenes de transferencias, más, el incremento en el número de líneas por cada una de las transacciones ha afectado de forma directa al objetivo de la productividad.

La compañía cuenta con un pronóstico de la demanda a doce meses, el área de operaciones lidera la planificación de ventas y operaciones (S&OP) con un horizonte trimestral en conjunto con todas las áreas

involucradas y logística realiza el plan maestro de producción (MPS) con un alcance mensual y semanal.

En función de la productividad general, la definición de los cargos fijos o eventual, liquidaciones de mano de obra, falta de exactitud en la contratación, el tiempo del proceso de selección está ocasionando incremento en los costos de mano de obra, incrementando la participación de esta y una productividad que no se encuentra acorde al proceso de despachos.

1.2. Objetivos

El objetivo general es determinar la mano de obra operativa adecuada, a partir de los diversos escenarios que se generen en el modelo de simulación, en función de la demanda y productividad, reduciendo los costos de mano de obra y dar cumplimiento a la normativa legal.

Los objetivos específicos que se sustentarán en el proyecto planteado son:

- I. Establecer el indicador de productividad, mismo que está basado en las toneladas totales despachadas divididas para el tiempo total de cada colaborador durante el proceso de carga.
- II. Categorizar la mano de obra entre colabores fijos o eventuales satisfaciendo la demanda de los clientes que son atendidos desde el centro de distribución.
- III. Generar diversos escenarios a partir de la demanda de la operación con sus respectivas productividades de los diferentes negocios para obtener alternativas de selección.

1.3. Hipótesis

Cuanto mayor sea la variabilidad de la demanda, en concordancia con el número de líneas en las ordenes de pedido y la capacidad establecida de

los vehículos, la operación dentro del centro de distribución requerirá contratar un mayor número de personal operativo eventual. Por lo que el modelo de simulación determinará la mano de obra operativa fija y eventual.

1.4. Alcance

Esta investigación se realizará en una empresa de fabricación y distribución de alimentos para la nutrición animal, ubicada en la provincia del Guayas, ciudad Durán, con datos obtenidos del año 2021.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Simulación

2.1.1. Definición

La simulación nos permite representar una realidad, procesos o servicios a través de modelos desarrollados con sistemas informáticos cuyo objetivo es generar posibles escenarios, analizar los resultados y así la toma de decisiones. (E., H, & Cárdenas, 2008, pág. 2)

2.1.2. Ventajas y desventajas

- I. La simulación tiene muchos beneficios como el hecho de proporcionar un método más simple de solución cuando se presentan procesos que son complejos, también proporciona un control total sobre el tiempo puesto que podemos acelerar la complejidad que estamos simulando.
- II. Una vez construido el modelo podemos modificar n veces de manera rápida con el fin de poder analizar los diferentes escenarios.
- III. Es más económico realizar una simulación que hacer ensayos en la vida real.
- IV. Como desventajas de la simulación tenemos que la misma puede ser imprecisa y que no podríamos medir su grado de imprecisión.
- V. Realizar modelos de simulación a través de sistemas informáticos podrían ser muy costosos, toma su tiempo el desarrollo y cada modelo de simulación es único.
- VI. Siempre van a existir variables que sean consideradas y que las mismas pueden cambiar los resultados que simulamos de la vida real.

2.1.3. Metodología de la simulación

Las etapas de un proyecto de simulación son:

- I. Formulación del problema, implica tener claros los objetivos del proyecto, y expresarlos formalmente.
- II. Diseño del modelo conceptual, se elabora un diseño conceptual. Se puede utilizar herramientas de modelado como los diagramas de flujo.
- III. Recogida de datos, Se deben verificar la cantidad y calidad de los datos obtenidos.
- IV. Construcción del modelo, se construye el modelo tomando en cuenta que se va a resolver un problema. En esta fase se debe utilizar software especializado como ProModel, Flexsim, etc.
- V. Verificación y validación, la verificación implica asegurarse de que el modelo de simulación sigue las especificaciones del modelo conceptual. La validación requiere comprobar que las hipótesis de trabajo sean correctas, es decir, el modelo debe basarse en el mundo real para que los resultados sean válidos.
- VI. Análisis, consiste en experimentar con el modelo realizado.
- VII. Documentación, todo lo desarrollado para la evolución del proyecto debe archivarse ya que servirá para informar sobre el mismo.
- VIII. Implementación, en función de la simulación se debe tomar decisiones e implementar en la vida real.

2.2. Funciones de distribución discretas y continuas

2.2.1. Variable aleatoria

Una variable aleatoria es una función que asocia un valor con cada elemento del espacio muestral. (WALPOLE, 1999)

Los valores posibles de una variable aleatoria pueden representar los posibles resultados de un experimento aún no realizado. Suelen tomar valores reales, pero se pueden considerar valores aleatorios como valores lógicos, funciones o cualquier tipo de elementos. (WALPOLE, 1999)

2.2.2. Distribución discreta de probabilidad

El conjunto de pares ordenados $(x, f(x))$ es una función de probabilidad de la variable aleatoria discreta X si, para cada resultado x posible se cumple que $f(x)$ sea positivo, como se observa en la ecuación 2.1.

$$f(x) \geq 0 \quad (2.1)$$

Además, se debe cumplir que la suma de dichos valores de $f(x)$ debe dar como resultado uno, como se observa en la ecuación 2.2.

$$\sum_x f(x) = 1 \quad (2.2)$$

Adicional a esto, se menciona que la probabilidad de un valor X , corresponde al valor de la función de $f(x)$, como se observa en la ecuación 2.3.

$$P(X = x) = f(x) \quad (2.3)$$

2.2.3. Distribución de Poisson

Los experimentos que producen valores numéricos de una variable aleatoria X , el número de resultados que ocurren durante un intervalo de tiempo determinado se denomina experimentos de Poisson. (WALPOLE, 1999)

El intervalo de tiempo puede ser de cualquier duración, como un minuto, un día, una semana, un mes o un año.

Propiedades del proceso de Poisson

El número de resultados que ocurren en un intervalo o región específica es independiente del número que ocurre en cualquier otro intervalo de tiempo o región del espacio disjunto. (WALPOLE, 1999)

La probabilidad que ocurra un solo resultado durante un intervalo de tiempo muy corto o en una región pequeña es proporcional a la longitud del intervalo o al tamaño de la región, y no depende del número de resultados que ocurren fuera de este intervalo de tiempo o región.

La probabilidad que ocurra más de un resultado en tal intervalo de tiempo corto o que caiga en tal región pequeña es insignificante.

La distribución de probabilidad de la variable aleatoria de Poisson X , la cual representa el número de resultados que ocurren en un intervalo de tiempo dado o región específicos y se denota con t , como se observa en la ecuación 2.4. (WALPOLE, 1999)

$$p(x; \lambda t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^x}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

Donde λ es el número promedio de resultados por unidad de tiempo, distancia, área o volumen.

2.2.4. Distribución discreta acumulada

La función de distribución acumulada $F(x)$ de una variable aleatoria discreta X con distribución de probabilidad $f(x)$ es: observar la ecuación 2.5. (WALPOLE, 1999)

$$F(x) = P(X \leq x) = \sum_{t < x} f(t), \quad \text{para } -\infty < x < \infty \quad (2.5)$$

2.2.5. Distribución de probabilidad continua

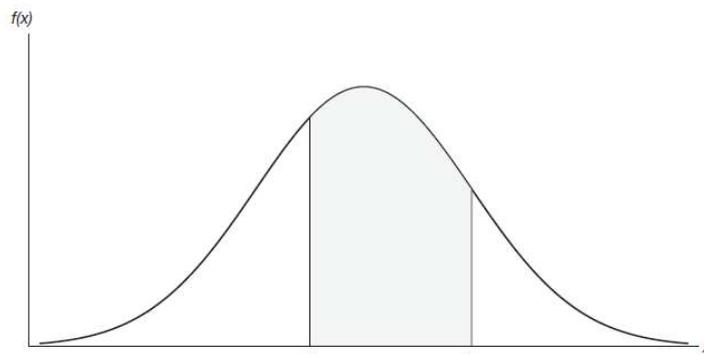
Una función de probabilidad se construye de manera que el área bajo su curva limitada por el eje x sea igual a 1, cuando se calcula en el rango de X para el que se define $f(x)$. Como este rango de X es un intervalo finito, siempre es posible extender el intervalo para que incluya a todo el conjunto

de números reales definiendo $f(x)$ como cero en todos los puntos de las partes extendidas del intervalo. (WALPOLE, 1999)

En la Figura 2.1 la probabilidad de que X tome un valor entre a y b es igual al área sombreada bajo la función de densidad entre las ordenes en $x = a$ y $x = b$, y a partir del cálculo integral, como se observa en la ecuación 2.6, está dada por: (WALPOLE, 1999)

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x)dx \quad (2.6)$$

Figura 2.1. Distribución normal



La función $f(x)$ es una función de densidad de probabilidad para la variable aleatoria continua X , definida en el conjunto de números reales, si y solo si se cumplen las siguientes restricciones, que se observan en la ecuación 2.7, 2.8, y 2.9:

$$f(x) \geq 0, \text{ para toda } x \in R \quad (2.7)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \quad (2.8)$$

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx \quad (2.9)$$

2.2.6. Función de distribución acumulativa

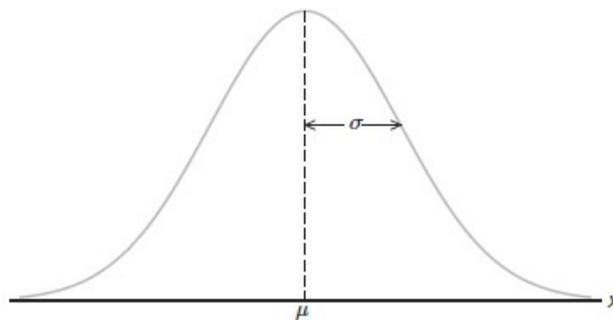
La función de distribución acumulativa $F(x)$, de una variable aleatoria X con función de densidad $f(x)$ es, observar la ecuación 2.10:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt, \quad \text{para } -\infty < x < \infty \quad (2.10)$$

2.2.7. Distribución normal

La distribución normal es la más importante de la distribución de probabilidad continua, su gráfica se puede observar en la Figura 2.2. (WALPOLE, 1999)

Figura 2.2. Curva normal



La ecuación matemática para la distribución de probabilidad de la variable aleatoria normal depende de dos parámetros μ y σ , su media y desviación estándar, respectivamente. Por ello, denotamos los valores de la densidad de X por $n(x; \mu, \sigma)$. (WALPOLE, 1999)

La función de densidad de la variable aleatoria normal X , con media μ y varianza σ^2 , observar la ecuación 2.11:

$$n(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2}, \quad \text{para } -\infty < x < \infty \quad (2.11)$$

2.2.8. Distribución Gamma

La variable aleatoria continua X tiene una función de distribución gamma, con parámetros α y β , si su función de densidad está dada por la ecuación 2.12:

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, & x > 0 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.12)$$

donde $\alpha > 0, \beta > 0$

2.2.9. Distribución de Weibull

La variable aleatoria continua X tiene una función de distribución Weibull, con parámetros α y β , si su función de densidad está dada por la ecuación 2.13:

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha \beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta}, & x > 0 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.13)$$

donde $\alpha > 0, \beta > 0$

Se considera la función Weibull de 3 parámetros, a aquella función con parámetros de forma, escala y umbral. (Minitab, 2021)

El parámetro de forma describe a la distribución a la cual los valores se agrupan, es decir, un valor bajo conlleva hacia una gráfica asimétrica hacia la derecha, así como un valor alto conlleva hacia una gráfica asimétrica hacia la izquierda. (Minitab, 2021)

El parámetro de escala describe la posición de la curva conforme a la probabilidad del 63,2%. Un valor de escala mayor conlleva a un incremento en la amplitud de la gráfica. (Minitab, 2021)

El parámetro de umbral describe el desplazamiento de la gráfica a lo largo del eje de las abscisas. (Minitab, 2021)

2.2.10. Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste nos permiten verificar si los datos observados en una muestra aleatoria se ajustan, con un nivel de significancia, a determinada distribución de probabilidad. (Minitab, 2021)

H_0 : El conjunto de datos X sigue una distribución específica

VS

H_1 : El conjunto de datos X NO sigue una distribución específica

2.2.11. Prueba de bondad de ajuste Ji-cuadrado

La prueba Ji-cuadrado se basa en el estadístico de prueba, observar la ecuación 2.14:

$$X^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(A_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (2.14)$$

El cual tiene distribución Ji-cuadrado con $k-r-1$ grados de libertad. El término A_{ij} hace referencia a la frecuencia real en la i -ésima fila, j -ésima columna. Por otro lado, el término E_{ij} hace referencia a la frecuencia esperada en la i -ésima fila, j -ésima columna. (WALPOLE, 1999)

Si la diferencia entre estos términos ($A_{ij} - E_{ij}$) es pequeñas, el valor del estadístico es pequeño, por el contrario, si esas diferencias son grandes (lo observado no se ajusta a lo propuesto), el valor del estadístico es grande, por lo tanto, la región de rechazo de la hipótesis nula se ubica en la cola superior de la distribución Ji-cuadrada al nivel de significancia. (WALPOLE, 1999)

2.2.12. Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov

La prueba Kolmogorov – Smirnov no necesita que los datos estén agrupados en intervalos y es aplicable cuando la muestra es pequeña. Esta se basa en una comparación entre las funciones de distribución

acumulativas que se observan en la muestra ordenada y en la a distribución propuesta bajo la hipótesis nula. (WALPOLE, 1999)

$$D = \sup_{1 \leq i \leq n} |\hat{F}_n(x_i) - F_0(x_i)| \quad (2.15)$$

Donde:

- I. x_i es el i-ésimo valor observado en la muestra (cuyos valores se han ordenado previamente de menor a mayor).
- II. $\hat{F}_n(x_i)$ es un estimador de la probabilidad de observar los valores menores o iguales a x_i .
- III. $F_0(x_i)$ es la probabilidad de observar valores menores o iguales a x_i cuando H_0 es cierta.

D es la mayor diferencia absoluta observada entre la frecuencia acumulada observada $\hat{F}_n(x)$ y la frecuencia acumulada teórica $F_0(x)$, obtenida a partir de la distribución de probabilidad que se especifica como hipótesis nula. (WALPOLE, 1999)

Si los valores observados $\hat{F}_n(x)$ son similares a los esperados $F_0(x)$, el valor D será pequeño. Cuanto mayor sea la discrepancia entre la distribución empírica $\hat{F}_n(x)$ y la distribución teórica, mayor será el valor D. (WALPOLE, 1999)

Si $D \leq D_\alpha$ aceptamos H_0

Si $D < D_\alpha$ tenemos evidencia estadística para rechazar H_0

2.3. Software de simulación

En la actualidad existen una gran cantidad de software especializado para las simulaciones matemáticas, ProModel, GASP IV, SIMSCRIPT II.5, CONTROLP, SIMUL8, etc., uno de los softwares más usados es el ProModel mismo que podemos integrar con el software de Microsoft llamado Visio ya

que este nos permite dibujar una variedad de diagramas sean estos de flujo, planos de construcción. (E., H, & Cárdenas, 2008)

Según la guía básica del software de simulación ProModel, todo se ajusta al paradigma de locaciones, entidades, procesamiento y llegadas. Cualquier sistema de manufactura, logística y servicio puede ser modelado utilizando este paradigma. (J & G, 2007)

- I. **Locaciones:** representan lugares fijos en el sistema. Las entidades son ruteadas a estas locaciones para procesamiento, almacenamiento, cualquier actividad o toma de decisiones.
- II. **Entidades:** Es cualquier ítem que el modelo procesa, mismo que se refiere al input del proceso.
- III. **Procesamiento:** Describen las operaciones que toman lugar en una locación, como la cantidad de tiempo que una entidad gasta en un lugar, los recursos que necesitan para realizar el proceso, y cualquier otra cosa que ocurra o suceda en la locación, incluyendo la elección de siguiente destino de la entidad.
- IV. **Llegadas:** Cada vez que una nueva entidad es introducida en el sistema.

2.4. Centro de distribución

Se denomina centro de distribución al espacio físico, edificio o construcción que tiene como función principal el recibir, almacenar y despachar mercaderías. (Anaya, 2007)

Los centros de distribución son creados para agilizar y minimizar los procesos para la distribución, la mercadería debe estar el menor tiempo posible; es decir, la rotación del inventario debe ser alta.

La ubicación del CD por lo general se da cerca de una fábrica o en zonas consideradas industriales, en parques logísticos o alrededor de las ciudades.

2.4.1. Recepción de mercadería

Este es el proceso en el cual se recibe la mercadería misma que pueden ser materias primas o productos terminados para posterior ser almacenada. Esta mercadería puede venir directamente desde las fábricas, desde proveedores o desde otros centros de distribución. (Guasch, Piera, Casanova, & Pireiras, 2002)

Para realizar el proceso de recepción se utiliza por lo general equipos de montacargas, bandas retráctil o mano de obra para el proceso de estiba. (Guasch, Piera, Casanova, & Pireiras, 2002)

2.4.2. Almacenamiento de mercadería

Una vez termina el proceso de recepción, ingresa al proceso de almacenamiento, proceso que consta de colocar la mercadería al interior de la instalación física y éstas son ubicadas en estanterías, o al piso como se observa en la Figura 2.3. Para el almacenamiento se utiliza maquinaria como montacargas, transpaletas. (Guasch, Piera, Casanova, & Pireiras, 2002)

El tiempo que debe estar almacenado el producto debe ser mínimo y para el control del inventario por lo general se utilizan sistemas especializados como WMS.

Figura 2.3 Almacenamiento de mercadería



Nota: Elaboración propia, información de compañía

2.4.3. Preparación de pedidos y despachos

El proceso de preparación de pedidos trata de la recolección de la mercadería al interior del centro de distribución, esta preparación se realiza en función de una orden de pedido específico, solicitado por clientes externos o internos mediante el uso de un montacargas tal como se ve en la Figura 2.4.

