



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL**

SIMULACIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN CON SISTEMA
CROSS-DOCKING

TESIS

Que para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presenta:

María Aidée Luz Bustos

Gilberto Ehecatl Melo Alvarez



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. ESTHER SEGURA PEREZ**

Ciudad Universitaria, México 2016

ÍNDICE

I.	Introducción.....	9
II.	Objetivo general.....	11
III.	Objetivos específicos.....	11
IV.	Alcance y limitaciones.....	11
	Capítulo 1.....	14
1.1	Centros de Distribución (CEDIS).....	14
1.2	El diseño de la red de planta de un CEDIS.....	15
1.3	La importancia de distribución de instalaciones.....	19
1.4	Tipos de distribución.....	20
1.5	Distribuciones de almacenes.....	21
1.5.1	Cross-Docking (Almacenamiento cruzado).....	21
1.5.2	Almacenamiento aleatorio.....	23
1.5.3	Almacenamiento personalizado.....	24
1.6	Requerimientos para una buena distribución.....	25
1.7	Simulación.....	26
1.7.1	Simulación de sistemas continuos.....	27
1.7.2	Simulación de eventos discretos.....	28
1.8	Modelo de simulación.....	30
1.9	Flexsim®.....	31
1.9.1	Aplicaciones en el software Flexsim® para el caso de estudio.....	32
1.9.2	Instrucciones generales para ejecutar la simulación.....	32
1.9.3	Elementos para programar en Flexsim.....	34
1.10	Análisis por escenarios.....	35
1.11	Balanceo de líneas.....	36
1.12	Teoría de colas.....	36
1.13	Literatura revisada.....	38
	Capítulo 2.....	41
2.1	Descripción.....	41
2.2	Los macro procesos.....	42
2.2.1	Descarga.....	42
2.2.2	Clasificación.....	43

2.2.3 Carga.....	43
2.3 Los tiempos de operación	44
2.4 Datos de interés	44
2.5 Consideraciones específicas para la propuesta.	45
2.6 Diagrama de Proceso	46
2.7 Análisis de la situación	47
2.7.1 La línea de operación	47
2.7.2 Análisis de la descarga.....	48
2.7.3 Análisis de la clasificación	53
2.7.4 Análisis de la carga	57
Capítulo 3.....	59
3.1 Desarrollo del proceso de descarga	59
3.1.1 Codificación del modelo de Descarga	60
3.1.2 Diagrama de conexión.....	62
3.1.3 Determinación de los tiempos de descarga.....	66
3.2 Desarrollo del proceso de clasificación.....	70
3.2.1 Codificación de los modelos de clasificación	70
3.2.2 Diagrama de conexiones	72
3.2.3 Tiempos de operación para zona de clasificación original.....	74
3.2.4 Tiempos de operación para zona de clasificación modificada.....	75
3.2.5 Comparación y conclusiones.....	77
3.2.6 Conexión de modelos de descarga y clasificación	78
3.2.7 Finalización de la operación.	80
3.3 Desarrollo del proceso de Carga	84
3.3.1 Modelado	86
3.3.2 Observaciones	87
3.3.3 Diagrama de conexión.....	88
3.4 Comprobación del modelo (validación)	90
3.4.1 Análisis de la actividad de clasificación como un sistema de colas	91
3.4.2 Formulación.....	92
3.4.3 Cálculo de Capacidad de servicio por simulación	96
3.4.4 Conclusiones	99

Capítulo 4.....	103
4.1 Resultados de la simulación.....	103
4.1.1 Escenario con menor número de llegadas por día.....	106
4.1.2 Escenario con el número más Probable de llegadas por día.....	107
4.1.3 Escenario con el mayor número de llegadas por día.....	108
4.1.4 Resultados para el modelo de carga.....	109
4.2 Análisis de los resultados.....	111
4.2.1 El modelo de la clasificación y descarga.....	111
4.2.2 El modelo de carga.....	113
4.3 Propuestas.....	114
4.3.1 Escenario con menor número de llegadas por día.....	114
4.3.2 Escenario con el número de llegadas más probable.....	116
4.3.3 Escenario con el mayor número de llegadas por día.....	117
4.5 Conclusiones.....	123
Anexo 1.....	126
Anexo 2.....	130
Pruebas de bondad y ajuste.....	130
Bibliografía:.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tiempos de descarga.....	43
Tabla 2.2 Tiempos de inspección.....	44
Tabla 2.3 Descripción de las operaciones del proceso de descarga.....	49
Tabla 2.4 Datos relevantes de llegadas.....	51
Tabla 2.5 Estimación de número de muelles a utilizar.....	52
Tabla 2.6 Comparativa del número de muelles a utilizar.....	52
Tabla 2.7 Casos a considerar para el número de muelles.....	53
Tabla 2.8 Medidas de elementos utilizados.....	54
Tabla 2.9 Descripción de las actividades del proceso de clasificación.....	58
Tabla 2.10 Velocidades de los elementos.....	58
Tabla 2.11 Descripción de las actividades del proceso de carga.....	59
Tabla 2.12 Velocidades de los elementos.....	59
Tabla 3.1 Configuración del modelo de descarga.....	65
Tabla 3.2 Tiempos de descarga vehículos nacionales.....	68
Tabla 3.3 Tiempos de descarga vehículos urbanos.....	69
Tabla 3.4 Configuración de zona de clasificación.....	74
Tabla 3.5 Configuración de la parte final de la zona de clasificación.....	84
Tabla 3.6 Configuración de zona de carga.....	90
Tabla 3.7 Análisis de ocurrencia.....	95
Tabla 3.8 Cajas clasificadas.....	97
Tabla 3.9 Cajas nacionales clasificadas.....	98
Tabla 3.10 Cajas urbanas clasificadas.....	99
Tabla 3.11 Comparación del número de cajas.....	99
Tabla 3.12 Llegadas de camiones según escenarios.....	103
Tabla 4.1 Resultados de la simulación del modelo de carga y clasificación.....	107
Tabla 4.2 Resultados del modelo de la finalización de la operación de clasificación.....	108
Tabla 4.3 Resultado del modelo con la mayor frecuencia de llegadas.....	108