Esta recolección de la mercadería se la realiza de forma manual en donde se involucran operarios o a través de equipos automatizados, y varía de acuerdo con el embalaje.

Una vez la mercadería está recolectada y agrupada, estas son trasladadas al muelle de carga y se procede con la carga del transporte.

Figura 2.4 Montacarga eléctrico

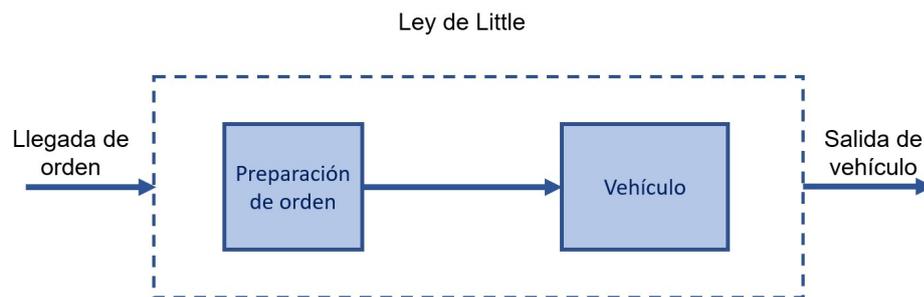


Nota: Elaboración propia, información de compañía

2.5. Ley de Little

La ley de Little nace del análisis de teoría de colas. Esta ley establece, como se observa en la Figura 2.5, que el número de entidades dentro del sistema es igual al producto entre el tiempo de ciclo multiplicado por la tasa a la cual dichas entidades entran al sistema. (Hopp & Spearman, 1996)

Figura 2.5 Sistema de colas Little Law



Nota: Elaboración propia

2.5.1. WIP (Work in Process)

El término WIP hace referencia al número de entidades que se encuentran dentro del proceso. Dentro de la simulación, corresponde a la orden de venta o RPL que actualmente está siendo despachada sin considerar aquellas órdenes que ya han sido cargadas al vehículo previamente. (Hopp & Spearman, 1996)

2.5.2. CT (Cycle Time)

El término CT hace referencia al tiempo total que tarda una orden de venta o RPL en ser cargada dentro del vehículo. Este tiempo de ciclo dentro de la simulación, está modelado bajo el parámetro de las funciones de distribución previamente descritas. (Hopp & Spearman, 1996)

2.5.3. TH (Throughput)

El término TH hace referencia a la tasa de ingreso de entidades al sistema. En el caso de la simulación, el TH se refiere a la tasa de arribo de órdenes de venta o RPLs de cada configuración. (Hopp & Spearman, 1996)

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1. Base de datos

La base de datos con la cual se realizará la investigación se obtiene desde el sistema ERP de la compañía ligado a un sistema de control de pesos y registros de proceso de recepción y despachos del centro de distribución.

En el centro de distribución se atienden dos negocios, NEG1 que está dedicado a la nutrición animal y NEG2 que se dedica a cuidado de otras especies, el proceso de preparación de pedidos y despachos se realiza por tipo de negocio o a su vez por mix de carga definiendo a este como NEG3; es decir, de ambos negocios tal como se observa en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Tipo de Negocios

Negocios	Detalle
NEG1	Nutrición otras especies
NEG2	Nutrición animal
NEG3	Mix de negocios

Nota: Elaboración propia, información de compañía

Los negocios tienen agrupados a los clientes por canales mismos que nombraremos Macro1 hasta Macro6, tal como se observa en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Macro canal

Macro canal
Macro1
Macro2
Macro3
Macro4
Macro5
Macro6

Nota: Elaboración propia, información de compañía

Los macro canales son atendidos a través de transportes como se observa en la Tabla 3.3, cuya capacidad de carga son diferentes.

Tabla 3.3 Tipo de transportes y capacidad

N°	Tipo de Vehículo	Variable	Capacidad
1	Camión	VEH1	10
2	Mula	VEH2	16
3	Tráiler	VEH3	30

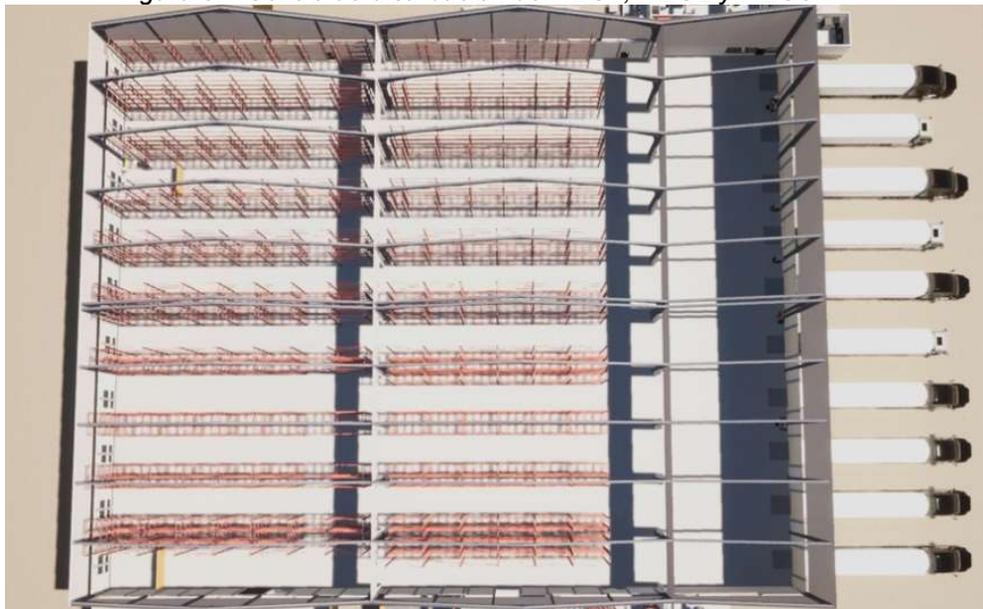
Nota: Elaboración propia, información de compañía

3.2. Centro de distribución de NEG1, NEG2 y NEG3

El centro de distribución tiene una dimensión de cuarenta metros de ancho por cincuenta metros de profundidad, cuenta con diez andenes de los cuales cuatro son para recepcionar producto y seis andenes para despachos de mercadería, tal como se observa en Figura 3.1.

Cuenta con: cuatro mil doscientos treinta posiciones o ubicaciones para pallets plásticos en estanterías selectivas simples, once montacargas eléctricos con soporte de carga hasta dos toneladas, transpaleta eléctrica e hidráulica, diez niveladores de andén, extractores, inyectores.

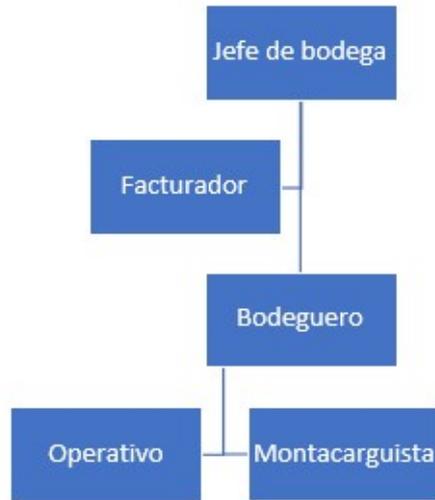
Figura 3.1 Centro de distribución de NEG1, NEG2 y NEG3



Nota: Elaboración propia, información de compañía

En el centro de distribución trabajan un total de treinta y dos colaboradores, con la estructura mostrada en la Figura 3.2:

Figura 3.2 Estructura mano de obra CD



Nota: Elaboración propia, información de compañía

El número de colaboradores fijos y eventuales por cargo se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 número de colaboradores fijos y eventuales por cargo

Cargo	N° colaboradores fijos	N° Colaboradores eventuales
Jefe de Bodega	1	0
Facturador	2	0
Bodeguero	2	0
Montacarguista	7	2
Auxiliar despacho	14	4
Total	26	6

Nota: Elaboración propia, información de compañía

3.3. Costos de mano de obra operativa

La mano de obra del centro de distribución se clasifica en mano de obra administrativa y mano de obra operativa; siendo la última, la de mayor participación en los costos del CD, mismos que se muestran en la Tabla 3.5.

Como objetivo general está el determinar la mano de obra operativa adecuada, en función de las diversas demandas que generará el modelo de simulación. Se considera mano de obra operativa a los cargos de montacarguista y auxiliares de despacho.

Tabla 3.5 Salario por cargo

Cargo	N° Colaboradores fijos	Salario colaborador	Salario Total incluye	N° colaboradores eventuales	Salario por colaborador	Salario Total
Jefe de Bodega	1	\$2.472,0	\$2.472	0	-	-
Facturado	2	\$1.406,4	\$2.812	0	-	-
Bodeguero	2	\$1.424,0	\$2.848	0	-	-
Montacarguista	7	\$896,0	\$6.272	2	\$953	\$1.907
Auxiliar	14	\$704,0	\$9.856	4	\$784	\$3.136
TOTAL	26	\$6.902,4	\$24.260	6	\$1.737	\$5.043

Nota: Elaboración propia, información de compañía

3.4. Demanda Proyectada

En la compañía objeto de la investigación existe el área de Operaciones, mismas que se encarga de los datos proyectados para la distribución por cada una de la regiones y centros de distribución, así también del S&OP, MRP y por parte de área de logística se obtiene el DRP y MPS. Razón por la cual, se tiene información de la demanda con proyección un año, como se presenta en la Tabla 3.6, y esta forma parte de la simulación para verificar si es necesario más recurso humano temporal o fijo.

Tabla 3.6 Demanda Proyectada

Mes	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda Proyectada	11.152	11.024	11.331	10.998	11.088	11.005	11.008	11.022	11.004	11.223	11.035	11.154	11.972	11.755	11.981

Nota: Elaboración propia, información de compañía

En base a la tabla anterior, se construyó una gráfica que modele el comportamiento de la demanda, mismo que se muestra en la Figura 3.3

Figura 3.3 Serie de tiempos de la demanda



Nota: Elaboración propia

3.5. Descripción de las variables aleatorias

Las variables que forman parte del modelo de simulación se proceden con la respectiva descripción. Estas se obtienen de la base de datos detallada.

Con las variables definidas se procede a realizar las pruebas de bondad de ajuste para verificar que tipo de distribución son y estas se

parametrizan en el modelo de simulación y así generar los números aleatorios y obtener los resultados respectivos de los diferentes escenarios.

$$\begin{array}{ll}
 Tc_{ijk} = \text{Negocio } i & \text{donde } i = 1, 2, 3 \\
 \text{macrocanal } j & \text{donde } j = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \\
 \text{tipo de vehículo } k & \text{donde } k = 1, 2, 3
 \end{array}$$

Tc_{111} = Tiempo de carga del negocio Neg1 del macrocanal 1 del tipo de vehículo 1
 Tc_{221} = Tiempo de carga del negocio Neg2 del macrocanal 2 del tipo de vehículo 1
 Tc_{332} = Tiempo de carga del negocio Neg3 del macrocanal 3 del tipo de vehículo 2
 Tc_{113} = Tiempo de carga del negocio Neg1 del macrocanal 1 del tipo de vehículo 3
 Tc_{131} = Tiempo de carga del negocio Neg1 del macrocanal 3 del tipo de vehículo 1
 Tc_{133} = Tiempo de carga del negocio Neg1 del macrocanal 3 del tipo de vehículo 3
 y así sucesivamente ...

Los valores vacíos representados por \emptyset son:

$$Tc_{121}, Tc_{122}, Tc_{123}, Tc_{141}, Tc_{142}, Tc_{143}, Tc_{112}, Tc_{151}, Tc_{152} = \emptyset$$

$$Tc_{211}, Tc_{212}, Tc_{213}, Tc_{261}, Tc_{262}, Tc_{263}, Tc_{233}, Tc_{242} = \emptyset$$

$$Tc_{311}, Tc_{312}, Tc_{313}, Tc_{321}, Tc_{322}, Tc_{323}, Tc_{361}, Tc_{362}, Tc_{363}, Tc_{331}, Tc_{343} = \emptyset$$

Otra variable que se presenta es la demanda proyectada por el departamento de Operaciones de los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2022 y todos los meses del año 2023, y se representa:

$$D_i = \text{Demanda del mes } i \quad \text{donde } i = 1, 2, \dots, 15$$

La tabla con los valores de la demanda se encuentra definida en la Tabla 3.6.

3.6. Definición de locaciones y relación con las variables

Los negocios de nutrición animal, cuidado de otras especies y el mix de ambos negocios tiene sus macro canales que se encargan del envío de los camiones para el retiro o proceso en el centro de distribución de preparación de pedidos y despachos.

Las locaciones que se presentan en el modelo de simulación son los negocios NEG1, NEG2 y NEG3, mediante los cuales se distribuyen las toneladas a las locaciones segmentadas por macro canales, tal como se observa en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Locaciones

Negocios	Macro canales	Tipo Vehículo
NEG1	Macro1	VEH1, VEH3
	Macro3	VEH1, VEH2, VEH3
	Macro5	VEH3
	Macro6	VEH1, VEH2, VEH3
NEG2	Macro2	VEH1, VEH2, VEH3
	Macro3	VEH1, VEH2
	Macro4	VEH1, VEH3
	Macro5	VEH1, VEH2, VEH3
NEG3	Macro3	VEH2, VEH3
	Macro4	VEH1, VEH2
	Macro5	VEH1, VEH2, VEH3

Nota: Elaboración propia, información de compañía

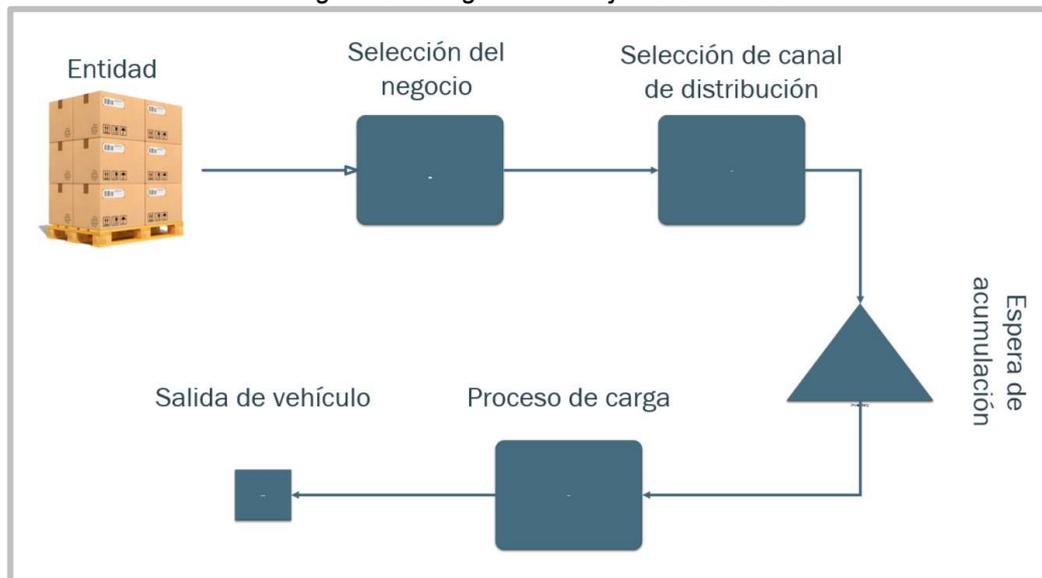
La entidad en este modelo se refiere a las toneladas las cuales serán despachadas a los vehículos de los diferentes macro canales.

El ruteo hace referencia al terminal de arribo y salida de toneladas los cuales son configuradas con la función de distribución determinada en las pruebas de bondad de ajuste ejecutadas en Minitab.

Llegadas, son las toneladas que se encuentran en función de la capacidad de cada vehículo.

3.7. Diagrama de flujo interno de la simulación

Figura 3.4 Diagrama de flujo de simulación



Nota: Elaboración propia, información de compañía

3.7.1. Entidad

La entidad se refiere al producto aquel que se va a mantener en la simulación. Debido a que deseamos conocer el tiempo requerido para liberar una demanda mensualizada, el objeto de estudio son las toneladas.

3.7.2. Selección de negocio

El primer subproceso por el cual pasa la entidad es la selección del negocio. Luego de liberarse la demanda mensual, este proceso divide el número de toneladas totales, para los negocios NEG1, NEG2 y NEG3 en función del porcentaje calculado de despachos del centro de distribución.

3.7.3. Selección de canal de distribución

El segundo subproceso dentro de la simulación se refiere a la selección del canal de distribución. Este subproceso, al igual que el de selección de negocio, divide la demanda por negocio, en una demanda establecida para cada macro canal.

3.7.4. Espera de acumulación

La espera de acumulación se establece como un subproceso por el cual las toneladas que van dirigidas hacia cada vehículo se acumulan hasta un valor máximo designado por la capacidad del vehículo.

3.7.5. Proceso de carga

El proceso de carga se enfoca en el tiempo total que tarde en cargarse una determinada configuración. En la sección 3.10 se analiza más a detalle la estadística con la cual se modeló el tiempo de carga en la simulación del centro de distribución.

3.7.6. Salida de Entidad

La salida de entidad corresponde al subproceso en el cual el vehículo ya ha sido cargado. Este subproceso genera el output total de toneladas despachadas mensualmente y el tiempo que esto conlleva.

3.8. Estadística descriptiva

El total de datos para el negocio NEG1 es de setecientos cuarenta y ocho vehículos cuyo promedio de carga es de 16.9 toneladas de los diferentes macro canales, con una desviación estándar de 8.6 toneladas. El 25% de las toneladas que se despachan es inferior a 9.1 toneladas, el 50% a 13.9 toneladas y el 75% menor a 27.6 toneladas.