Tabla 4.4 Resultados del modelo de finalización de la operación de la clasificación.....	109
Tabla 4.5 Resultados del modelo con mayor número de llegadas por día.....	109
Tabla 4.6 Resultados del modelo de finalización de la operación de la clasificación.....	110
Tabla 4.7 Resultados arrojados por el de Carga.....	111
Tabla 4.8 Resultados de la simulación.....	114
Tabla 4.9 Tiempos máximos obtenidos por simulación.....	114
Tabla 4.10 Datos para el proceso de Carga.....	115
Tabla 4.11 Escenario menor número de llegadas por día.....	116
Tabla 4.12 Número de llegadas por muelle.....	116
Tabla 4.13 Elementos necesarios para satisfacer el menor número de llegadas.....	116
Tabla 4.14 Escenario más probable.....	117
Tabla 4.15 Número de muelles necesarios para el escenario más probable.....	117
Tabla 4.16 Elementos necesarios para satisfacer el número de llegadas más probables.....	118
Tabla 4.17 Escenario con mayor número de llegadas por día.....	118
Tabla 4.18 Número de muelles necesarios para el escenario con mayor número de llegadas.....	119
Tabla 4.19 Elementos necesarios para satisfacer el número de llegadas más probables.....	119

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1.1. Operación básica de Cross Docking.....	13
Figura 1.2 Diseño básico de un Cedis.	15
Figura 1.3 Sistema de materiales por selección de productos.	17
Figura 1.4 Sistema de línea de remolque fija.	18
Figura 1.5 Operación de un Cross-Docking.....	22
Figura 1.6 Diagrama de flujo de proceso de simulación.....	29
Figura 1.7 Barra de tiempo y velocidad.	33
Figura 1.8 Tabla de elementos de Flexsim.....	34
Figura 2.1 Diagrama de proceso general.....	47
Figura 2.2 Zona de clasificación inicial.	55
Figura 2.3 Zona de clasificación mejorada.	56
Figura 2.4 Zona de clasificación mejorada.	56
Figura 2.5 Zona de clasificación mejorada	57
Figura 3.1 Diagrama de conexión del modelo de Descarga.....	63
Figura 3.2 Diagrama de flujo del descarga.	64
Figura 3.3 Elementos involucrados en la zona de la clasificación.....	72
Figura 3.4 Diagrama de flujo de la zona de clasificación.	73
Figura 3.5 Zona de clasificación modificada.....	76
Figura 3.6 Zona de clasificación modificada.....	77
Figura 3.7 Diagrama de conexión de zona de descarga y de clasificación unidas.....	80
Figura 3.8 Operación final dentro la zona de clasificación.....	82
Figura 3.9 Operación final dentro la zona de clasificación.....	83
Figura 3.10 Diagrama de operación final dentro la zona de clasificación.....	83
Figura 3.11 Diagrama de zona de carga.....	89
Figura 4.1 Layout del Cedis para atender el menor número de llegadas.....	121
Figura 4.2 Layout del Cedis para satisfacer el escenario más probable.....	122

Figura 4.3 Layout del Cedis para satisfacer el escenario de mayor demanda.....	123
--	-----

Índice de Gráficas

Gráfica 2.1 Frecuencia de llegadas vehículos grandes.....	50
Gráfica 2.2 Frecuencia de llegadas de vehículos urbanos.....	51
Gráfica 2.3 Frecuencia de llegadas totales.....	51
Gráfica 3.1. Tiempos de descarga.....	71
Gráfica 3.2 Tiempos de clasificación.....	75
Gráfica 3.3 Tiempo de clasificación.....	78
Gráfica 3.4 Frecuencia de cajas totales.....	98
Gráfica 3.5 Cajas Nacionales Clasificadas.....	99
Gráfica 4.1 Resultados del modelo de carga para la demanda menor.....	112
Gráfica 4.2 Resultados del modelo de carga para la demanda más Probable.....	113
Gráfica 4.3 Resultados del modelo de carga para la demanda mayor.....	113

I. Introducción

En este trabajo se desarrolla una simulación en un Centro de Distribución (CEDIS) de revistas mediante un sistema Cross-Docking, el objetivo en el CEDIS es redistribuir el producto recibido el mismo día para no generar inventario para el día siguiente. Debido a la combinatoria de configuraciones que se encuentran en el proyecto, la simulación es una opción viable para generar varias propuestas, analizar los escenarios generados y tomar una decisión con fundamentos

La información que se consideró para desarrollar este diseño es limitada puesto que este proyecto parte de un caso hipotético por tanto no incluye la medición de tiempos y movimientos. Lo que simplifica algunos aspectos y aumenta el nivel de complejidad en otros. Se cuenta con un paquete de información a partir del cual se generó el diseño resolviendo cualquier omisión por medio de la simulación.

Cabe mencionar que se utilizan herramientas de la ingeniería industrial con el fin de argumentar la elaboración del proyecto.

El capítulo uno, se enfoca a los centros de distribución y con más precisión al sistema Cross-Docking que nació por la necesidad de agilizar los procesos de entrega, reduciendo tiempo y distancias a recorrer. Se muestra que la simulación es una herramienta que permite una mejor configuración en el sistema Cross-Docking que se lleva a cabo en el CEDIS.

Se analizan las técnicas que se utilizan de ingeniería industrial, así como una introducción al software Flexsim® para resolver el caso de estudio.

En el capítulo dos, se plantean los requerimientos, la descripción del proyecto, se realiza la configuración de un centro de distribución con la ayuda de simulación en el software Flexsim®, definiendo sus características principales.

En el capítulo tres, se hace la simulación de planta para el centro de distribución, con el fin de lograr mayor eficiencia en el desempeño, y satisfacción de los requerimientos del proyecto.

Dada la complejidad del sistema a modelar, no se puede aseverar que sea la solución óptima pero se trata de aproximar a ella haciendo uso de conocimientos de ingeniería industrial.

En el capítulo cuatro, se dan a conocer los resultados obtenidos de la simulación y el análisis de escenarios, como conclusiones del proyecto.

II. Objetivo general

Generar una propuesta de configuración de planta determinando los recursos necesarios (Transpallet manuales, Transpallet eléctricos, Zonas de clasificación, muelles de carga y descarga, Número de brigadas de Descarga, número de operarios) para asegurar que todo el producto que se recibe al día se embarcado hacia su destino el mismo día de un CEDIS de cajas de revistas. Esto a través de la simulación con el software Flexsim®, utilizando una herramienta de distribución (Cross-Docking).

III. Objetivos específicos

- Utilizar conocimientos de ingeniería industrial para diseñar la configuración de planta de un CEDIS de cajas de revistas, optimizando la capacidad de operación.
- Por medio de Simulación en el software Flexsim® probar la efectividad del diseño para satisfacer los requerimientos de la operación y concluir acerca de los parámetros de operación del sistema.
- Determinar una distribución de planta que optimice la operación dentro del CEDIS
- A través de la simulación proponer recomendaciones generales de la operación del sistema.

IV. Alcance y limitaciones

Se diseña un Modelo de Simulación del layout del CEDIS y se analizan los resultados:

- Comparación de escenarios para proponer cual es el más redituable.
- Determinación de la distribución de planta

- Determinación de la cantidad de transpallets manuales y eléctricos, la cantidad de zonas de clasificación, el número de muelles de carga y de descarga.
- Nivel operativo del personal en la planta.
- Determinación de los indicadores de desempeño relevantes.
- Argumentación de la propuesta de configuración de operación.

El objetivo de la empresa es contar con la capacidad de distribuir revistas a lo largo del territorio nacional. El manejo de la operación es completamente manual.

Descripción actual de la operación

La operación inicia recibiendo a los proveedores de acuerdo a citas predefinidas, se considera que al quedar desocupado un muelle, haya un vehículo esperando para ser atendido de forma inmediata.

El proceso a grandes rasgos es el siguiente: Al liberarse un muelle, el vehículo se estaciona, el jefe de descarga revisa los documentos y autoriza la descarga, al tener los pallets en el piso se hace una revisión. Los pallets se envían a una zona de espera, después son llevados a zonas de clasificación donde los operarios van repartiendo las cajas de los pallets recibidos entre las rutas de acuerdo a los pedidos. Al consolidarse un pallet, se lleva a la zona de despacho correspondiente, se cubre con strech plástico y se lleva al muelle de despacho por el que saldrá. Llegan los vehículos de carga, se suben los pallets consolidados a los vehículos y cuando se termina de cargar el vehículo sale hacia su destino.

El siguiente esquema muestra el proceso básico de la operación dentro de la planta:

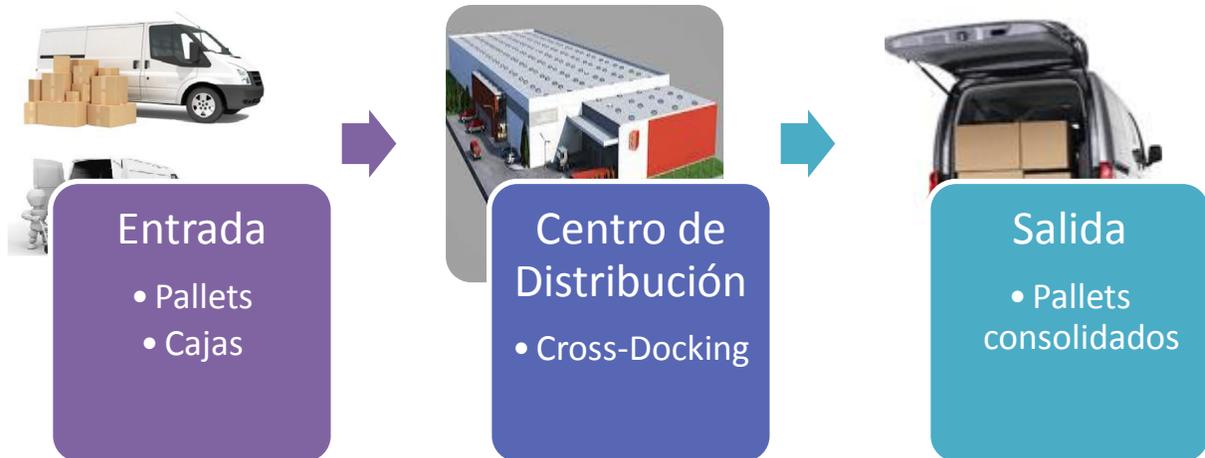


Figura 1.1. Operación básica de Cross-Docking. (Fuente: Elaboración propia con imágenes de Internet http://www.photaki.es/foto-los-trabajadores-de-carga-3d-cajas-a-una-camioneta_486510.htm, <http://www.infonegocios.biz/Nota.asp?nrc=24143&nprt=1>)

Debido a la complejidad del sistema y las múltiples combinaciones en la interrelación entre los elementos, se descarta la idea de usar técnicas de optimización, viendo la simulación como una gran alternativa para probar la efectividad del modelo.

Se utiliza la herramienta de software Flexsim®7.1.4 para modelar el sistema de servicio y a través de su representación virtual poder concluir acerca del sistema real. Dadas las circunstancias se realizan modelos para poder representar la operación; además a lo largo del proyecto se desarrollan modelos auxiliares que arrojan información importante de está. Antes de llegar a cada modelo final, se desarrollan los modelos auxiliares pertinentes.

Se explica la lógica del modelado y la parte práctica del mismo, además de cualquier aclaración necesaria para su comprensión.

Capítulo 1

Marco Teórico

Objetivo: Dar a conocer los conceptos necesarios involucrados en el proyecto, así como las herramientas de ingeniería industrial utilizadas para su resolución.

1.1 Centros de Distribución (CEDIS)

Los Centros de Distribución o CEDIS son instalaciones o lugares físicos para la colocación de materiales o productos con la función de coordinar los desequilibrios entre la oferta y la demanda, a veces incorporan valor agregado a través de actividades logísticas (cambio de formato, fraccionado, etiquetado, etc.) con una ubicación estratégica que facilita el traslado de insumos, se debe diseñar y equipar para las operaciones a realizar, básicamente la infraestructura tiene que responder y adaptarse a los procesos logísticos.

Los CEDIS son de gran ayuda porque disminuyen tiempo de llegadas y distancias a recorrer, sin embargo, si no se hace una planeación correcta en ellos se puede generar inventario, quitando espacio y agregando costos de almacenaje.

Ante estas cuestiones y en búsqueda de un menor tiempo de entrega, el sistema Cross-Docking, busca agilizar las operaciones en los CEDIS, teniendo como base una buena coordinación entre las áreas.