El total de datos para el negocio NEG2 es de ochocientos cincuenta y ocho vehículos cuyo promedio de carga es de 13.2 toneladas de los diferentes macro canales, con una desviación estándar de 7.0 toneladas. El 25% de las toneladas que se despachan es inferior a 8.6 toneladas, el 50% a 9.4 toneladas y el 75% menor a 15.1 toneladas.

El total de datos para el negocio NEG3 es de setecientos seiscientos setenta vehículos cuyo promedio de carga es de 13.2 toneladas de los diferentes macro canales, con una desviación estándar de 6.3 toneladas. El

25% de las toneladas que se despachan es inferior a 9.1 toneladas, el 50% a 9.6 toneladas y el 75% menor a 15.2 toneladas. Todos estos valores se detallan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Estadística por Negocios

Variable	Neg final	N	Media	Error estándar	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Ton	NEG1	748	16,99	0,31	8,65	7	9,1	13,9	27,6	31,9
	NEG2	858	13,22	0,24	7,02	7	8,6	9,4	15,1	30,6
	NEG3	670	13,21	0,24	6,38	7,6	9,1	9,6	15,2	29,3
SKU	NEG1	748	16,47	0,22	6,20	1	12	17	21	37
	NEG2	858	14,91	0,18	5,40	2	11	15	19	32
	NEG3	670	17,06	0,24	6,38	1	12	17	21	38
Hh Totales	NEG1	748	10,89	0,13	3,76	3,2	8,1	10,7	13,475	24
	NEG2	858	8,83	0,08	2,55	3,4	7,1	8,3	10,2	22
	NEG3	670	11,20	0,15	3,96	3,3	8,7	10,2	12,8	29,2
RPLs	NEG1	748	2,25	0,06	1,67	1	1	2	3	8
	NEG2	858	2,19	0,06	1,76	1	1	1	3	8
	NEG3	670	2,34	0,07	1,87	1	1	2	3	8

Nota: Elaboración propia, información de compañía

En el negocio NEG1 el promedio de tiempo en horas del proceso de carga es de 10.8 toneladas, con una desviación de 3.7 toneladas, mientras que para el negocio NEG2 el promedio es de 8.8 toneladas con una desviación de 2.5 toneladas y para el negocio NEG3 el promedio es de 11.2 toneladas con una desviación de 3.9 toneladas.

A continuación, en la Tabla 3.9, se presenta la estadística por el tipo de negocio NEG1, en la Tabla 3.10 el análisis por el tipo de negocio NEG2 y en la Tabla 3.11 la estadística por el tipo de negocio NEG3 cada uno de ellos con su análisis por macro canales.

Tabla 3.9 Estadística por el negocio NEG1

Variable	Neg final	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Ton	MACRO1	132	18,10	0,79	9,11	8,5	9,1	17,1	27,1	29,9
	MACRO3	132	19,79	0,78	9,03	8,7	9,5	21,55	28,7	31,1
	MACRO5	88	28,9	0,12	1,16	25,6	28,1	28,85	29,575	31,9
	MACRO6	396	13,05	0,30	6,03	7	8,8	10,95	14,5	31,6
SKU	MACRO1	132	14,93	0,52	6,02	1	10,25	15	19,75	30
	MACRO3	132	19,48	0,47	5,48	6	16	20	23	33
	MACRO5	88	18,20	0,67	6,28	4	13	18,5	23	37
	MACRO6	396	15,60	0,30	6,07	2	10	16	20	33
Hh Totales	MACRO1	132	9,37	0,25	2,88	3,2	7,425	9,15	11,3	17,6
	MACRO5	88	13,50	0,40	3,80	5,2	10,6	13,45	16,6	21,8
	MACRO6	396	10,01	0,17	3,53	3,4	7,5	9,6	12,2	24
	MACRO3	132	13,29	0,28	3,21	5,3	11,2	13,2	15,6	21,7

Nota: Elaboración propia, información de compañía

La Tabla 3.10 muestra la estadística descriptiva del negocio NEG2, considerando las variables: Ton, SKU, y HH Totales. Se consideró la segmentación por MACROCANAL, considerando que existe un determinado número de registros para cada macro, asignada a cada variable.

Tabla 3.10 Estadística por el negocio NEG2

Variable	Neg final	N	Media	Error estándar media	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Ton	MACRO2	374	14,23	0,43	8,35	7,1	8,6	9,2	15,3	30,6
	MACRO3	176	13,48	0,20	2,75	7,5	11,05	14,7	15,4	17,2
	MACRO4	154	11,01	0,56	7,06	7	7,9	8,2	8,6	29
	MACRO5	154	12,67	0,50	6,31	7,9	9,07	9,6	14,9	29,8
SKU	MACRO2	374	14,18	0,27	5,23	2	10	14	18	31
	MACRO3	176	15,55	0,39	5,28	4	11	15	20	28
	MACRO4	154	16,01	0,41	5,15	5	12	16	20	26
	MACRO5	154	14,83	0,48	5,95	4	10	14	19	32

Variable	Neg final	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Hh Totales	MACRO2	374	8,14	0,13	2,52	3,4	6,5	7,5	9	17,6
	MACRO3	176	9,72	0,16	2,22	4	8,3	9,7	11	17,1
	MACRO4	154	9,39	0,15	1,92	4,4	8,1	9,4	10,7	13,9
	MACRO5	154	8,92	0,24	3,03	4,2	7,4	8,1	9,3	22

Nota: Elaboración propia, información de compañía

En la Tabla 3.11 se observa la estadística descriptiva, considerando los MACROCANALES, el número de registros, la media y su error estándar, la desviación estándar, el valor mínimo y máximo, la mediana y los cuartiles uno y tres.

Tabla 3.11 Estadística por el negocio NEG3

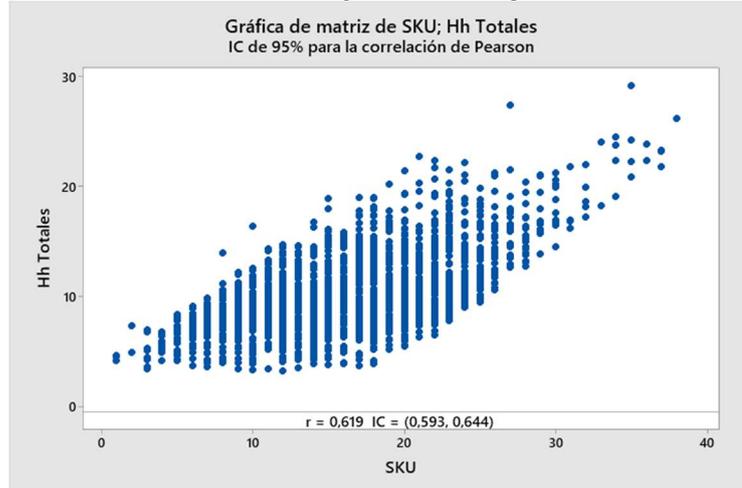
Variable	Neg final	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Ton	MACRO3	110	20,38	0,61	6,41	14,2	15	15,6	28,02	29,2
	MACRO4	362	10,54	0,13	2,62	7,6	8,9	9,3	10,12	16,3
	MACRO5	198	14,12	0,55	7,77	8,2	9,1	9,6	15,5	29,3
SKU	MACRO3	110	16,90	0,49	5,14	5	13	17	21	27
	MACRO4	362	18,50	0,36	6,97	1	13	18	23	38
	MACRO5	198	14,52	0,35	4,92	5	10	15	18	25
Hh Totales	MACRO3	110	11,10	0,26	2,76	6,9	8,9	10,4	13,12	18,2
	MACRO4	362	12,38	0,24	4,71	3,3	9,2	11,45	15,4	29,2
	MACRO5	198	9,09	0,08	1,21	5,4	8,2	9,05	10	12

Nota: Elaboración propia, información de compañía

3.9. Correlación entre variables

Los macro canales realizan las ordenes de pedidos en función de un número de SKU por cada orden, en la Figura 3.5 podemos observar que los SKU a medida que se incrementan en las ordenes de pedidos el tiempo en el proceso de carga se incrementa; es decir, se encuentra correlacionado.

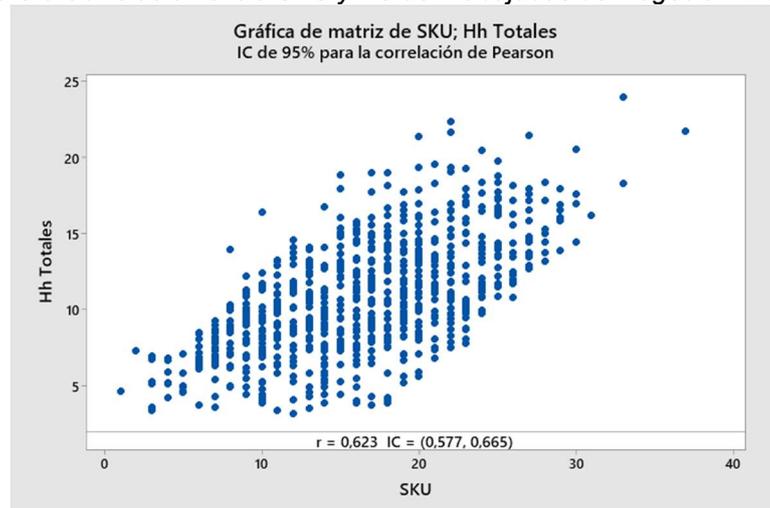
Figura 3.5 Correlación entre SKU y Horas Trabajadas de la base de datos



Fuente propia

Igualmente ocurre cuando analizamos los SKU por el tipo de negocio NEG1 y las respectivas horas de trabajo en el proceso de carga, ambas se encuentran correlacionados directamente como se observa en la Figura 3.6.

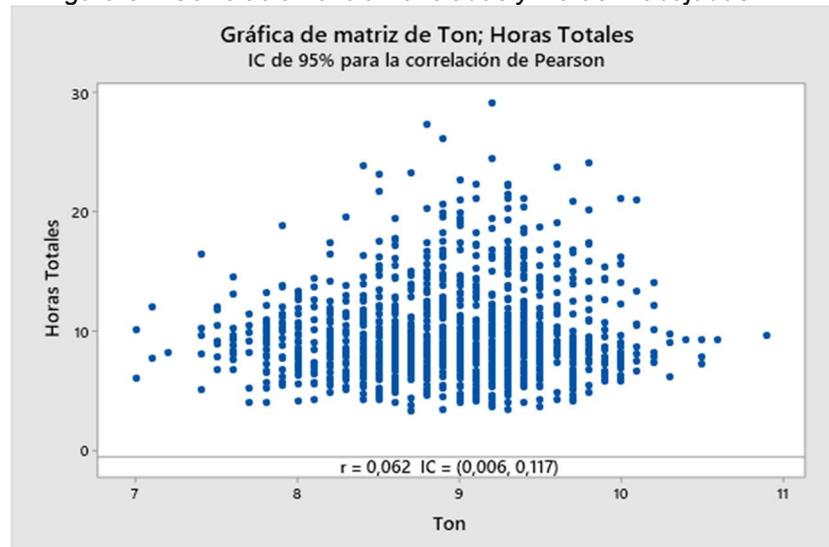
Figura 3.6 Correlación entre SKU y Horas Trabajadas del negocio NEG1



Fuente propia

En la Figura 3.6 podemos observar que no existe correlación entre las toneladas y las horas trabajadas por camión, esto se debe a que la carga del tipo de vehículo es fija y siempre tendrá una capacidad máxima.

Figura 3.7 Correlación entre Toneladas y Horas Trabajadas



Fuente propia

3.10. Función de distribución de la demanda

La demanda en toneladas del periodo que va desde septiembre de 2022 a diciembre de 2023 fue analizada a través de la prueba de bondad de ajuste, misma que analiza dieciséis posibles funciones de distribución.

En la Tabla 3.12 se observa que la función correspondiente a la demanda sigue una distribución Weibull de tres parámetros ya que su valor p es superior a 0.05.

Tabla 3.12 Bondad de ajuste de la demanda

Distribución	AD	P	LRT P
Normal	1,845	<0,005	
Weibull	2,031	<0,010	
Weibull de 3 parámetros	0,384	0,419	0
Gamma	1,88	<0,005	
Gamma de 3 parámetros	0,383	*	0
Log logístico de 3 parámetros	0,348	*	0

Fuente propia

3.10.1. Estadísticas descriptivas

La Tabla 3.13 muestra como la demanda tiene un promedio de 11234 toneladas mensuales, con una desviación estándar de 347,71 toneladas. Se considera una proyección de 15 meses, siendo la demanda mínima en el mes de enero del 2023 con 10.998 toneladas y su máxima demanda proyectada en diciembre del 2023 con 11.981 toneladas.

Tabla 3.13 Estadística descriptiva de la demanda

Variable	Neg final	N	Media	Error estándar	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Demanda	15	0	11.250	91,4	354	109.98	11.008	11.088	11.331	11.981

Fuente propia

3.10.2. Función de distribución de la demanda

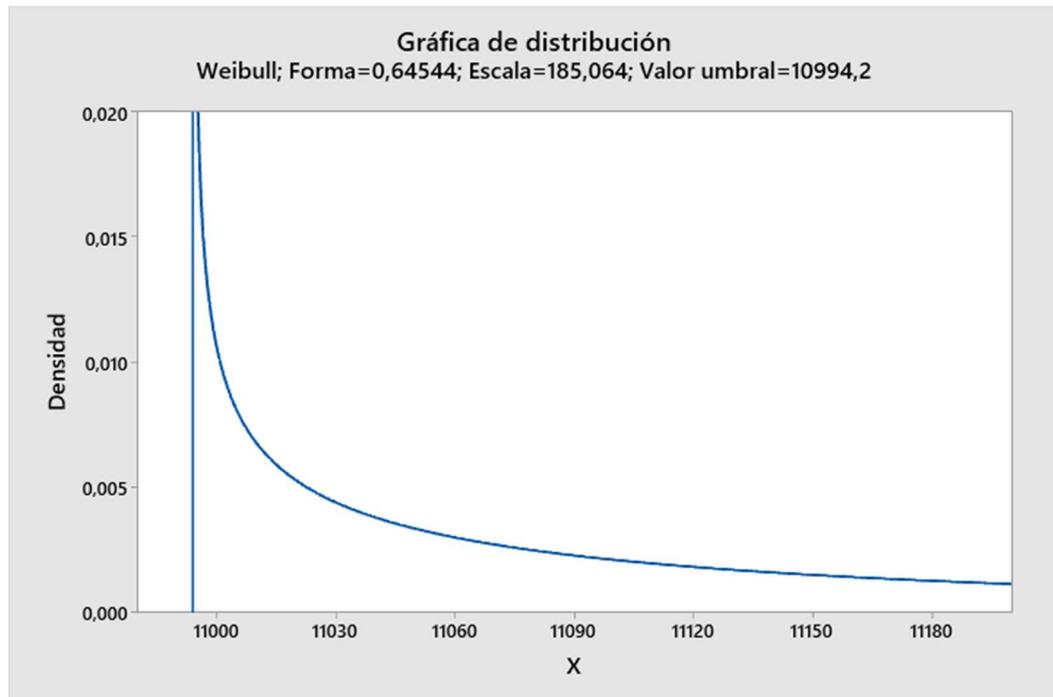
En la Tabla 3.1 se observa como el parámetro de forma es igual a 0.58, el parámetro de escala es igual a 155.00 y el parámetro de umbral es igual a 10995.84.

Tabla 3.14 Parámetros Weibull de la demanda

Distribución	Ubicación	Forma	Escala	Valor umbral
Weibull de 3 parámetros	---	0,64544	185,06	10.994,16

Como se observa en la *Figura 3.8*, Existe una menor concentración de los valores de la demanda en torno a su media, siendo el estadístico inferior a 3, por ende, la gráfica tiende a ser platicúrtica.

Figura 3.8 Función de distribución Demanda



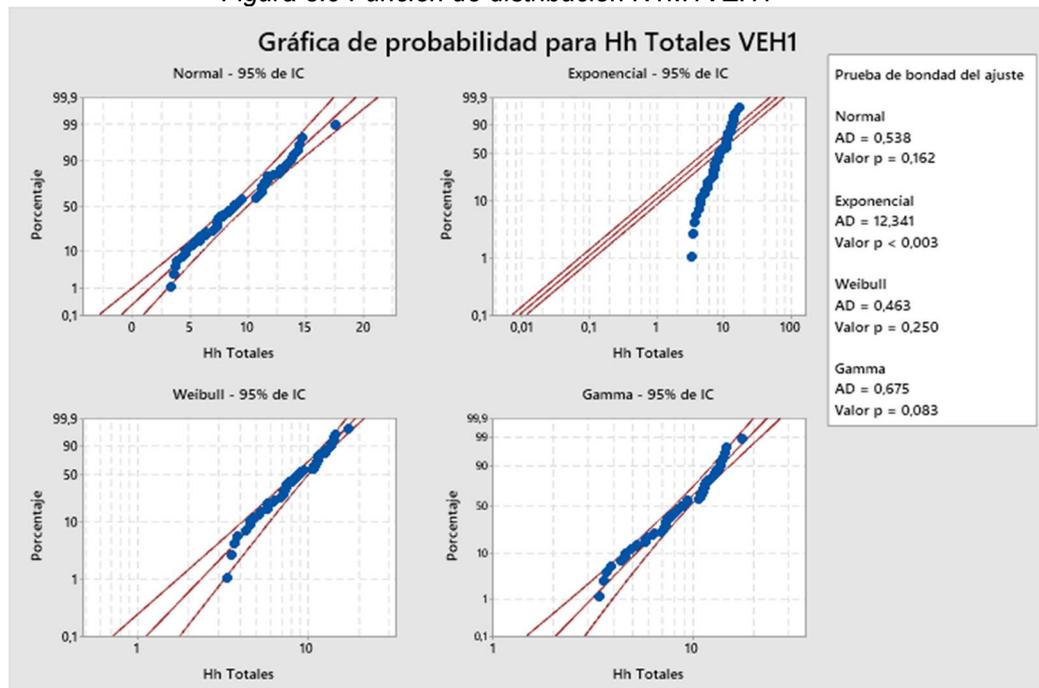
Fuente propia

La demanda tiene una asimetría positiva, lo cual muestra un sesgo hacia la derecha.

3.11. Pruebas de bondad de ajuste de las variables

El tiempo de carga para el negocio NEG1 del macro canal 1 del proceso de carga del transporte 1 se analizó por medio de la prueba de bondad de ajuste, dando como resultado una función Weibull con alfa 9.3 toneladas y beta 3.2 toneladas como se observa en la Figura 3.9.

Figura 3.9 Función de distribución N1M1VEH1



Fuente propia

La estadística descriptiva ejecutada se muestra en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Estadística descriptiva del negocio N1M1VEH1

N	N°	Media	Desv. Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
66	0	9.23	3.29	8.85	3.4	17.6	0.143	-0.683

Fuente propia

Como se observa en la Tabla 3.14, el tamaño de muestra analizado es de sesenta y seis, su media es de 9.23 horas, la desviación estándar es de 3.29 horas.

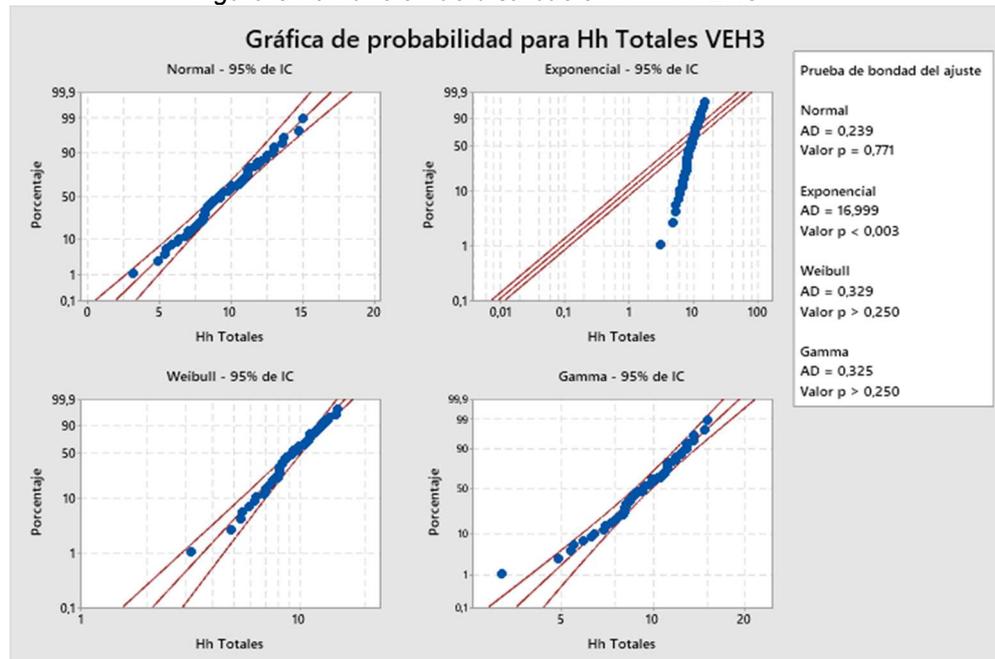
Tabla 3.16 Prueba de bondad de ajuste N1M1VEH1

Distribución	AD	P
Normal	0.538	0.162
Exponencial	12.341	<0.003
Weibull	0.463	<0.250
Gamma	0.675	0.083

Fuente propia

Así mismo para la variable del negocio NEG1 del macro canal 1 del tipo de vehículo 3 tiene una distribución Normal con medio 9 toneladas y desviación estándar de 2.4 toneladas, cuya Figura 3.10.

Figura 3.10 Función de distribución N1M1VEH3



Fuente propia

La estadística descriptiva ejecutada se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.17 Estadística descriptiva del negocio N1M1VEH3

N	N°	Media	Desv. Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
66	0	9.50	2.42	9.3	3.2	15.1	0.039	-0.076

Fuente propia

Tabla 3.18 Prueba de bondad de ajuste N1M1VEH3

Distribución	AD	P
Normal	0.239	0.771
Exponencial	16.999	<0.003
Weibull	0.329	>0.250
Gamma	0.325	>0.250

Fuente propia

En la Tabla 3.19 podemos observar cada variable con su respectiva función de distribución.

Tabla 3.19 Prueba de bondad de ajuste – distribución

VARIABLE	DISTRIBUCION
N1M1VEH1	W(9.3;3.2)
N1M1VEH3	N(9.0;2.4)
N1M3VEH1	N(12.9;2.3)
N1M3VEH2	N(11.5;4.3)
N1M3VEH3	N(14.1;3.06)
N1M5VEH3	N(13.5;3.8)
N1M6VEH1	N(9.4;3.02)
N1M6VEH2	W(10.6;4)
N1M6VEH2	W(10.1;32)
N2M2VEH1	N(7.03;1.3)
N2M2VEH2	G(7.14;0.6)
N2M2VEH3	N(11.6;2.4)
N2M3VEH1	N(8.06;1.5)
N2M3VEH2	G(10.2;2.1)
N2M4VEH1	N(9.4;2.04)
N2M4VEH3	N(8.8;0.69)
N2M5VEH1	N(8.03;1.3)
N2M5VEH2	N(7.5;12)
N2M5VEH3	N(14.7;3.7)
N3M3VEH2	N(9.2;1.1)
N3M3VEH3	N(13.9;1.9)
N3M4VEH1	N(13.1;5.1)
N2M4VEH2	N(026;1.2)
N2M5VEH1	N(8.7;1.1)
N2M5VEH2	N(10.5;0.7)
N2M5VEH3	N(9.3;1.07)

Fuente propia

3.12. Análisis por andenes disponibles en el centro de distribución

El centro de distribución cuenta con un número definido de andenes. Sin embargo, como objeto de estudio se analiza el efecto que ocasionaría contar con una cantidad diferente de estos.

Tabla 3.20 Escenarios por andenes del centro de distribución

Negocio	Andenes disponibles	Escenarios (Andenes adicionales)	
NEG1	3	+1	-1
NEG2	3	+1	-1
NEG3	3	+1	-1

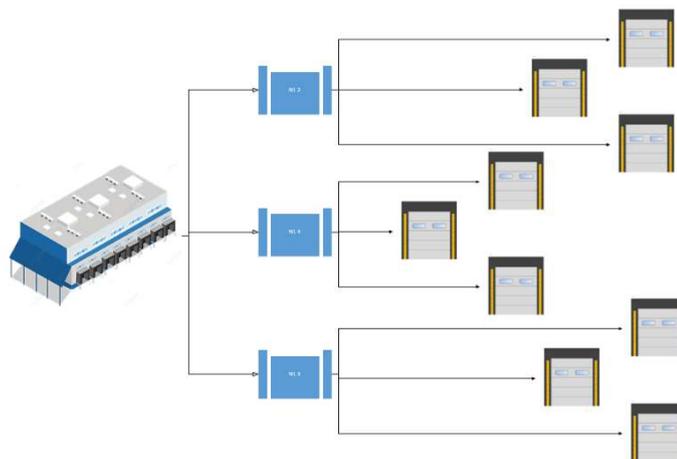
Fuente propia

El primer escenario corresponde al aumento de un andén para el negocio NEG1, esto se relaciona con el aumento de un equipo adicional encargado de la carga únicamente para NEG1. El segundo escenario, corresponde a la sustracción de un andén para este negocio. Lo que se prevé analizar, como se observa en la Tabla 3., es el aumento o disminución en tiempos de carga por cada grupo de trabajo.

El tercer y cuarto escenario se enfoca en el negocio NEG2. Así mismo, este negocio actualmente cuenta con 3 andenes habilitados para su carga. El análisis al cual se quiere llegar es similar al anterior; el grado de afectación por eliminación o adherencia de un andén.

El quinto y sexto escenario se dirige hacia el negocio 3. Basado en que los tiempos de carga difieren entre negocios, se establece la suma y resta de un andén de despacho, ver Figura 3.11.

Figura 3.11 Análisis por andenes disponibles



Fuente propia

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

La simulación plantea los escenarios de la demanda mensualizada en conjunto con una variación en el número de andenes disponibles dentro del centro de distribución. Esto quiere decir, que cada escenario corresponde a un valor esperado de la demanda, anexada a una cantidad específica de andenes (operadores).

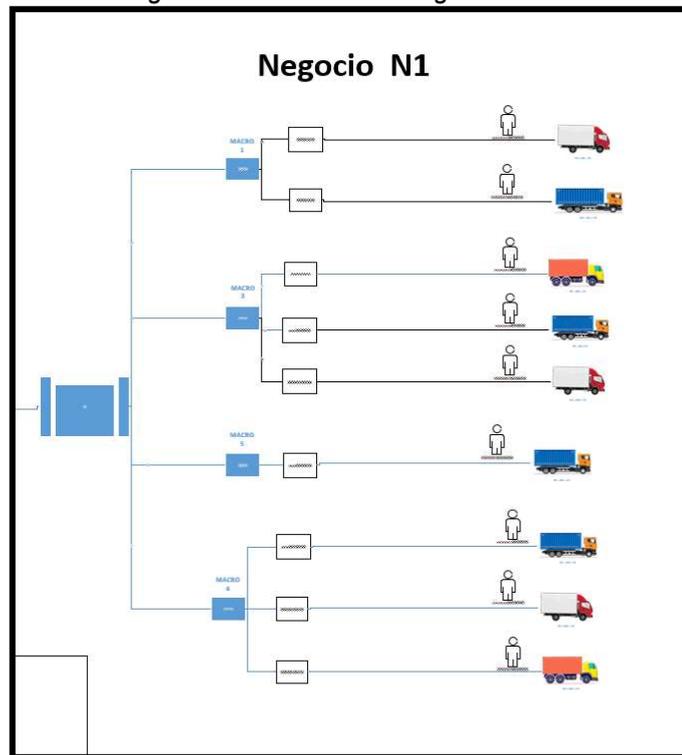
Se realizó para cada mes (escenario), 4 corridas del modelo en donde cada una hace referencia a un número específico de andenes. Cabe mencionar que la demanda sigue una función de distribución Weibull de tres parámetros mencionada en el capítulo anterior misma que es la base de la variación de los escenarios a estudiar.

En este capítulo se muestra el modelo de simulación del centro de distribución, con su respectiva segmentación de negocios: NEG1, NEG2, NEG3. Se hace énfasis en la definición del capítulo anterior mencionando los macro canales y por tipo de vehículos.

En el primer segmento mostrado en la Figura 4.1 se detalla el diagrama de modelo generado en Visio. El gráfico izquierdo de estantería hace referencia al búfer que procesa el número de ordenes por despachar. Estas órdenes continúan hacia la segmentación por macro canal en el cual NEG1 se tiene a: Macro1, Macro3, Macro5 y Macro 6.

Dentro de la parametrización de Visio, con soporte en Process Simulator, se configuró el tiempo de carga de cada vehículo en base a la función de distribución previamente hallada usando la herramienta estadística de bondad de ajuste descrita en el capítulo anterior. Para describir el tiempo de carga de los vehículos de NEG1 se usó una función de distribución Weibull en la configuración Macro 6 – VEH 2, y seis funciones de distribución Normal, con media y desviación estándar asignada a cada tipo de vehículo.

Figura 4.1 Modelo del Negocio NEG1



Fuente propia

El modelo de la simulación presenta además un set up en cuanto a la capacidad de cada vehículo. La capacidad fue descrita en el capítulo anterior. Además, el modelo responde a la asignación del recurso “Operador”.

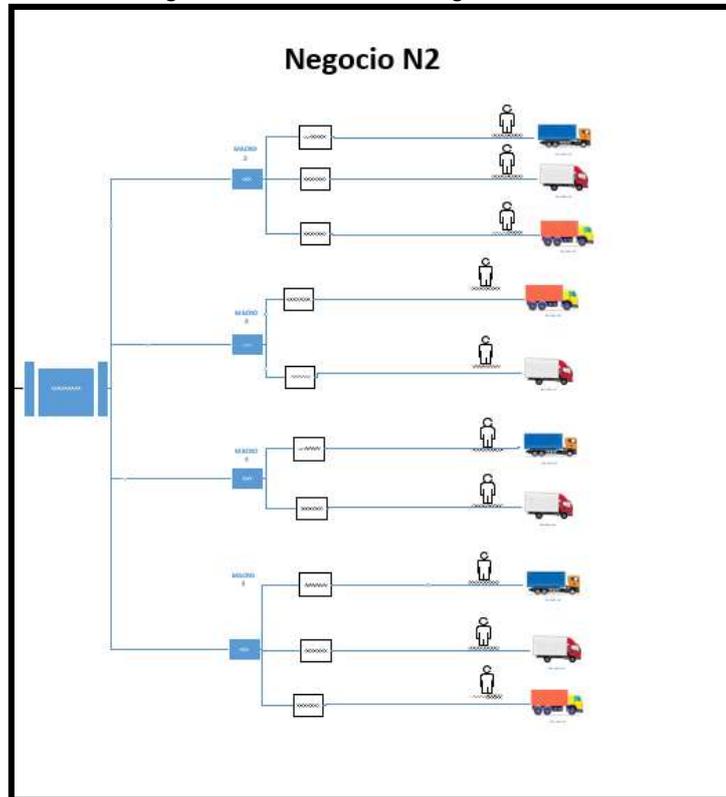
En el segundo segmento mostrado en la Figura 4.2 se detalla el modelo referente al NEG2. Nuevamente el modelo en Visio muestra una ramificación que parte de la variable Macro: Macro2, Macro3, Macro4 y Macro5; al igual que la variable Vehículo: VEH1, VEH2 y VEH3.

Cabe mencionar que el búfer asignado a cada vehículo contiene una capacidad limitada por el tipo de vehículo. Esto quiere decir que para VEH1 se definió una capacidad de 10 toneladas, VEH2 se definió una capacidad de 16 toneladas y para VEH3 se definió una capacidad de 30 toneladas.

Los búferes asignados contienen la restricción de acumulación. Esto permite al modelo que un vehículo sea cargado a la vez y no se genere un exceso de

toneladas cargadas, al igual que permite contabilizar de manera adecuada el número de vehículos cargados por cada recurso.

Figura 4.2 Modelo del Negocio NEG2



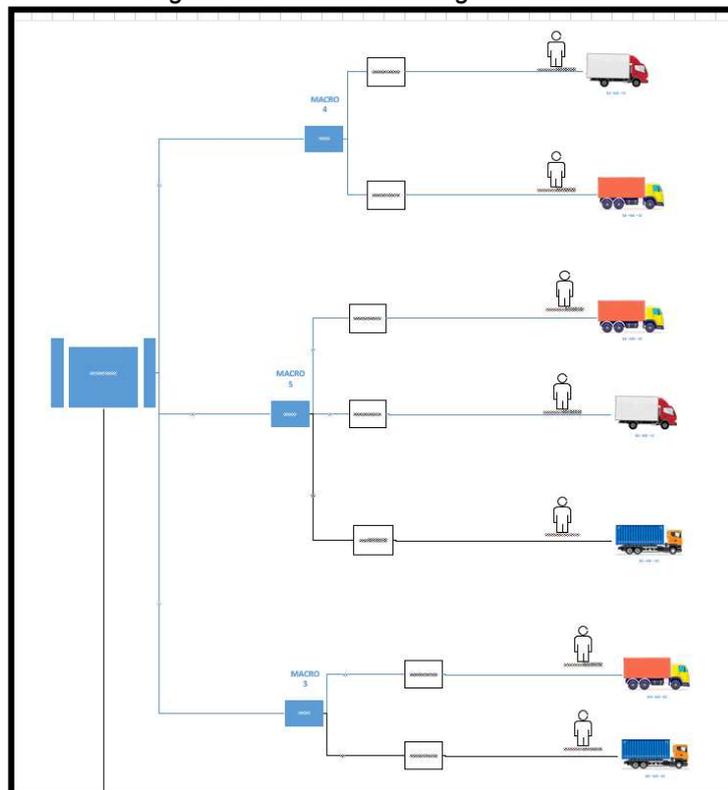
Fuente propia

Dentro del mismo contexto, el NEG3 mostrado en la Otro parámetro adicional que mencionar dentro del modelo de simulación es que el tiempo de arribo entre Negocio y Macro canales se definió como 0 segundos tal como se observa en la Figura 4.4. Esto permite que solo el tiempo de carga de vehículos sea registrado en la sección de resultados de la simulación.

Figura 4.3. fue descrito con la misma estructura partiendo desde Macros hasta tipo de vehículos. Para este negocio se usó siete funciones de distribución normal con media y desviación estándar asignada en función del tiempo de carga total de cada vehículo.

Otro parámetro adicional que mencionar dentro del modelo de simulación es que el tiempo de arribo entre Negocio y Macro canales se definió como 0 segundos tal como se observa en la Figura 4.4. Esto permite que solo el tiempo de carga de vehículos sea registrado en la sección de resultados de la simulación.