1.2 El diseño de la red de planta de un CEDIS

El diseño de un CEDIS debe considerar las características de flujo y movimiento de productos. Factores que se determinan durante el proceso de diseño son la cantidad de pisos que debe incluir la instalación, un plan de utilización del espacio cubico y el flujo de productos. El diseño ideal es un edificio de un solo piso que elimine la necesidad de mover productos en forma vertical, para facilitar el manejo de materiales. (D. Bowersox, D. Closs, M Cooper, 2007)

El diseño debe utilizar al máximo el espacio cúbico; sin embargo, se limita por las capacidades de elevación segura del equipo de manejo de materiales y el diseño de anaqueles.

El diseño del CEDIS debe facilitar el flujo continuo y directo de los productos por el edificio. El producto puede moverse dentro del almacén o se efectúe una recepción-entrega inmediata. Por lo general el producto se recibe en un extremo del CEDIS, se guarda en la zona intermedia y se embarca en el otro extremo.

La siguiente imagen muestra un diseño básico de un CEDIS, donde el flujo en línea recta de productos facilita la carga y descarga, al mismo tiempo minimiza la congestión y el manejo redundante.

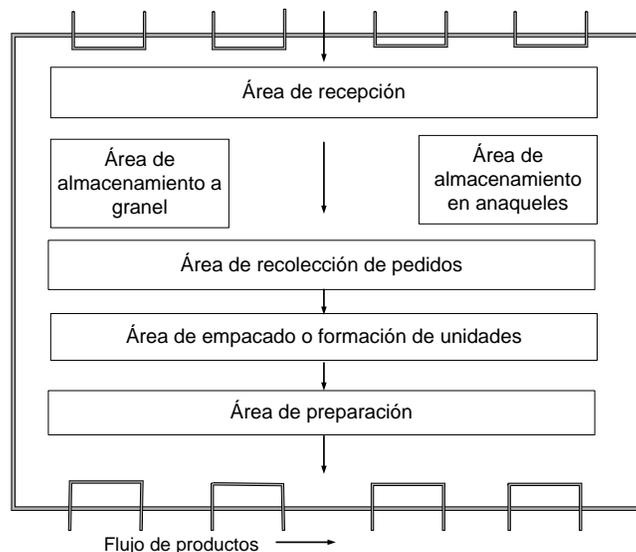


Figura 1.2 Diseño básico de un Cedis. (Fuente: Bowersox, 2007).

El diseño y operación de un almacén dependen del tipo de producto, cada producto debe analizarse en términos de ventas, demanda, peso, volumen y empaque. Es importante determinar el tamaño total, el espacio cúbico y el peso del pedido promedio que se procesa en el CEDIS, estos datos aporta la información necesaria para determinar el espacio, el diseño, distribución, equipo de manejo de materiales, procedimientos operativos y los controles. (D. Bowersox, et al.,2007)

Debido a que los CEDIS son cada vez más importantes en las redes de cadena de suministro, su expansión futura debe considerarse durante la fase inicial de su planificación, el diseño del edificio también debe atender su expansión a futuro.

Un sistema de manejo de materiales es el principal factor para diseñar el CEDIS, ya que sus funciones principales son el movimiento y el surtido de productos, por esto el CEDIS se considera una estructura diseñada para facilitar el flujo de productos. Por lo tanto el layout de un CEDIS se planifica para que satisfaga estos requerimientos. Se debe poner atención especial en la ubicación, la cantidad y el diseño de los andenes de carga-descarga.

Es difícil plantear un layout general de un CEDIS porque suelen personalizarse para atender requerimientos específicos de manejo de productos, si se utilizan pallets se debe determinar el tamaño adecuado, entre más grande la carga del pallet, más bajo el costo del movimiento por kilogramo o paquete por una distancia determinada. El análisis de cajas de productos, esquemas de apilamiento y las prácticas de la industria determinan el tamaño de pallets más funcional para la operación, planificar la disposición del almacén tiene que ver con el posicionamiento de los pallets. . (D. Bowersox, et al.,2007).

La colocación de productos específicos en lugares determinados se denomina asignación de cajones.

La ruta y el tiempo de flujo de productos dependen del sistema de manejo de materiales.

Para ejemplificar se muestran dos diferentes tipos de sistemas de manejo de materiales con sus respectivos layouts.

La siguiente imagen muestra en forma simplificada un sistema de materiales por selección de productos que utiliza montacargas para introducir y transferir el inventario. El plano del piso de este layout es aproximadamente cuadrado lo que proporciona la mejor estructura para la eficiencia operativa general.

El propósito es minimizar la distancia a recorrer de quienes recolectan los pedidos.

En este sistema se reciben los productos y se llevan al área de almacenamiento, (área específica del almacén para la recolección pedidos), después pasan al área de selección donde se recolectan los pedidos, dentro de esta área se posicionan los productos dependiendo su peso, volumen, demanda y velocidad de arrastre para minimizar el movimiento hacia la salida.

Las flechas indican la dirección del flujo dentro del sistema.

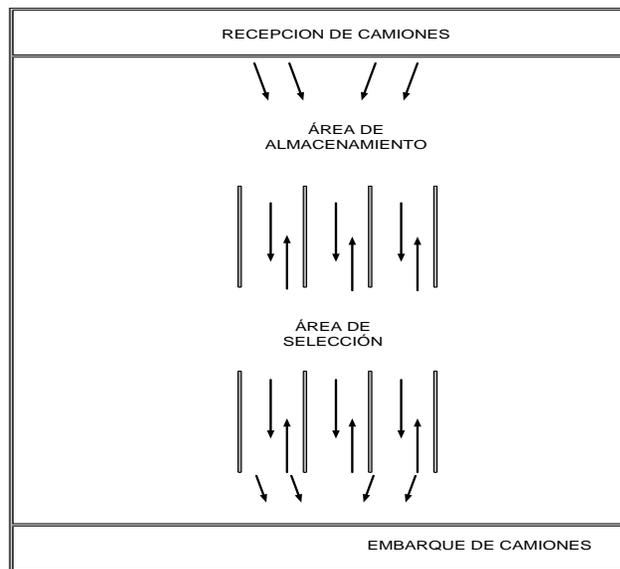


Figura 1.3 Sistema de materiales por selección de productos. (Fuente: Basado en Bowersox, 2007).