Figura 4.3 Modelo del Negocio NEG3



Fuente propia

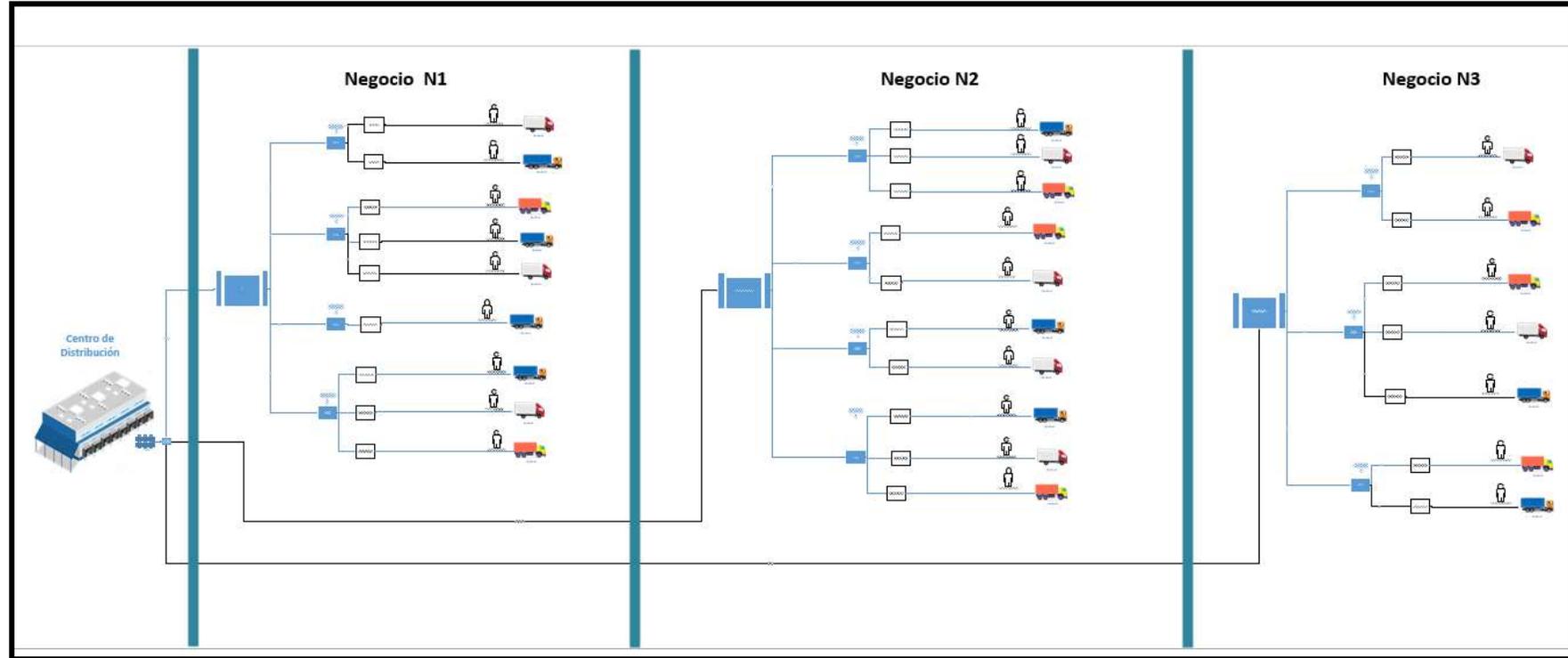
Figura 4.4 Propiedades del Búfer de Macro canales

The image shows a software interface for configuring a macro. On the left, a diagram illustrates a central macro node labeled 'MACRO 5' with five ports. Three lines connect these ports to three separate macro nodes on the right, labeled 'MACRO 51-53-55'. A refresh icon is located below the central macro node. On the right side, a 'Propiedades' (Properties) window is open, displaying the following configuration:

- Nombre:** MACRO_ (with a lock icon)
- Capacidad:** Infinito
- Regla de Salida:** Ninguno
- Creación de Lotes:**
 - Tipo:** Ninguno
- Notas:** (Empty text area)

Fuente propia

Figura 4.5 Layout del modelo de simulación



Fuente propia

4.1. Resultados del modelo de simulación

El modelo de simulación arroja dentro de sus resultados, el tiempo de carga (Cycle Time) total segmentado por cada recurso, mencionando que solo un único recurso ha sido asignado a solo un tipo de vehículo de la ramificación final del diagrama.

En base al parámetro de la utilización, se puede conocer cuál ramificación final (Negocio-Macro-Vehículo) ocupa la mayor utilización en cuanto a despacho de toneladas dentro del centro de distribución.

Además, mediante un diagrama de barras, la simulación permite conocer la fluctuación de la demanda diaria total a lo largo del mes simulado en el centro de distribución. Esto permite contrastar las toneladas finales despachadas en conjunto con el tiempo de carga empleado para despachar dicha carga.

Process Simulator permite conocer mediante diagramas, los siguientes resultados:

Resumen del recurso

Menciona las horas activas de cada recurso. Esto muestra el Cycle Time, a lo largo de un mes en el cual los operadores del centro de distribución se han encontrado en fase de carga o despacho de producto.

Estado de la Entidad

Este diagrama muestra el throughput diario. Permite analizar la variación de salidas o despachos del centro de distribución, considerando que los vehículos cuentan con un modelado de tiempo de carga en base a una función de distribución.

Total de salidas del sistema

Este resumen muestra el throughput en un mes. Permite el cálculo de la productividad del centro de distribución, y obtener el indicador de la utilización

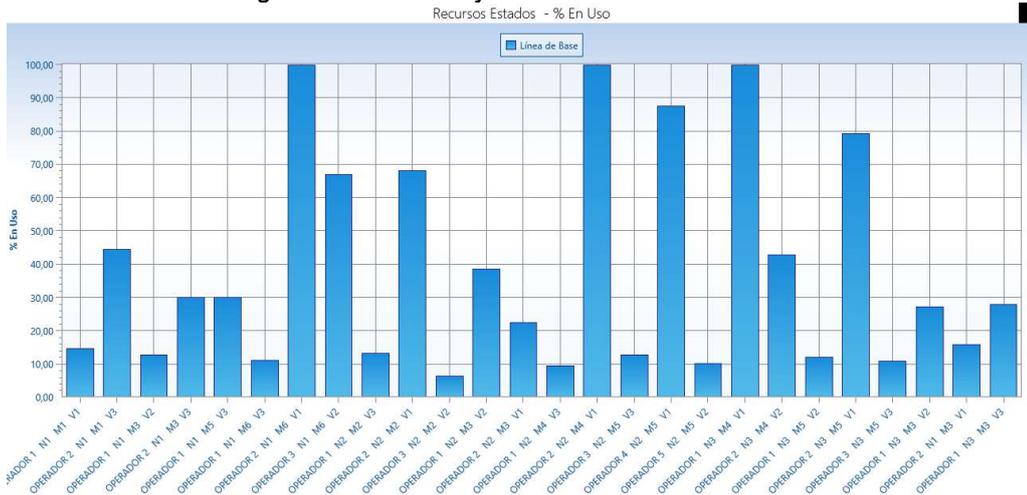
de los operadores. El throughput final considera la sumatoria de los tres tipos de vehículos: Camión, mula y tráiler.

4.1.1. Primer Experimento (Demanda referencial al mes de enero 2023)

El diagrama a continuación muestra el porcentaje de uso de cada uno de los operadores dentro del centro de distribución, modelado en función de la demanda del mes de enero.

Como se puede observar en la Figura 4.6, los operadores N1-M6-V1, N2-M4-V1 y N3-M4-V1 contienen el mayor porcentaje de utilización. Esto quiere decir, que este tipo de configuración de vehículo en un 100% del tiempo se encuentra siendo despachado.

Figura 4.6 Porcentaje de utilización enero 2023



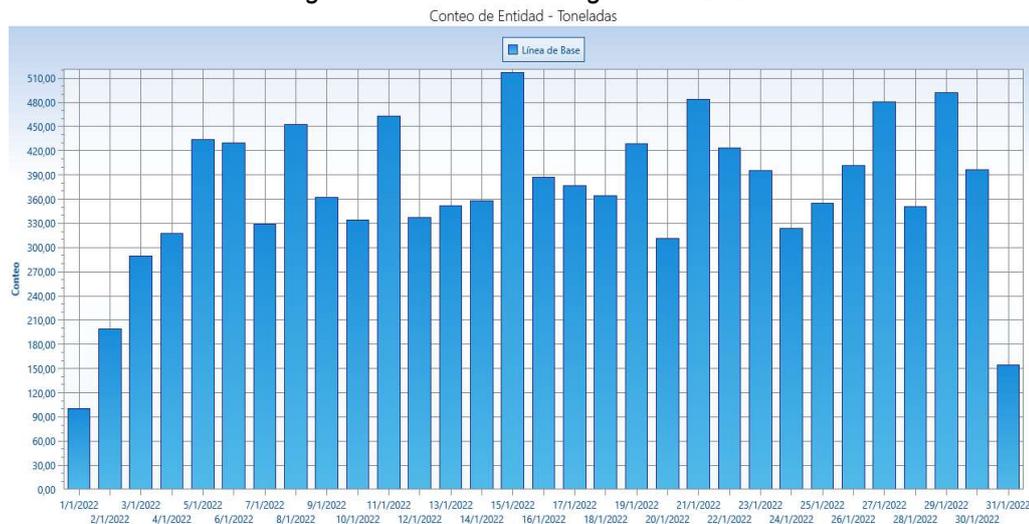
Fuente propia

Así mismo, los operadores con un porcentaje de utilización inferior corresponden a la configuración N2-M2-V2, N1-M3-V2, N2-M4-V3, N2-M5-V2, N3-M5-V2 y N3-M3-V1. Estas configuraciones cuentan con un porcentaje de utilización inferior al 20%. Esto quiere decir que únicamente una quinta parte del tiempo, este tipo de configuración estuvo siendo cargada en los andenes de despacho del centro de distribución.

En base a este análisis, la utilización promedio ponderada a tiempo de uso real fue del 85,9%, de las cuales solo tres de las veintiséis corresponden a más del 60% de ocupación de despacho.

El siguiente diagrama mostrado en la Figura 4.7, se muestra el comportamiento del output del modelo de la simulación. En el eje Y se muestra el conteo de toneladas, y en el eje X se presenta los días del mes a analizar.

Figura 4.7 *Conteo de carga enero 2023*



Fuente propia

Como se observa en la gráfica, el eje X detalla a diario cómo ha fluctuado la salida de toneladas del sistema. En promedio se observa alrededor de 390 toneladas despachadas al día dentro del centro de distribución. En la misma gráfica se observa, además, como los extremos del mes son aquellos días cuya demanda decrece a tal punto de pasar a 105 y 155 toneladas respectivamente.

En la Tabla 4.1, se obtiene la data específica por operador detallando las siguientes variables:

- **Tiempo de trabajo**

Muestra el número en horas en las cuales el operador estuvo en uso a lo largo del mes.

- **Número de veces utilizado**

Muestra el número de veces que el operador despachó un vehículo específico.

- **Tiempo por uso promedio**

Muestra el tiempo promedio de carga de vehículo.

- **% Utilización**

Porcentaje de tiempo de uso de cada equipo de operadores dentro de la operación.

Tabla 4.1 Tabla de resultados mes enero 2023

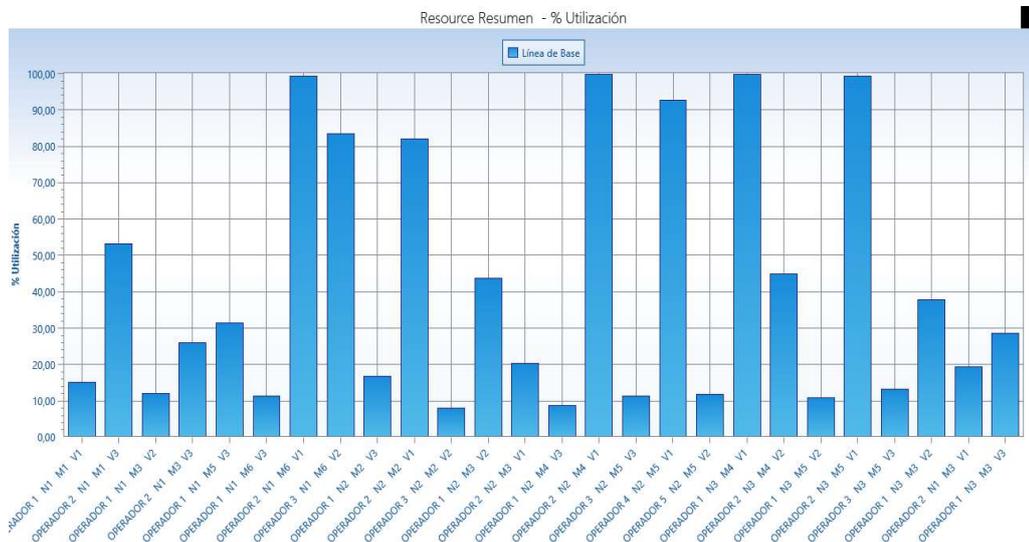
Nombre	Tiempo de Trabajo (Hr)	N° de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Prom. (Hr)	% Utilización	Neg.	Demand a
OPERADOR 1 N1M1V1	105,1	12,0	8,8	14,4	N1	120
OPERADOR 2 N1M1V3	330,2	38,0	8,7	45,3	N1	1140
OPERADOR 1 N1M3V2	95,7	8,0	12,0	13,1	N1	128
OPERADOR 2 N1M3V3	219,3	15,0	14,6	30,1	N1	450
OPERADOR 1 N1M5V3	206,9	16,0	12,9	28,4	N1	480
OPERADOR 1 N1M6V3	56,0	7,0	8,0	7,7	N1	210
OPERADOR 2 N1M6V1	716,1	145,0	4,9	98,2	N1	1450
OPERADOR 3 N1M6V2	471,9	99,0	4,8	64,7	N1	1584
OPERADOR 1 N2M2V3	94,6	9,0	10,5	13,0	N2	270
OPERADOR 2 N2M2V1	556,5	80,0	7,0	76,3	N2	800
OPERADOR 3 N2M2V2	54,4	8,0	6,8	7,5	N2	128
OPERADOR 1 N2M3V2	297,0	30,0	9,9	40,7	N2	480
OPERADOR 2 N2M3V1	131,3	16,0	8,2	18,0	N2	160
OPERADOR 1 N2M4V3	72,5	8,0	9,1	9,9	N2	240
OPERADOR 2 N2M4V1	713,5	80,0	8,9	97,9	N2	800
OPERADOR 3 N2M5V3	51,6	9,0	5,7	7,1	N2	270
OPERADOR 4 N2M5V1	645,1	159,0	4,1	88,5	N2	1590
OPERADOR 5 N2M5V2	69,9	20,0	3,5	9,6	N2	320
OPERADOR 1 N3M4V1	729,0	56,0	13,0	100,0	N3	560
OPERADOR 2 N3M4V2	306,2	30,0	10,2	42,0	N3	480
OPERADOR 1 N3M5V2	80,7	8,0	10,1	11,1	N3	128
OPERADOR 2 N3M5V1	651,7	76,0	8,6	89,4	N3	760
OPERADOR 3 N3M5V3	71,8	8,0	9,0	9,8	N3	240
OPERADOR 1 N3M3V2	220,3	25,0	8,8	30,2	N3	400
OPERADOR 2 N1M3V1	116,3	9,0	12,9	16,0	N1	90
OPERADOR 1 N3M3V3	194,1	14,0	13,9	26,6	N3	420

Fuente propia

4.1.2. Segundo Experimento (Demanda mes de febrero 2023)

Analizando el segundo experimento referente al mes de febrero, el siguiente diagrama de barras representado en la Figura 4.8 muestra el porcentaje de utilización de carga de cada una de las configuraciones de vehículos. En contraste con el mes de enero, en el mes de febrero se obtuvo cuatro configuraciones con un nivel máximo de utilización: N1-M5-V3, N2-M4-V1, N3-M4-V1 y N3-M5-V1.

Figura 4.8 Porcentaje de utilización febrero 2023

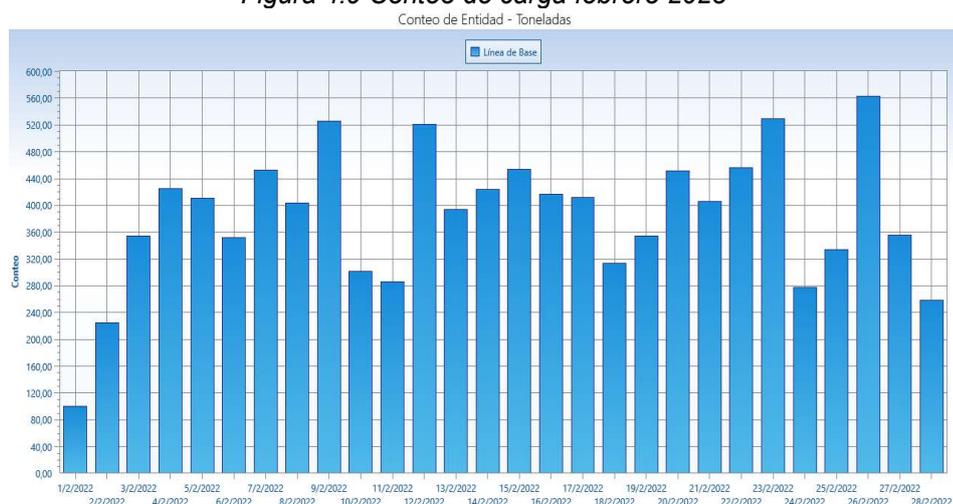


Fuente propia

El diagrama de conteo de unidades, como se observa en la Figura 4.9, muestra similitud al diagrama de conteo del mes anterior, sin embargo, a partir de la segunda semana, su número total de conteos diarios se incrementa.

A su vez, se observa un pico máximo en el día veintiséis del mes de febrero llegando a cargar alrededor de quinientas sesenta toneladas.

Figura 4.9 Conteo de carga febrero 2023



Fuente propia

Tabla 4.2 Tabla de resultados mes febrero 2023

Nombre	Tiempo de Trabajo (Hr)	Número de Vezes Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Hr)	% Utilización	Negocio	Demand a
OPERADOR 1 N1M1V1	114	13	9	17	N1	130
OPERADOR 2 N1M1V3	364	38	10	55	N1	1140
OPERADOR 1 N1M3V2	93	7	13	14	N1	112
OPERADOR 2 N1M3V3	235	17	14	36	N1	510
OPERADOR 1 N1M5V3	217	17	13	33	N1	510
OPERADOR 1 N1M6V3	68	8	8	10	N1	240
OPERADOR 2 N1M6V1	657	137	5	100	N1	1370
OPERADOR 3 N1M6V2	542	105	5	83	N1	1680
OPERADOR 1 N2M2V3	116	10	12	18	N2	300
OPERADOR 2 N2M2V1	571	81	7	87	N2	810
OPERADOR 3 N2M2V2	62	9	7	9	N2	144
OPERADOR 1 N2M3V2	330	33	10	50	N2	528
OPERADOR 2 N2M3V1	120	16	8	18	N2	160
OPERADOR 1 N2M4V3	71	8	9	11	N2	240
OPERADOR 2 N2M4V1	633	67	9	96	N2	670
OPERADOR 3 N2M5V3	119	13	9	18	N2	390
OPERADOR 4 N2M5V1	609	151	4	93	N2	1510
OPERADOR 5 N2M5V2	71	20	4	11	N2	320
OPERADOR 1 N3M4V1	657	55	12	100	N3	550
OPERADOR 2 N3M4V2	315	32	10	48	N3	512
OPERADOR 1 N3M5V2	84	8	10	13	N3	128

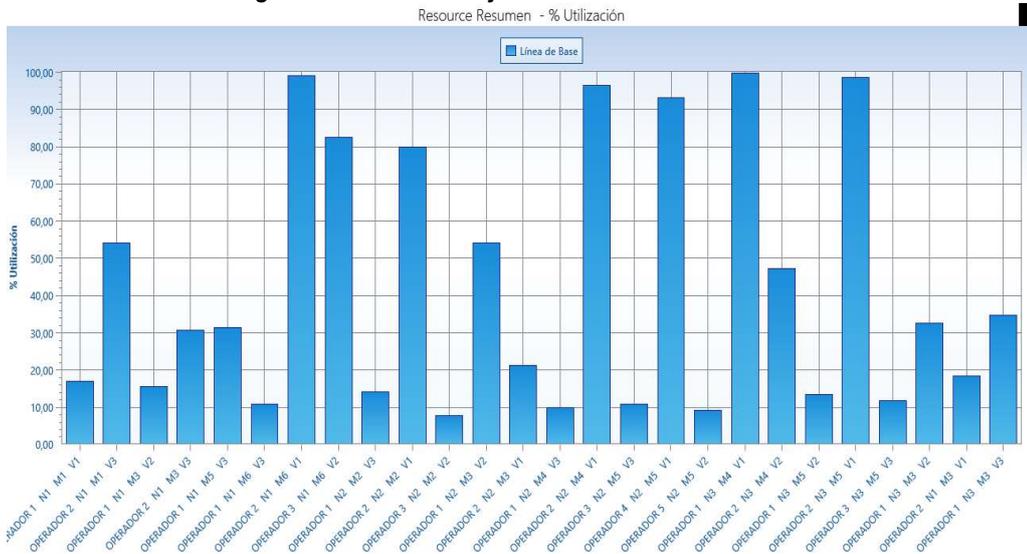
Nombre	Tiempo de Trabajo (Hr)	Número de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Hr)	% Utilización	Negocio	Demanda
OPERADOR 2 N3M5V1	651	75	9	99	N3	750
OPERADOR 3 N3M5V3	81	9	9	12	N3	270
OPERADOR 1 N3M3V2	225	24	9	34	N3	384
OPERADOR 2 N1M3V1	130	10	13	20	N1	100
OPERADOR 1 N3M3V3	198	14	14	30	N3	420

Fuente Propia

4.1.3. Tercer Experimento (Demanda mes de noviembre 2023)

En el diagrama correspondiente al mes de noviembre, mismo que se muestra en la Figura 4.10, se logra evidenciar el aumento de la demanda y como esta repercute en el porcentaje de utilización de los operadores. En el diagrama se observa un aumento porcentual de alrededor del 5% para cada configuración.

Figura 4.10 Porcentaje de utilización noviembre

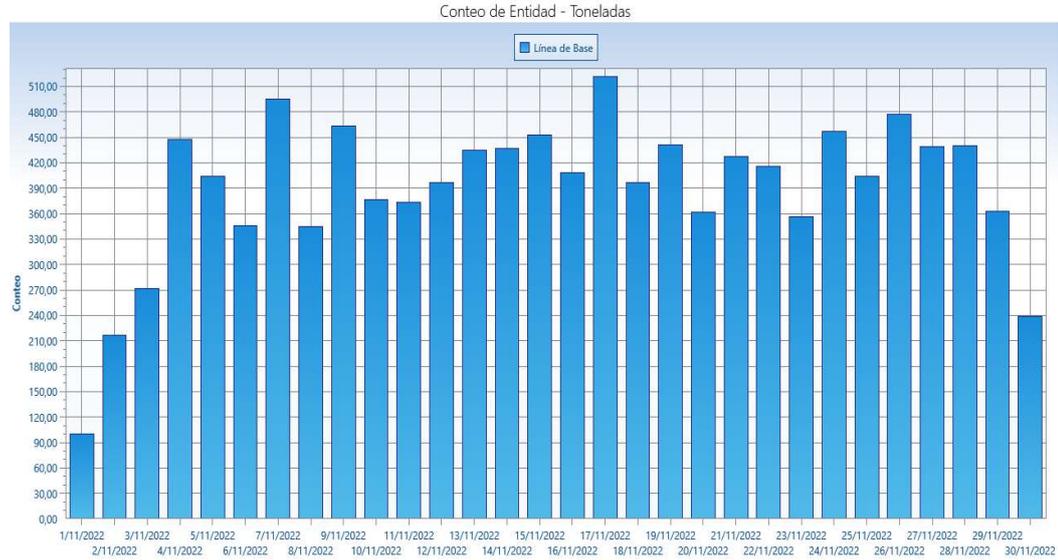


Fuente propia

Así mismo, el diagrama de conteo como se observa en la Figura 4.11, aumentó su densidad de datos. Nuevamente se observa un decaimiento de la demanda en los días extremos del mes, sin embargo, el conteo promedio de toneladas es de 425. Se observa, además, un pico de despacho de casi 520 toneladas despachadas en un solo día.

Además, se observa un pico de carga máximo en el día diecisiete de noviembre, con un aproximado de quinientas veinte toneladas.

Figura 4.11 Conteo de carga noviembre 2023



Fuente propia

Tabla 4.3 Tabla de resultados mes noviembre 2023

Nombre	Tiempo de Trabajo (Hr)	Número de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Hr)	% Utilización	Negocio	Demanda
OPERADOR 1 N1M1V1	120,68	13	9	17	N1	130
OPERADOR 2 N1M1V3	382,88	44	9	54	N1	1320
OPERADOR 1 N1M3V2	111,28	9	12	16	N1	144
OPERADOR 2 N1M3V3	217,22	15	14	31	N1	450
OPERADOR 1 N1M5V3	221,87	47	5	31	N1	1410
OPERADOR 1 N1M6V3	76,54	16	5	11	N1	480
OPERADOR 2 N1M6V1	699,29	149	5	99	N1	1490
OPERADOR 3 N1M6V2	582,66	107	5	83	N1	1712
OPERADOR 1 N2M2V3	100,43	9	11	14	N2	270
OPERADOR 2 N2M2V1	564,78	82	7	80	N2	820
OPERADOR 3 N2M2V2	55,46	8	7	8	N2	128
OPERADOR 1 N2M3V2	381,98	37	10	54	N2	592
OPERADOR 2 N2M3V1	151,40	20	8	21	N2	200
OPERADOR 1 N2M4V3	69,97	8	9	10	N2	240
OPERADOR 2 N2M4V1	681	78	9	97	N2	780
OPERADOR 3 N2M5V3	77,21	10	8	11	N2	300
OPERADOR 4 N2M5V1	657	163	4	93	N2	1630
OPERADOR 5 N2M5V2	65,04	20	3	9	N2	320

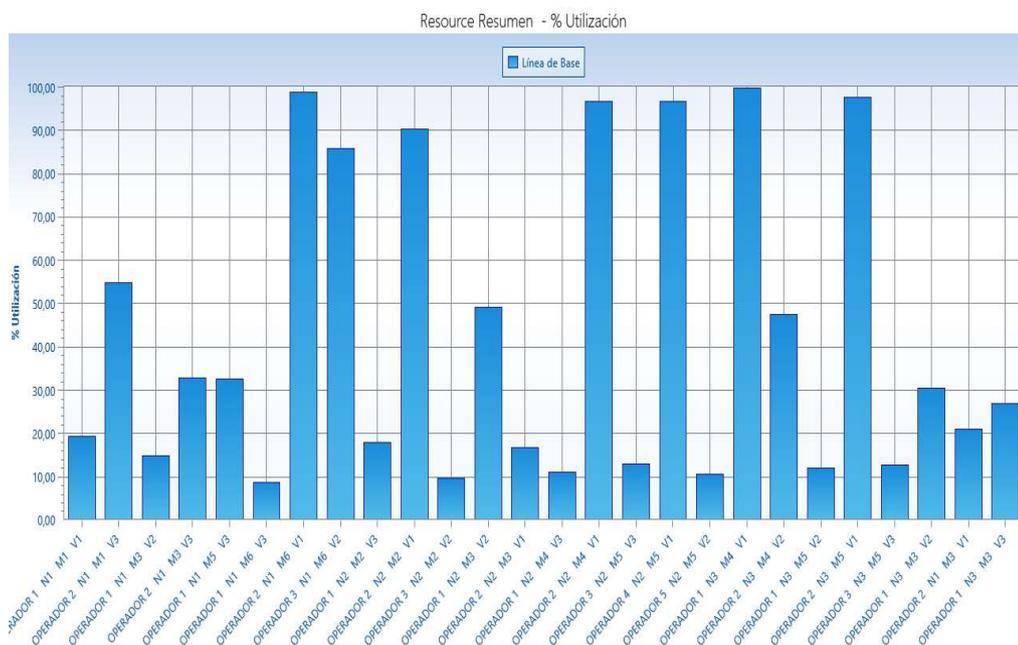
Nombre	Tiempo de Trabajo (Hr)	Número de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Hr)	% Utilización	Negocio	Demanda
OPERADOR 1 N3M4V1	705	54	13	100	N3	540
OPERADOR 2 N3M4V2	334,26	33	10	47	N3	528
OPERADOR 1 N3M5V2	96,23	9	11	14	N3	144
OPERADOR 2 N3M5V1	696,20	80	9	99	N3	800
OPERADOR 3 N3M5V3	84,02	9	9	12	N3	270
OPERADOR 1 N3M3V2	230,12	25	9	33	N3	400
OPERADOR 2 N1M3V1	131,01	22	6	19	N1	220
OPERADOR 1 N3M3V3	245,76	18	14	35	N3	540

Fuente propia

4.1.4. Cuarto Experimento (Demanda mes de diciembre 2023)

El diagrama correspondiente al mes de diciembre, mismo que se muestra en la Figura 4.12, cuya demanda es mayor que a los meses anteriormente descritos, muestra como el porcentaje de utilización aumentó hasta un 3% para gran parte de los operadores. No obstante, los picos del mes anterior se mantienen fijos, puesto que el incremento de la demanda con respecto del mes anterior es solo del 1.89%.

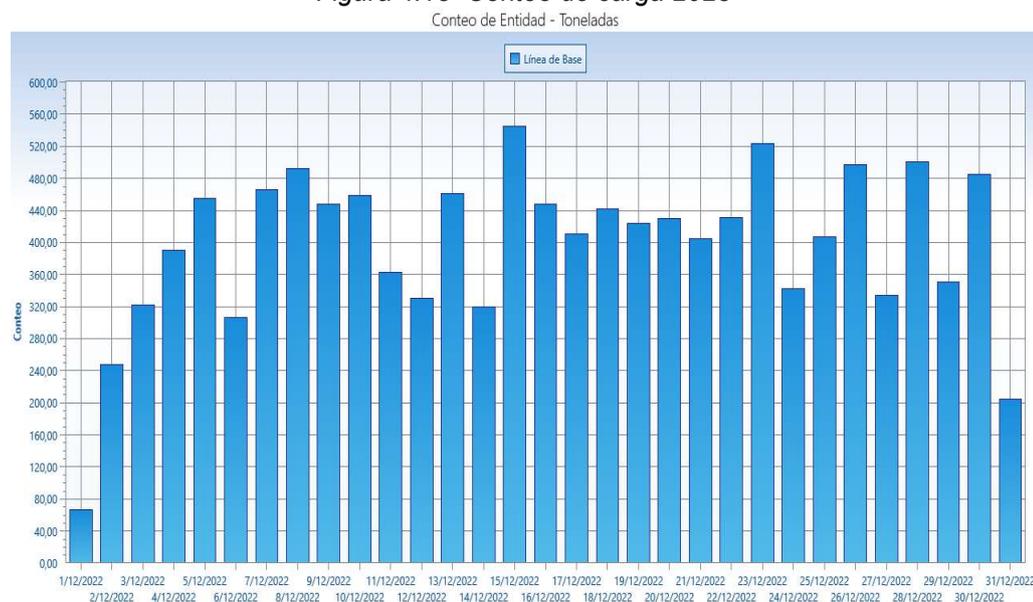
Figura 4.12 Porcentaje de utilización diciembre 2023



Fuente propia

En el diagrama de conteo de unidades mostrado en la Figura 4.13 se observa cómo se nivela las toneladas cargadas durante la tercera semana, y su pico más alto de carga es de 540 toneladas. Nuevamente el conteo de entidades es inferior en los extremos del diagrama.

Figura 4.13 Conteo de carga 2023



Fuente propia

Tabla 4.4 Tabla de resultados mes diciembre 2023

Nombre	Tiempo de Trabajo (Hr)	Número de Veces Utilizado	Tiempo Por Uso Promedio (Hr)	% Utilización	Negocio	Demand a
OPERADOR 1 N1M1V1	101	13	8	14	N1	130
OPERADOR 2 N1M1V3	392	40	10	54	N1	1200
OPERADOR 1 N1M3V2	82	9	9	11	N1	144
OPERADOR 2 N1M3V3	223	16	14	31	N1	480
OPERADOR 1 N1M5V3	218	52	4	30	N1	1560
OPERADOR 1 N1M6V3	91	17	5	12	N1	510
OPERADOR 2 N1M6V1	721	149	5	99	N1	1490
OPERADOR 3 N1M6V2	577	113	5	79	N1	1808
OPERADOR 1 N2M2V3	129	11	12	18	N2	330
OPERADOR 2 N2M2V1	622	88	7	85	N2	880
OPERADOR 3 N2M2V2	67	10	7	9	N2	160
OPERADOR 1 N2M3V2	339	34	10	47	N2	544
OPERADOR 2 N2M3V1	149	19	8	20	N2	190
OPERADOR 1 N2M4V3	71	8	9	10	N2	240
OPERADOR 2 N2M4V1	705	74	10	97	N2	740

Nombre	Tiempo de trabajo	Número de veces utilizado	Tiempo por uso promedio	% Utilización	Negocio	Demanda
OPERADOR 3 N2M5V3	104	14	7	14	N2	420
OPERADOR 4 N2M5V1	705	175	4	97	N2	1750
OPERADOR 5 N2M5V2	88	22	4	12	N2	352
OPERADOR 1 N3M4V1	729	56	13	100	N3	560
OPERADOR 2 N3M4V2	341	35	10	47	N3	560
OPERADOR 1 N3M5V2	89	8	11	12	N3	128
OPERADOR 2 N3M5V1	723	83	9	99	N3	830
OPERADOR 3 N3M5V3	72	8	9	10	N3	240
OPERADOR 1 N3M3V2	252	27	9	35	N3	432
OPERADOR 2 N1M3V1	123	22	6	17	N1	220
OPERADOR 1 N3M3V3	238	17	14	33	N3	510

Fuente propia

4.2 Resultados generales del modelo de simulación

La Tabla 4.5 muestra de manera cronológica el comportamiento de la demanda total, partiendo desde el mes de octubre del 2022, hasta el mes de abril del 2023. A su vez, muestra como el parámetro de horas hombres totales que varía proporcionalmente con respecto de la demanda. El indicador por tener en consideración será el porcentaje de utilización de los operadores, mismo que en el mes de octubre registra su menor valor de 83% y este alcanza su máximo en el mes de diciembre.

Tabla 4.5 Tabla de resultados generales correspondientes a los 8 primeros experimentos

AÑO	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	11.000	11.152	11.024	11.331	10.998	11.088	11.005	11.008
Total horas	7.357	7.407	7.334	7.478	7.417	7.405	7.321	7.153
Horas disponibles	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640
Horas adicionales	0	0	0	0	0	0	0	0
Productividad	1,50	1,51	1,50	1,52	1,48	1,50	1,50	1,54
Utilización	85,2%	85,7%	84,9%	86,6%	85,8%	85,7%	84,7%	82,8%
Colaboradores fijos	27	27	27	27	27	27	27	27
Colab. eventuales	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilización sugerida	85,2%	85,7%	84,9%	86,6%	85,8%	85,7%	84,7%	82,8%
Costo MO	\$20.736	\$20.736	\$20.736	\$20.736	\$20.736	\$20.736	\$20.736	\$20.736

Fuente Propia

La utilización POST HH muestra la simulación del decremento en la utilización luego de haber realizado una contratación de un equipo extra. Un equipo representa un aumento de 960 horas hombre totales en la operación. Esto permite reducir hasta un 8.3% la utilización de los operadores dentro del centro de distribución.

La Tabla 4.6 muestra nuevamente de manera cronológica el comportamiento de la demanda. sin embargo, esta muestra los resultados de los siete últimos experimentos realizados en la simulación. Como se observa, el número de horas hombre se ha incrementado de manera considerable. Tal es así que, en su pico más alto de la demanda, las HORAS HOMBRE TOTALES superaron las 8000 horas.