El siguiente plano muestra un sistema de línea de remolque fija, se emplea un plano del remolque para la selección de pedidos. El plano es rectangular, utiliza una línea de remolque de movimiento continuo, el área de selección compacta es reemplazada por la selección de pedidos directamente del almacenamiento.

Los productos van de las áreas de recepción a las posiciones de almacenamiento junto a la línea de remolque, después se seleccionan los pedidos directamente del almacenamiento y se cargan en transportes individuales mediante la línea de remolque. La mercancía se almacena o se posiciona para minimizar los movimientos hacia adentro del CEDIS.

La debilidad de este sistema es que la selección de productos tiene la misma velocidad y frecuencia por lo que no considera las necesidades especiales de los productos con mayor flujo o demanda.

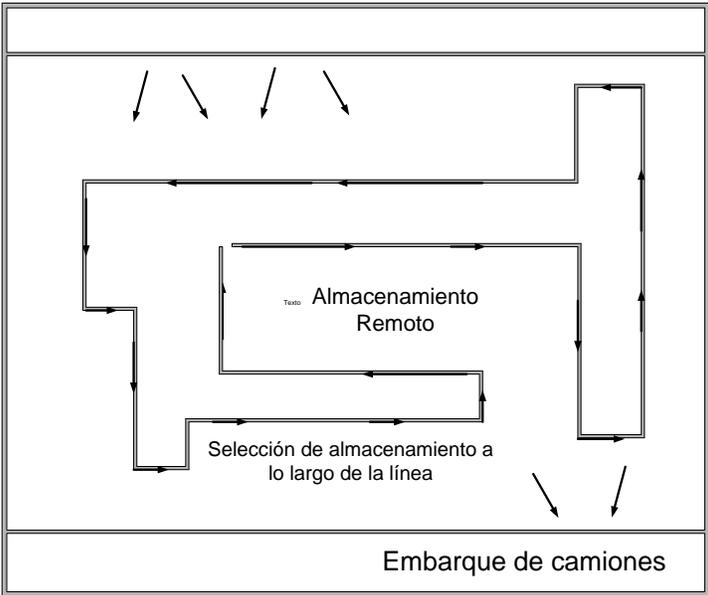


Figura 1.4 Sistema de línea de remolque fija. (Fuente: Basado en Bowersox, 2007).

Para determinar el tamaño ideal de un CEDIS se inicia con una proyección del volumen total que se espera mover dentro de éste durante un periodo determinado, con esto se estiman las existencias básicas y de seguridad para

cada producto que pasará por el éste. Una buena regla es incorporar un 10 % de espacio adicional considerando el aumento de volumen, nuevos productos y nuevas oportunidades de negocio. (D. Bowersox, et al., 2007)

1.3 La importancia de distribución de instalaciones

La distribución de instalaciones establece las prioridades competitivas de la organización en relación con la capacidad, los procesos, la flexibilidad y el costo, igual que con la calidad de vida en el trabajo, el contacto con el cliente, y la imagen. Una distribución eficiente puede ayudar a una organización a lograr una estrategia que apoye la diferenciación, el bajo costo o la respuesta rápida y entrega precisa. (Heizer, Render, 2009, p.348)

El objetivo de la estrategia de distribución es desarrollar una distribución efectiva y eficiente que cumpla con los requerimientos competitivos de la empresa.

En todos los casos, el diseño de la distribución debe considerar la manera de lograr lo siguiente:

- Mayor utilización de espacio, equipo y personas.
- Mejor flujo de información, materiales y personas.
- Mejor ánimo de los empleados y condiciones de trabajo más seguras.
- Mejor interacción con el cliente.
- Flexibilidad (cualquiera que sea la distribución actual, deberá cambiar).

Los CEDIS deben ser dinámicos, una distribución flexible permite hacer cambios rápidos y sencillos por lo que es de gran utilidad tener equipos pequeños y móviles. Otra acción que genera una ventaja competitiva es capacitar al personal en forma cruzada para que realicen funciones multidisciplinarias y dar mantenimiento al equipo, estas tareas mantienen las inversiones bajas, y permiten

estaciones de trabajo unificadas, trayendo beneficios en la organización. (Heizer, et al. 2009)

1.4 Tipos de distribución

Una distribución planeada facilita el flujo de materiales, personas e información entre las áreas. Para lograr estos objetivos, se han desarrollado varios métodos, dependiendo el uso, por ejemplo:

Distribución de oficina: Ubica a los trabajadores, equipos de trabajo, y espacios en la oficinas que proporcionar un efectivo flujo de información.

Distribución de tienda: Asigna espacio en anaqueles, con ayuda de la mercadotecnia, clasifican y separan productos, siguiendo las necesidades del cliente.

Distribución de almacén: Aborda los intercambios que se dan entre espacio y manejo de materiales, son de gran importancia en la cadena de suministro.

Distribución de posición fija: Estudia los requerimientos de distribución de proyectos grandes y voluminosos, como barcos y edificios, en donde todo se moviliza hacia el punto a tratar.

Distribución orientada al proceso: Trata la producción de bajo volumen y alta variedad (también llamada “taller de trabajo” o producción intermitente), se especializa en los detalles.

Distribución de célula de trabajo: Acomodo de equipo y maquinaria para enfocarse en la producción de un solo producto o de un grupo de productos relacionados.

Distribución orientada al producto: Busca la mejor utilización de personal y maquinaria en la producción repetitiva o continúa.

Éste estudio se enfoca en la distribución de almacén, si desea profundizar en los tipos de distribuciones, el tema completo se encuentra en el libro principios de administración de operaciones. (Heizer, et al, 2009).

1.5 Distribuciones de almacenes

La tarea de la distribución de almacenes es maximizar la utilización total del almacén es decir, usar todo su volumen mientras mantiene bajos los costos por manejo de materiales, teniendo como objetivo encontrar el intercambio óptimo entre los costos del manejo y los costos asociados al almacén. (Heizer, et al, 2009, p.353).

Comprende el transporte de entrada, almacenamiento, y transporte de salida de los materiales que se almacenarán. Los costos incluyen equipo, personal, material, supervisión, seguros y depreciación. Una distribución de almacén efectiva minimiza los daños y desperdicios de material dentro del almacén.

Un almacén que guarda pocos artículos permite mayor densidad que uno que almacena toda una variedad. La administración de almacenes moderna utiliza un procedimiento de sistemas de almacenamiento automatizados (ASRS por sus siglas en ingles Automated Storage and Retrieval System).

Un componente importante de la distribución de un almacén es la relación que hay entre el área de recepción y descarga y el área de embarque y carga. El diseño de la instalación depende del tipo de artículos que se descargan, de dónde se descargan (camiones, vagones, montacargas, etc.), y del sitio al que se descargan.

1.5.1 Cross-Docking (Almacenamiento cruzado)

El almacenamiento cruzado significa evitar la colocación de materiales o suministros en el almacén al procesarlos conforme se reciben. En un CEDIS con sistema Cross-Docking, las cargas etiquetadas y seleccionadas llegan al muelle de recepción e inmediatamente se redirigen, lo que evita la recepción formal, el almacenamiento y registro, y las actividades de pedido-selección. (Heizer, et al, 2009, p.354). Como estas actividades no agregan valor al producto, su eliminación significa ahorrar un 100% en costos de almacenaje. Aunque el almacenamiento cruzado reduce el manejo de productos, el inventario y los costos de las instalaciones, requiere una programación estricta e identificación precisa de los productos entrantes.

Los objetivos del Cross-Docking son eliminar el almacenamiento, eliminar el manejo de materiales, minimizar tiempos de ejecución, costos de transporte y almacenaje y al mismo tiempo mantener el nivel de servicio.

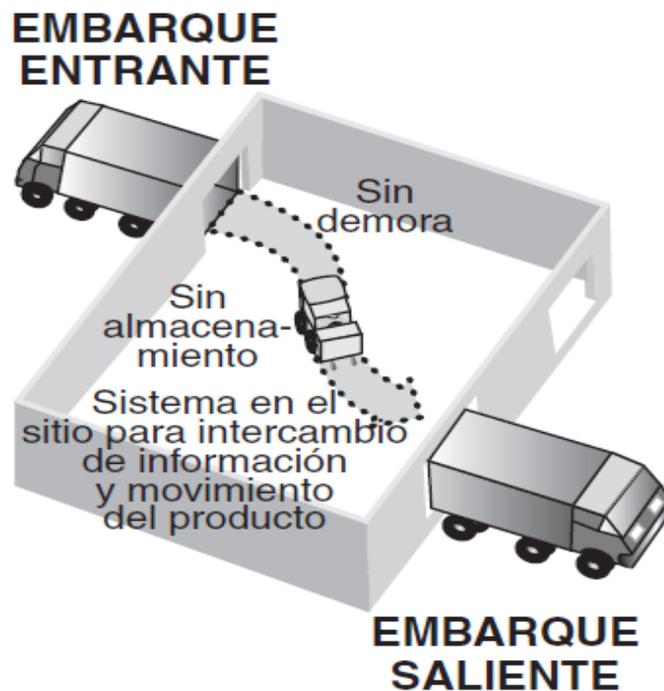


Figura1.5 Operación de un Cross-Docking. (Fuente: Basado en Heizer, 2009).

En el ambiente competitivo, el Cross-Docking se está convirtiendo en el método de distribución y almacén más aceptados en los CEDIS y ha evolucionado

especialmente en la industria al menudeo. Actualmente el Cross-Docking ha sido adoptado por casi todas las cadenas de venta al por menor en Japón (Usui, 2003).

Se puede identificar un sistema Cross-Docking por que cuenta con las siguientes características:

- El tiempo de almacenamiento en la ubicación debe ser menor a 24 horas.
- Al recibir la mercancía, se envía o se lleva directamente a la entrada del sistema productivo.
- Se tiene un efectivo intercambio de información.

El Cross-Docking se clasifica en:

Cross-Docking Consolidado: En el Cross Docking Consolidado las unidades logísticas se reciben y de inmediato son enviadas a un área de preparación en un centro de distribución en el cual se organizarán constituyendo nuevas unidades logísticas para ser enviadas a diferentes puntos de destino.

Cross-Docking Predistribuido: En un Cross Docking Predistribuido las unidades ya se encuentran organizadas por quien las provee de acuerdo con sus puntos de entrega, por lo cual estas son recibidas y movidas hacia la salida, donde se encuentran con unidades similares de diferentes proveedores listas para ser entregadas. Este modelo es el más básico de aplicar, dado que las unidades no requieren de manipulación alguna adicional.

El caso de estudio es un sistema Cross-Docking Consolidado porque el sistema busca que no se genere inventario y como llega el producto se redistribuye en nuevas unidades a los diferentes destinos.

1.5.2 Almacenamiento aleatorio

Los sistemas de identificación automatizada (AIS, por sus siglas en inglés: Automatic Identification System), casi siempre en la forma de código de barras,

permiten la identificación rápida y precisa de los artículos. Cuando los sistemas de identificación automatizada se combinan con sistemas efectivos de información administrativa, los administradores de operaciones conocen la cantidad y la ubicación de cada unidad. Esta información se utiliza con operadores humanos o con sistemas de almacenamiento y recuperación automatizados a fin de cargar unidades en cualquier parte del almacén en forma aleatoria. Las cantidades y ubicaciones precisas de los inventarios significan la utilización potencial de toda la instalación debido a que el espacio no necesita reservarse para ciertas unidades de conservación en almacén (SKUs, por las siglas de Stock-Keeping Units) o para familias de partes. Los sistemas computarizados de almacenamiento aleatorio a menudo incluyen las siguientes tareas:

- Mantener una lista de lugares “vacíos”.
- Mantener registros precisos del inventario existente y de su ubicación.
- Poner en secuencia los artículos de los pedidos para minimizar el tiempo de traslado requerido para “recoger” pedidos.
- Combinar pedidos para reducir los tiempos de recolección.
- Asignar ciertos artículos o clases de artículos, como los de alto uso, a áreas particulares del almacén para minimizar la distancia total recorrida.

Los sistemas de almacenamiento aleatorio pueden incrementar la utilización de las instalaciones y disminuyen el costo por mano de obra, pero requieren registros precisos.