Tabla 4.6 Tabla de resultados generales correspondientes a los 8 últimos experimentos

AÑO	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	11.022	11.004	11.223	11.035	11.154	11.972	11.755	11.981
Total horas	7.304	7.335	7.341	7.315	7.385	7.895	7.739	7.953
Horas disponibles	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640	8.640
Horas adicionales	0	0	0	0	0	960	960	960
Productividad	1,51	1,50	1,53	1,51	1,51	1,52	1,52	1,51
Utilización	84,5%	84,9%	85,0%	84,7%	85,5%	91,4%	89,6%	92,1%
Colab fijos	27	27	27	27	27	27	27	27
Colab. eventual	0	0	0	0	0	3	3	3
Utilización sugerida	84,5%	84,9%	85,0%	84,7%	85,5%	82,2%	80,6%	82,8%
Costo MO	\$20.736	\$20.736	\$20.736	\$20.736	\$20.736	\$23.258	\$23.258	\$23.258

Fuente Propia

Para esto, se realizó la simulación del aumento de 960 horas hombre. Esto da como resultado un decremento del 9.3% de la utilización en promedio. Se observa como en los últimos tres meses inicialmente se superó la barrera del 90% de utilización de los operadores.

4.3 Resultados generales de análisis por andenes disponibles

Consecuentemente del análisis de utilización de los operadores, se procedió a la realización del análisis de capacidad, tanto de la productividad

como de la utilización, por andenes disponibles dentro de la operación del centro de distribución.

4.3.1 Resultados escenario 1 (NEG1;2) y 2 (NEG1;4) negocio NEG1

Los escenarios 1 y 2 correspondientes al negocio 1, involucran el aumento y la disminución de un andén de despacho en este negocio en particular.

Previo a detallar los escenarios, se presenta la situación actual en el NEG1.

Escenario actual (NEG1;3)

Se reitera que el análisis se enfoca en la productividad y en la utilización del personal operativo.

En la Tabla 4.7 se observan los valores de la demanda únicamente del NEG1 correspondientes al mes de septiembre de 2022 hasta abril de 2023; las horas totales, las horas disponibles considerando los tres grupos de trabajo, y que actualmente no se consideran horas adicionales. Con estos datos, se obtuvo la productividad enfocada en el NEG1, y su respectiva utilización.

Tabla 4.7 Análisis actual del Negocio NEG1 1era Parte

Análisis por andenes de NEG1 ACTUAL								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	4997	5032	5052	5264	4466	4194	4851	4923
Total horas	2298	2296	2256	2365	2201	2289	2296	2185
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Productividad inicial	2,17	2,19	2,24	2,23	2,03	1,83	2,11	2,25
Utilización	79,8%	79,7%	78,3%	82,1%	76,4%	79,5%	79,7%	75,9%

Fuente Propia

En la Tabla 4.8 nuevamente se presentan los valores de las horas totales, las horas disponibles considerando los tres grupos de trabajo, sin considerar las horas adicionales, correspondientes a los meses de mayo de 2023 a diciembre de 2023.

Tabla 4.8 Análisis actual de NEG1 2doParte

Análisis por andenes de NEG1 ACTUAL								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	49,8	4898	5021	5049	5066	4868	5299	5346
Total horas	2249	2277	2260	2345	2309	2427	2412	2405
Horas disponibles	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800
Productividad inicial	2,18	2,15	2,22	2,15	2,19	2,01	2,2	2,22
Utilización	78,1%	79,1%	78,5%	81,4%	80,2%	84,3%	83,8%	83,5%

Fuente Propia

Escenario 1 (NEG1;2)

Los resultados del primer escenario se muestran en las Tabla 4.9 y 4.10. El *primer escenario* corresponde a la inhabilitación de un andén en el centro de distribución. Esto como corresponde, resta tiempo de servicio disponible. Se analiza de igual manera la afectación de la productividad y del porcentaje de utilización.

Tabla 4.9 Análisis de NEG1 1er escenario 1era parte

Análisis por andenes de NEG1 -1 Andén								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	4997	5032	5052	5264	4466	4194	4851	4923
Total horas	2298	2296	2256	2365	2201	2289	2296	2185
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960
Horas finales	1338	1336	1296	1405	1241	1329	1336	1225
Productividad -1 anden	3,73	3,77	3,90	3,75	3,60	3,16	3,63	4,02
Utilización	171,7%	171,8%	174,1%	168,3%	177,3%	172,3%	171,8%	178,3%

Fuente propia

La Tabla 4.10 muestra los valores que van desde el mes de septiembre de 2022 a abril de 2023. Su demanda enfocada es la misma, no hay una variación en cuanto al enfoque del análisis. Sin embargo, la productividad se ve afectada aumentando hasta 4.02 [TON/HH]. De igual manera se observa una sobreutilización del personal operativo en este escenario.

Tabla 4.10 Análisis de NEG1 1er escenario 2da parte

Análisis por andenes de NEG1 -1 ANDEN								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	4908	4898	5021	5049	5066	4868	5299	5346
Total horas	2249	2277	2260	2345	2309	2427	2412	2405
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960
Horas finales	1289	1317	1300	1385	1349	1467	1452	1445
Productividad -1 anden	3,81	3,72	3,86	3,64	3,76	3,32	3,65	3,70
Utilización	174,5%	172,9%	173,8%	169,3%	171,2%	165,4%	166,1%	166,5%

Fuente propia

En la Tabla 4.10 anterior se observa el comportamiento de la demanda enfocada del NEG1 en los meses que van desde mayo de 2023 hasta diciembre de 2023. Nuevamente se observa que la utilización y la productividad están por encima del valor esperado.

Escenario 2 (NEG1;4)

Los resultados del segundo escenario se muestran en las Tabla 4.11 y 4.12. El segundo escenario corresponde a la habilitación de un nuevo andén de despacho del negocio NEG1. Esto supone un aumento del tiempo disponible de carga.

En los meses que van desde septiembre de 2022 hasta abril de 2023, se observa como la productividad gira en torno a 1.5 [TON/HH]. A su vez, la utilización se sitúa entre los valores de 69,5% y 71%.

Tabla 4.11 Análisis de NEG1 2do escenario 1era parte

Análisis por andenes de NEG1 +1 ANDEN								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	4997	5032	5052	5264	4466	4194	4851	4923
Total horas	2298	2296	2256	2365	2201	2289	2296	2185
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	960	960	960	960	960	960	960	960

Horas finales	3258	3256	3216	3325	3161	3249	3256	3145
Productividad +1 anden	1,53	1,55	1,57	1,58	1,41	1,29	1,49	1,57
Utilización +1	70,5%	70,5%	70,2%	71,1%	69,6%	70,4%	70,5%	69,5%

Fuente propia

La Tabla 4.12 muestra los valores correspondientes a los meses de mayo de 2023 hasta diciembre de 2023. En esta escala la productividad muestra un incremento a 1.53 [TON/HH]. Así mismo la utilización obtuvo un ligero incremento llegando a un valor máximo de 71.5%.

Tabla 4.12 Análisis de NEG1 2do escenario 2da parte

Análisis por andenes de NEG1 +1 ANDEN								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	4908	4898	5021	5049	5066	4868	5299	5346
Total horas	2249	2277	2260	2345	2309	2427	2412	2405
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	960	960	960	960	960	960	960	960
Horas finales	3209	3237	3220	3305	3269	3387	3372	3365
Productividad +1 anden	1,53	1,51	1,56	1,53	1,55	1,44	1,57	1,59
Utilización +1	70,1%	70,3%	70,2%	71,0%	70,6%	71,7%	71,5%	71,5%

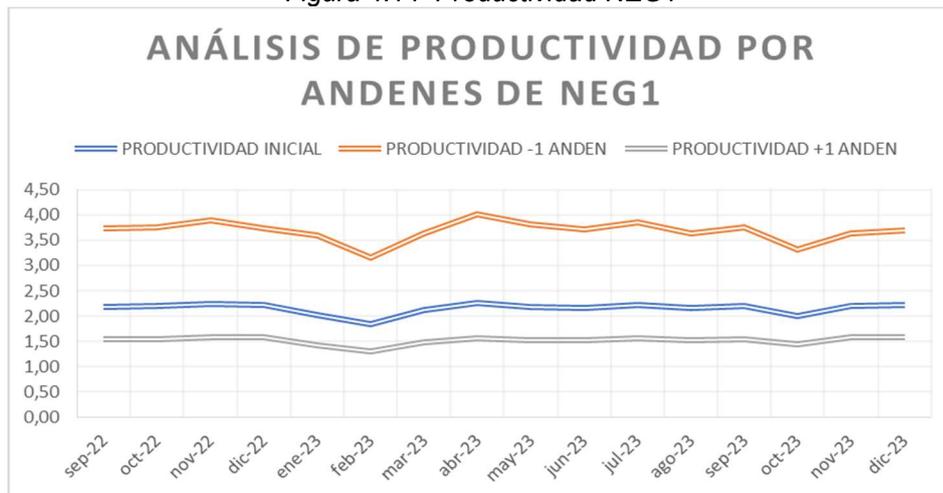
Fuente propia

Análisis general de resultados NEG1

El análisis general de contraste entre los escenarios propuestos y la situación actual se muestra en las Figuras 4.14 y 4.15.

En la Figura 4.14 se observa el comportamiento de la productividad enfocada en el NEG1. La tendencia muestra que en el escenario de adición de 1 andén, la línea de productividad se sitúa entre los valores de 1.41 y 1.56 [TON/HH]. De la misma manera, el escenario de -1 andén muestra un incremento de la productividad a valores superiores de 3 [TON/HH].

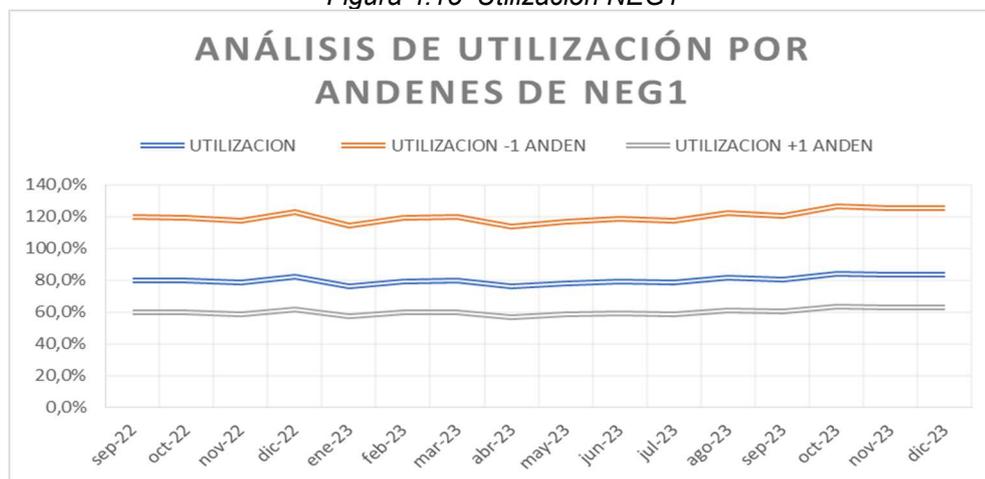
Figura 4.14 Productividad NEG1



Fuente propia

En la Figura 4.15 se muestra la tendencia de la utilización. En este caso, se observa como al disminuir un andén se genera una sobreutilización del personal operativo. La utilización actual muestra valores cercanos al 80%, correspondientes al valor esperado. Por otra parte, en el escenario de +1 andén la utilización recae hasta un valor mínimo del 60%.

Figura 4.15 Utilización NEG1



Fuente propia

4.3.2 Resultados escenario 3 (NEG2;2) y 4 (NEG2;4) negocio NEG2

Los escenarios 3 y 4 correspondientes al negocio 2, involucran el aumento y la disminución de un andén de despacho en este negocio en

particular, el negocio NEG2. El enfoque es el mismo que en los escenarios 1 y 2, reducir y aumentar el número de andenes considerando así un aumento en el tiempo disponible.

Escenario actual (NEG2;3)

La Tabla 4.13 muestra el comportamiento de la situación actual en los meses que van de septiembre de 2022, a abril de 2023. Como se observa, la utilización gira en torno al 93% y su productividad es alrededor de 1.45 [TON/HH].

Tabla 4.13 Análisis actual del Negocio NEG2 1era parte

Análisis por andenes de NEG2 ACTUAL								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	3760	3746	3642	3705	4061	3737	3767	3760
Total horas	2708	2680	2731	2713	2686	2702	2668	2669
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Productividad	1,39	1,40	1,33	1,37	1,51	1,38	1,41	1,41
Utilización	94,0%	93,1%	94,8%	94,2%	93,3%	93,8%	92,6%	92,7%

Fuente propia

La Tabla 4.14 muestra el análisis de los meses de mayo de 2023 a diciembre de 2023. En este intervalo de tiempo la utilización ya sobrepasa el 100% del tiempo total disponible. No obstante, la productividad disminuye llegando a un valor mínimo de 1,37 en el mes de diciembre.

Tabla 4.14 Análisis actual del NEG2 2da parte

Análisis por andenes de NEG2 ACTUAL								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	3805	3741	3802	3689	3796	4430	3921	4093
Total horas	2702	2706	2694	2641	2759	2931	2804	2981
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Productividad	1,41	1,38	1,41	1,40	1,38	1,51	1,40	1,37
Utilización	93,8%	94,0%	93,5%	91,7%	95,8%	101,8%	97,4%	103,5%

Fuente propia

Escenario 3 (NEG2;2)

Los resultados del primer escenario se muestran en las Tabla 4.15 y Tabla 4.16. En este escenario se plantea la eliminación de un andén en el negocio NEG2, lo que involucra una disminución de 960 horas disponibles de trabajo.

Debido a esto, los ocho primeros meses a analizar muestran un aumento significativo en la utilización llegando a ser de 141% en el mes de septiembre de 2022 y febrero de 2023. Así mismo, la productividad llega a un límite máximo de 1.96 en los meses de marzo y abril del 2023.

Tabla 4.15 Análisis de NEG2 3er escenario 1era parte

Análisis por andenes de NEG2 -1 ANDEN								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	3760	3746	3642	3705	4061	3737	3767	3760
Total horas	2708	2680	2731	2713	2686	2702	2668	2669
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960
Horas finales	1748	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920
Productividad -1 anden	2,15	1,95	1,90	1,93	2,12	1,95	1,96	1,96
Utilización	154,9%	139,6%	142,3%	141,3%	139,9%	140,7%	139,0%	139,0%

Fuente propia

En los meses posteriores, mayo a diciembre de 2023, se observa como la utilización alcanza un pico máximo del 155% y con una productividad de 2.13 [TON/HH]. Por otra parte, en el mes de octubre se registró un incremento en la productividad llegando a ser de 2.31 [TON/HH].

Tabla 4.16 Análisis de NEG2 3er escenario 2da parte

Análisis por andenes de NEG2 -1 ANDEN								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	3805	3741	3802	3689	3796	4430	3921	4093
Total horas	2702	2706	2694	2641	2759	2931	2804	2981
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960
Horas finales	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920
Productividad -1 anden	1,98	1,95	1,98	1,92	1,98	2,31	2,04	2,13
Utilización	140,8%	140,9%	140,3%	137,5%	143,7%	152,7%	146,1%	155,2%

Escenario 4 (NEG2;4)

En el escenario cuatro mostrado en la Tabla 4.17 se plantea el aumento de un andén. Se cuenta con tres mil ochocientos cuarenta horas totales disponibles y se considera una demanda enfocada en el negocio NEG2. La productividad en los primeros ocho meses de análisis obtuvo un valor que ronda 1 [TON/HH]. Así mismo, la utilización ronda el 70%.

Tabla 4.17 Análisis de NEG2 4to escenario 1era parte

Análisis por andenes de NEG2 +1 ANDEN								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	3760	3746	3642	3705	4061	3737	3767	3760
Total horas	2708	2680	2731	2713	2686	2702	2668	2669
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	960	960	960	960	960	960	960	960
Horas finales	3840	3840	3840	3840	3840	3840	3840	3840
Productividad +1 anden	0,98	0,98	0,95	0,96	1,06	0,97	0,98	0,98
Utilización	70,5%	69,8%	71,1%	70,7%	70,0%	70,4%	69,5%	69,5%

Fuente propia

Para el segundo intervalo de meses por analizar mostrados en la Tabla 4.18, mismos que van desde mayo de 2023 a diciembre de 2023, la utilización y la productividad se mantuvieron constantes en comparación con los meses anteriores.

Tabla 4.18 Análisis de NEG2 4to escenario 2da parte

Análisis por andenes de NEG2 +1 ANDEN								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	3805	3741	3802	3689	3796	4430	3921	4093
Total horas	2702	2706	2694	2641	2759	2931	2804	2981
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	960	960	960	960	960	960	960	960
Horas finales	3840	3840	3840	3840	3840	3840	3840	3840
Productividad +1 anden	0,99	0,97	0,99	0,96	0,99	1,15	1,02	1,07
Utilización	70,4%	70,5%	70,2%	68,8%	71,9%	76,3%	73,0%	77,6%

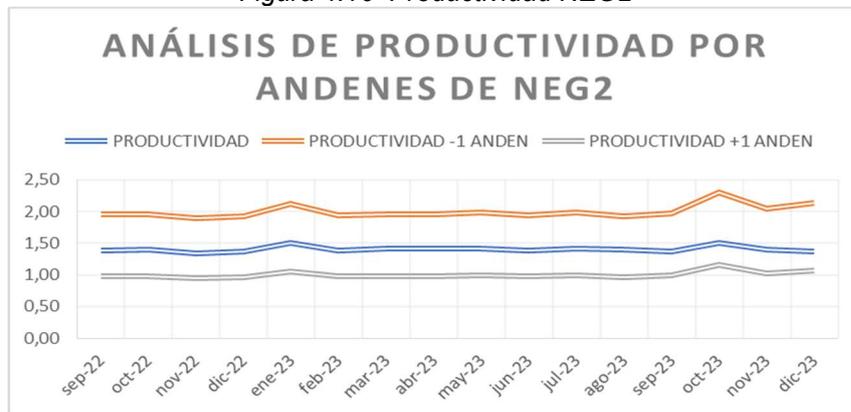
Fuente propia

Análisis general de resultados NEG2

El análisis general de contraste entre los escenarios tres y cuatro, en conjunto con la situación actual se muestra en las Figura 4.16 y Figura 4.17.

En la Figura 4.16 se observa el comportamiento de la productividad enfocada en el NEG2. La tendencia muestra que en el escenario de adición de 1 andén, la línea de productividad se sitúa entre los valores de 1 y 1.2. De la misma manera, el escenario de -1 andén muestra un incremento de la productividad a valores superiores de 2 [TON/HH].

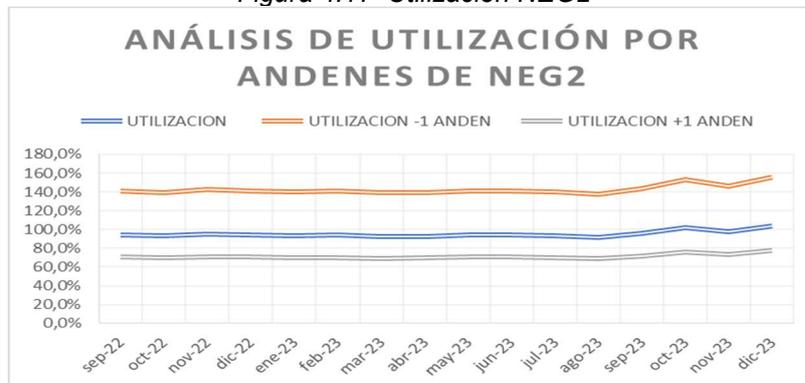
Figura 4.16 Productividad NEG2



Fuente propia

En la Figura 4.17 se muestra el análisis por utilización. En este caso, el escenario 3 muestra como la utilización se incrementa llegando a valores superiores al 150%. Por otra parte, la tendencia actual muestra una utilización que ronda el 96%.

Figura 4.17 Utilización NEG2



Fuente propia

4.3.3 Resultados escenario 5 (NEG3;2) y 6 (NEG3;4) negocio NEG3

Los escenarios 5 y 6 correspondientes al NEG3, involucran el aumento y la disminución de un andén. Nuevamente se simula un aumento y disminución de las horas disponibles.

Escenario actual (NEG3;3)

En el escenario actual se presenta la demanda asignada para el NEG3. En su primera tabla se muestra como la productividad ronda los valores de 0,8 [TON/HH]. Por otra parte, la utilización ronda el 82% del total de horas disponibles por parte del personal operativo tal como se muestra en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19 Análisis actual de NEG3 1era parte

Análisis por andenes de NEG3 ACTUAL								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	2243	2374	2330	2362	2471	2295	2387	2325
Total horas	2350	2430	2346	2399	2370	2340	2357	2298
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	0	0	0	0	0	0	0	0
Productividad	0,78	0,82	0,81	0,82	0,86	0,80	0,83	0,81
Utilización	81,6%	84,4%	81,5%	83,3%	82,3%	81,3%	81,8%	79,8%

Fuente propia

En la Tabla 4.20 se observa la misma tendencia en cuanto a productividad, sin embargo la utilización llega a un pico máximo en el mes de diciembre de 2023. La utilización de este mes llegó a un valor de 89,2%.

Tabla 4.20 Análisis actual de NEG3 2da parte

Análisis por andenes de NEG3 ACTUAL								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	2308	2365	2399	2297	2292	2674	2556	2541
Total horas	2353	2352	2387	2329	2317	2529	2522	2567
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	0	0	0	0	0	0	0	0
Productividad	0,80	0,82	0,83	0,80	0,80	0,93	0,89	0,88
Utilización	81,7%	81,7%	82,9%	80,9%	80,5%	87,8%	87,6%	89,2%

Fuente propia

Escenario 5 (NEG3;2)

Los resultados del quinto escenario mostrados en la Tabla 4.21, mismo que se refiere a la eliminación de un andén en el negocio tres, en los meses que van desde septiembre de 2022 abril de 2023 muestran una productividad que gira en torno a 1,2 [TON/HH]. A su vez, la utilización del personal operativo alcanza un máximo de 125% en el mes de diciembre de 2022.

Tabla 4.21 Análisis de NEG3 5to escenario 1era parte

Análisis por andenes de NEG3 -1 ANDEN								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	2243	2374	2330	2362	2471	2295	2387	2325
Total horas	2351	2430	2347	2400	2370	2340	2357	2299
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960
Horas finales	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920
Productividad -1 anden	1,17	1,24	1,21	1,23	1,29	1,20	1,24	1,21
Utilización	122,4%	126,6%	122,2%	125,0%	123,4%	121,9%	122,8%	119,7%

Fuente propia

En los meses de mayo de 2023 a diciembre de 2023 mostrados en la Tabla 4.22, se muestra una productividad que gira en torno al 1.30 [TON/HH]. Por otra parte, se observa una sobreutilización que alcanza un pico máximo de 133% en el mes de diciembre del 2023.

Tabla 4.22 Análisis de NEG3 5to escenario 2da parte

Análisis por andenes de NEG3 -1 ANDEN								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	2308	2365	2399	2297	2292	2674	2556	2541
Total horas	2353	2353	2387	2330	2318	2529	2523	2568
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960	-960
Horas finales	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920	1920
Productividad -1 anden	1,20	1,23	1,25	1,20	1,19	1,39	1,33	1,32
Utilización	122,6%	122,5%	124,3%	121,3%	120,7%	131,7%	131,4%	133,7%

Fuente propia

Escenario 6 (NEG3;4)

Los resultados del escenario seis se muestran en las Tabla 4.23 y Tabla 4.24 en la primera de ellas se analizan los meses de septiembre de 2022 a abril de 2023. La demanda se enfoca en el negocio NEG3. Se observa como su productividad disminuye debido al aumento de horas disponibles llegando a un límite inferior de 0,58 [TON/HH] en el mes de septiembre de 2022. Además, en el mes de octubre de 2022 se obtuvo la utilización máxima que alcanza el valor de 63,3%.

Tabla 4.23 Análisis de NEG3 6to escenario 1era parte

Análisis por andenes de NEG3 +1 ANDEN								
Año	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23
Demanda	2243	2374	2330	2362	2471	2295	2387	2325
Total horas	2351	2430	2347	2400	2370	2340	2357	2299
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	960	960	960	960	960	960	960	960
Horas finales	3840	3840	3840	3840	3840	3840	3840	3840
Productividad +1 anden	0,58	0,62	0,61	0,62	0,64	0,60	0,62	0,61
Utilización	61,2%	63,3%	61,1%	62,5%	61,7%	60,9%	61,4%	59,9%

Fuente propia

En la Tabla 4.24 se muestran los resultados correspondientes a los meses de mayo de 2023 a diciembre de 2023. En ella se observa como en el mes de octubre la productividad llega a ser de 0,70 [TON/HH] y con respecto a la utilización, en el mes de diciembre de 2023 el valor alcanza un máximo de 66,9%.

Tabla 4.24 Análisis de NEG3 6to escenario 2da parte

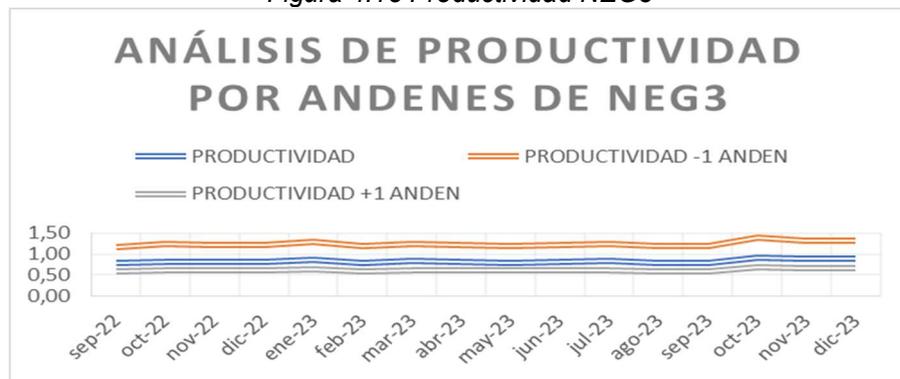
Análisis por andenes de NEG3 +1 ANDEN								
Año	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Demanda	2308	2365	2399	2297	2292	2674	2556	2541
Total horas	2353	2353	2387	2330	2318	2529	2523	2568
Horas disponibles	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Horas adicionales	960	960	960	960	960	960	960	960
Horas finales	3840	3840	3840	3840	3840	3840	3840	3840
Productividad +1 anden	0,60	0,62	0,62	0,60	0,60	0,70	0,67	0,66
Utilización	61,3%	61,3%	62,2%	60,7%	60,4%	65,9%	65,7%	66,9%

Fuente propia

Análisis general de resultados NEG3

El análisis general de contraste entre los escenarios cinco y seis, en conjunto con la situación actual se muestra en las Figura 4.18 y Figura 4.19. En la Figura 4.18 se observa el comportamiento de la productividad enfocada en el NEG3. La tendencia muestra que en el escenario de adición de 1 andén, la línea de productividad se sitúa entre los valores de 0.5 y 0.7 [TON/HH]. De la misma manera, el escenario de -1 andén muestra un incremento de la productividad a valores que oscilan entre 1.3 y 1.5 [TON/HH].

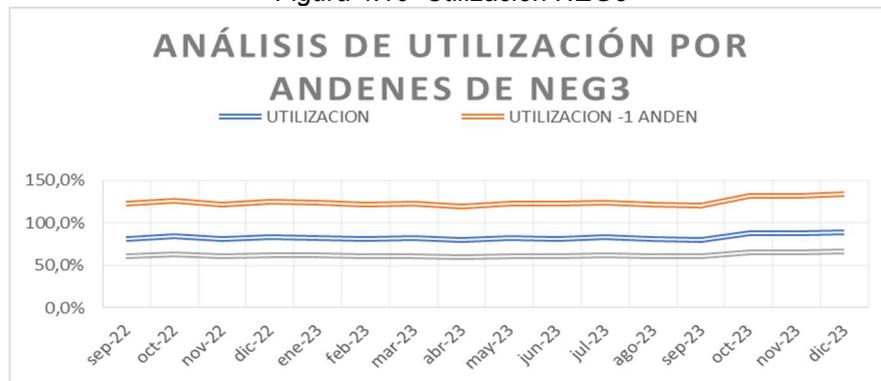
Figura 4.18 Productividad NEG3



Fuente propia

En la Figura 4.19 se muestra el análisis por utilización. En este caso, el escenario cinco muestra como la utilización se incrementa llegando a valores superiores al 120%. Por otra parte, la tendencia actual muestra una utilización que ronda el 85% del total de horas operativas disponibles.

Figura 4.19 Utilización NEG3



Fuente propia

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se mencionan las conclusiones y recomendaciones a las cuales se han podido llegar en base al análisis de resultados de la simulación. Se hace énfasis en los objetivos descritos en el capítulo 1.

El análisis consideró el tiempo requerido por tipo de vehículo, la capacidad de cada vehículo y su variación en base a la función de distribución que parte de la desviación estándar de los tiempos de carga de cada vehículo.

Adicional a esto, se concluye en base a la productividad y la utilización enfocada por cada uno de los tres negocios: NEG1, NEG2 y NEG3.

5.1 Conclusiones

En función de la demanda del año 2022, considerando el mes de septiembre del año en mención hasta septiembre del 2023 se obtiene una utilización del tiempo de los operadores en los días y jornadas laborales del 85.1% para la atención de los tres negocios NEG1, NEG2 y NEG3, con una productividad de 1.5 toneladas/hora hombre. El número de colaboradores calculados para estos meses en particular es de veintisiete; es decir, el número de colaboradores contratados al corte del periodo de agosto del 2022.

Para los meses de octubre del 2023 hasta diciembre del 2023, la utilización es del 91%, con una productividad de 1.51 toneladas/hora hombre. La utilización se incrementa sobre el 80% en este periodo, para lo cual, el cálculo del número de colaboradores de la simulación es de treinta operativos, siendo mayor al número de colaboradores contratados.

A continuación, se detallan las conclusiones por cada uno de los negocios.

El porcentaje de utilización para satisfacer la demanda del negocio NEG1 en los meses de septiembre del 2022 hasta septiembre del 2023 es de 79.1% y cuya productividad del centro de distribución para los colaboradores que atienden este negocio es de 2.15 toneladas/hora hombre. Para los meses de octubre a diciembre del 2023 el porcentaje de utilización es del 83.8% con una productividad de 2.14 toneladas/hora hombre; es decir, no presenta un incremento en mano de obra.

Para satisfacer la demanda del negocio NEG2 desde el mes de septiembre del 2022 hasta septiembre del 2023, se obtiene una utilización del 93.6% de las jornadas de trabajo de los colaboradores y una productividad de 1.4 toneladas/hora hombre; mientras que, para los meses de octubre a diciembre del 2023 la utilización es de 100.9% lo cual estarían generando horas adicionales de trabajo y cuya productividad es de 1.43 toneladas/hora hombre. Para este negocio la simulación presenta un incremento de 3 colaboradores o 1 anden de despachos adicional y así disminuir la utilización a 80%.

El porcentaje de utilización del mes de septiembre del 2022 hasta septiembre del 2023 y así satisfacer la demanda del negocio NEG3 es de 81.8% y la productividad del centro de distribución de 0.81 toneladas/hora hombre, para los meses de octubre a diciembre del 2023 la utilización es del 88.2% con una productividad del 0.9 toneladas/hora hombre. En este negocio no se presentan novedades.

La compañía tiene como definición la productividad basada en los tras negocios, siendo esta de 1.5 toneladas/hora hombre. Pero podemos concluir que cada negocio tiene su particularidad en la productividad.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que con un análisis global del centro de distribución, mantener una utilización en cuanto a la carga laboral por debajo del 85%, considerando a su vez la fijación de la productividad en 1.5 toneladas/hora hombre.

Para satisfacer la demanda desde el mes de septiembre del 2022 hasta septiembre del 2023 se sugiere, incrementar el número de colaboradores fijos mediante la renovación de contrato, pasando de tener inicialmente 21 colaboradores fijos y 6 eventuales a tener 27 colaboradores fijos en la nómina, lo cual genera un ahorro de USD. 17.651 (Diecisiete mil seiscientos cincuenta y uno con 00/100 dólares).

Para el mes de octubre hasta diciembre del 2023, se requiere la contratación de un grupo de tres colaboradores, por cuanto la utilización es superior al 85%. Este grupo de colaboradores debe ser asignado al negocio NEG2.

Para cálculo de mano de obra operativa es necesario realizar con cada una de las productividades por negocio y no de forma general.

6. REFERENCIAS

- Amézquita, R. (2020). Modelo para la asignación de personal minimizando costos aplicados a tiendas AMPM.
- Anaya, J. J. (2007). Logística integral: la gestión operativa de la empresa. En J. J. Anaya. Madrid.
- Carrillo, R. (s.f.). *Ministerio de salud ARGENTINA*. Obtenido de Capital Federal: <https://www.msal.gob.ar/index.php/home/salud-ocupacional#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20ORGANIZACI%C3%93N,en%20peligro%20la%20salud%20y>
- Debreu, G. (1973). *TEORIA DEL VALOR: UN ANALISIS AXIOMATICO DEL EQUILIBRIO ECONOMICO*. Barcelona: BOSCH 1A ED.
- E., G., H, G., & Cárdenas, L. (2008). Simulación y análisis de sistemas con Promodel. *Pearson Educación, México*.
- ESFANDIARI, A., & REZA, M. (1996). SIMULACION Y ANALISIS DE MODELOS ESTOCASTICOS . *MCGRAW-HILL*.
- Guasch, Piera, Casanova, & Pireiras. (2002). Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios. *Universidad Politécnica de Catalunya*.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (1996). *FACTORY PHYSICS: FOUNDATION OF MANUFACTURING MANAGEMENT*. Estados Unidos: Irwin McGraw-Hill.

J, P., & G, S. (2007). *Guía básica de software de simulación PROMODEL*. Obtenido de
de PROCESS SIMULATOR:
https://oocities.org/mx/io2_jonathan/GuiaRAPIDAPROMODEL.pdf

López, M. B., Macorra, M. Z., & Alcántara, S. M. (2019). Trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de la manufactura de neumáticos, análisis del proceso de trabajo y riesgo de la actividad. *Universidad de Guanajuato*.

Martin, D., & Meza, M. (2020). Diseño de un modelo de gestión de operaciones basado en Lean Warehousing para mejorar la eficiencia operativa de almacenes logísticos.

Meléndez, J. (2014). Mano de Obra. *MuchaHistoria*, <https://muchahistoria.com/mano-de-obra/>.

Minitab. (2021). *Minitab*. Obtenido de <https://www.minitab.com/es-mx/>

Otal, S. y. (2007). Simulación Financiera con delta Simul-e. *Ediciones Díaz de Santos*.

Paz, R. C., & Gómez, D. G. (s.f.). *Productividad y competitividad*. Obtenido de
Administración de operaciones:
http://nulan.mdp.edu.ar/1607/1/02_productividad_competitividad.pdf

Quiroga, L. (2017). Diseño de un modelo de optimización para el proceso de despacho de mercancía en los centros de distribución ubicados en Cundinamarca .
Fundación Universidad de América.

RIGGS, J. L. (1983). Productivity by objectives. *ENGLEWOOD*.

SPIEGEL, M. R. (1991). ESTADISTICA . *MCGRAW-HILL*.

Tapia Tarifa, U. Z. (2021). Propuesta de mejora del proceso de almacenamiento y distribución de una empresa comercializadora de productos variados. .

WALPOLE, R. E. (1999). Probabilidad Y estadística para ingenieros. *PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA S.A.*

White, K., & Ingalls, R. (2009). Introduction to simulation. *Simulation Conference*.