1.5.3 Almacenamiento personalizado

Aunque en la mayoría de las ocasiones se espera que los almacenes guarden el menor número de unidades posible durante el menor tiempo posible, en este caso se pide al almacén que personalice los productos, se aplaza un poco el tiempo pero se aprovecha que los almacenes son lugares donde puede agregarse valor al producto a través de la personalización. (Heizer, et al, 2009)

La personalización que se hace en los almacenes es una forma particularmente útil de generar una ventaja competitiva en mercados donde los productos cambian con rapidez. Los almacenes también pueden proporcionar a los comerciantes etiquetado y empaque personalizado para que los artículos lleguen listos para su exhibición.

Estas actividades dan valor agregado en este tipo de almacenes y contribuyen a mejorar las estrategias de personalización, costo bajo y respuesta rápida.

1.6 Requerimientos para una buena distribución

Equipo para el manejo de materiales: Es el equipo que se va a utilizar, incluye bandas, grúas, sistemas de almacenamiento y recuperación automatizados, y carritos automáticos o manuales para entrega y almacenamiento de material.

Requerimientos de capacidad y espacio: Al conocer las necesidades de personal, maquinaria y equipo, es posible proceder con la distribución y proporcionar espacio para cada componente. Por ejemplo, en el caso del trabajo de oficina, se deben considerar los requerimientos de espacio para cada empleado. Puede ser un cubículo de 6x6 pies más una holgura para pasillos, pasadizos, baños, cafeterías, rampas y elevadores, etc., o espaciosas oficinas para ejecutivos y salas de conferencias.

Es necesario considerar holguras para los requerimientos que tienen que ver con la seguridad, el ruido, el polvo, el humo, la temperatura y el espacio necesario alrededor del equipo y las máquinas.

Entorno y estética: La distribución también requiere tomar decisiones acerca de ventanas, plantas y altura de las divisiones para facilitar el flujo de aire, reducir el ruido, luz, brindar privacidad, etcétera, con el fin de adecuar la atmósfera de trabajo.

Flujos de información: La comunicación es importante para cualquier organización y la distribución debe facilitarla. Este aspecto puede requerir tomar decisiones tanto acerca de la proximidad como de espacios abiertos y divisiones a media altura y oficinas privadas.

Costo de desplazarse entre diferentes áreas de trabajo: En caso de haber consideraciones únicas relacionadas con el movimiento de materiales con un manejo específico o con la importancia de que ciertas áreas estén cerca de otras. Por ejemplo, es más difícil transportar acero fundido que acero frío.

1.7 Simulación

La simulación es una imitación de la operación de un proceso en el mundo real o de un sistema a través del tiempo. Ya sea manual o con ayuda de un software, la simulación implica la generación de una historia artificial de un sistema y la observación de las inferencias que se generan en la historia artificial concernientes a las características de operación del sistema real. (Banks, 1984).

La simulación puede ser usada también para estudiar sistemas en la etapa de diseño, antes de que los sistemas sean construidos. Así los modelos de simulación se usan tanto como una herramienta para el análisis para predecir efectos de cambios en el sistema, así como una herramienta en el diseño para predecir el rendimiento del nuevo sistema bajo un conjunto de circunstancias. (Banks, 1984).

La simulación es un método numérico que permite imitar el comportamiento de un fenómeno de la vida real. Este involucra la formulación de un modelo que genera datos artificialmente. El análisis de dichos datos permite obtener inferencias sobre las características del fenómeno estudiado (Banks, 1998). Esto permite experimentar escenarios pero infiere que el método no sea exacto.

La experimentación de escenarios es una de las cualidades primordiales de la simulación; esta permite probar cambios dentro de un sistema sin la necesidad de alterarlo en la vida real y es capaz de alterar virtualmente el tiempo en el modelo para visualizar eventos del sistema (Banks, 1998).

Experimentar escenarios facilita conocer el comportamiento del sistema bajo condiciones extremas.

Cabe destacar que la simulación no es un método exacto, ya que opera con datos artificiales, es decir, que los resultados de simulación están sujetos a números aleatorios (Taha, 2011) por lo tanto, la simulación no puede ser utilizada como una técnica de optimización por sí misma. Lo anterior provoca que la interpretación de datos de la simulación sea una tarea complicada, ya que los datos pueden por un lado, brindar información sobre el sistema real, o por el contrario, brindar datos no significativos (Banks, 1998).

La simulación es una herramienta versátil que sirve para analizar fenómenos complejos. Permite el análisis del sistema real a través de un modelo que puede ser manipulado para su experimentación. Sin embargo, los métodos de simulación pueden ser inadecuados cuando un modelo analítico es mejor; dado que los métodos de simulación actúan con variables aleatorias. Por este motivo, es necesario saber qué tipo de simulación es adecuada de acuerdo con la naturaleza del sistema analizado.

Existen dos tipos de simulación: la simulación de sistemas continuos y la simulación de eventos discretos.

1.7.1 Simulación de sistemas continuos

Un modelo de simulación continuo utiliza variables que cambian constantemente en el tiempo. Las variables interpretan el estado del sistema y se pueden definir por las siguientes funciones (Banks, 1998):

- Funciones explícitas, ejemplo: $y = f(x, t)$,
- Funciones recursivas, ejemplo: $y_{n+1} = ay_n + bu_n$,
- Ecuaciones diferenciales, ejemplo: $\frac{dy}{dt} = f(x, t)$.

Los resultados de este tipo de modelos se obtienen de calcular los valores de las variables de estado (las variables dependientes) a través de diferentes puntos en el tiempo (la variable independiente). Por ejemplo, si el sistema estudiado es un vehículo en movimiento; una variable de estado es el punto donde se encuentra, este dato cambia continuamente con el tiempo.

1.7.2 Simulación de eventos discretos

Un modelo de simulación de eventos discretos es aquel en donde sus variables dependientes cambian solamente en distintos puntos de tiempo simulado; por ejemplo, la llegada de un cliente a una terminal de servicio, la llegada de materia prima a una máquina de producción, etc.

Para hacer un modelo de simulación con estas cualidades no existe una metodología definida. Pero podemos mencionar pasos fundamentales en el momento de la realización. La figura 1.6 ilustra las partes principales en el desarrollo de un modelo de simulación.

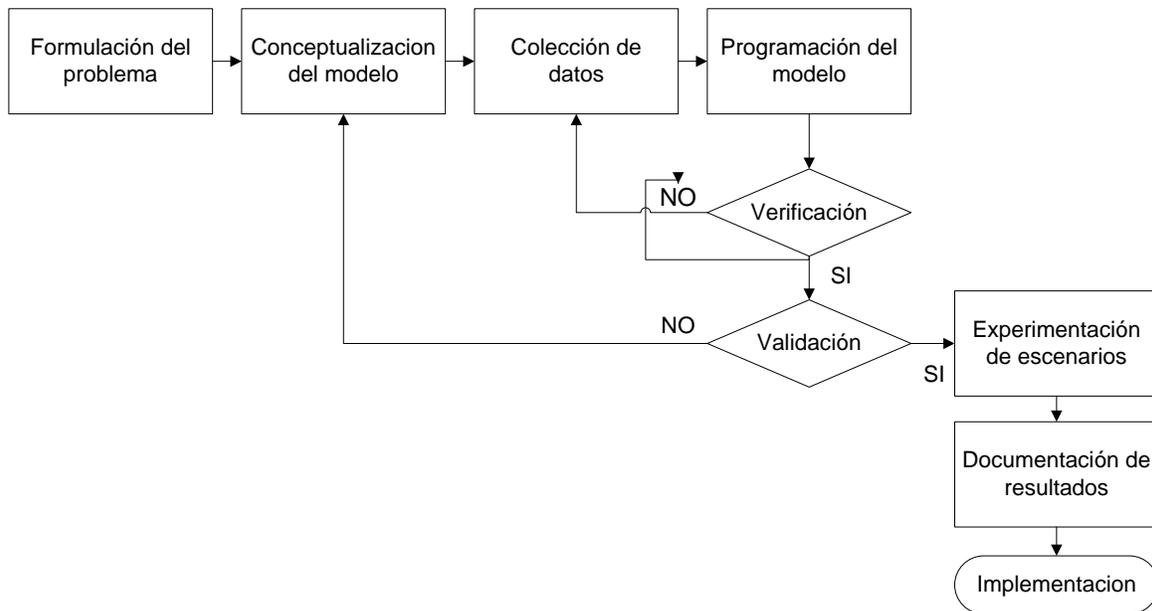


Figura 1.6 Diagrama de flujo de proceso de simulación basado en el libro (Banks,1998).

En seguida se describen los pasos del desarrollo de un modelo de simulación:

1. Formulación del problema. Al comenzar una simulación es necesario formular detalladamente la incógnita que se quiere resolver y tener claramente identificados los objetivos del estudio.
2. Conceptualización del modelo. En esta etapa se identifican las relaciones lógicas y matemáticas que tienen los elementos del sistema que se desea reproducir. Es recomendable comenzar con una interpretación simple y a medida que se avanza, se aumenta el nivel de complejidad.
3. Colección de datos: Los datos señalan las relaciones entre los elementos del sistema y exponen el comportamiento del mundo real.
4. Codificación del modelo. En este paso se hace la programación del modelo matemático a instrucciones ejecutables por computadora, con el propósito

de que la herramienta realice las operaciones complejas necesarias para la simulación.

5. Validación. Después de la codificación se necesita validar que los resultados arrojados por el programa concuerden con el sistema real. Este paso es importante para probar que los datos son útiles y pueden ser usados para la experimentación y el análisis de resultados.
6. Experimentación. En este paso se plantean variados escenarios que permiten la experimentación con los datos y el funcionamiento del sistema.
7. Resultados. El análisis de los experimentos genera un conjunto de resultados que ayudan a comprender el funcionamiento del sistema real, inclusive pronosticar comportamientos del sistema bajo condiciones extremas.
8. Implementación. El modelo se adapta para ser utilizado formalmente para su propósito durante su tiempo de vida (el tiempo en el que el modelo es válido)

1.8 Modelo de simulación

Un modelo de simulación es una representación de un sistema físico real, el cual es susceptible de reproducir las características del sistema que representa, siempre y cuando este bien planteado. Se realiza para poder concluir acerca del sistema y poder analizarlo sin llegar a tener que influir en él, solo manipulando el modelo.

Puede representar un sistema productivo o de servicio en toda su extensión, un subsistema que está dentro del mismo, una actividad que se realiza dentro del sistema, un departamento de una empresa, un proyecto que aún no se establece físicamente, etc. Todo esto va regido por los intereses de quién genera el modelo

y las conclusiones a las que quiere llegar. Se analiza el comportamiento de un cierto sistema y sus efectos sobre su entorno.

El modelo toma la forma de un conjunto de suposiciones de la operación del sistema, estas suposiciones son expresadas de manera matemática, lógica y las relaciones simbólicas entre las entidades u objetos de interés en el sistema, (Banks, 1984).

Una vez desarrollado y validado, el modelo de simulación puede ser usado para la investigación a lo largo de una variedad de preguntas acerca del sistema del mundo real.

Algunos modelos pueden resolverse con modelos matemáticos, sin embargo, muchos sistemas en el mundo real son tan complejos que los modelos de estos sistemas son prácticamente imposibles de resolver matemáticamente. En estos casos la simulación es usada para imitar el comportamiento del sistema a través del tiempo. De la simulación se recolectan datos como si se estuviera observando un sistema real y los datos generados de la simulación son usados para estimar el rendimiento del sistema. (Banks, 1984)

1.9 Flexsim®

Flexsim® es un software de simulación para eventos discretos, es decir, modela sistemas que cambian su estado conforme al tiempo y los evalúa en un punto determinado del tiempo. La simulación en Flexsim® permite visualizar en tres dimensiones sistemas productivos o de servicio, para ayudar a tomar decisiones de manera práctica y ayudan en el análisis de sistemas reales. Es posible hacer pruebas y cambios de diferentes escenarios y condiciones en operaciones y procesos de producción, logística, manejo de personal, manejo de material, probando rápidamente escenarios para encontrar la forma más eficiente de trabajar, ahorrando costos y tiempos si esto se experimentara en el mundo real y analiza costo beneficio conociendo si la evaluación es conveniente.

Por su ambiente gráfico, en Flexsim® es posible la construcción de modelos complejos sin la necesidad de programar y es fácil identificar cuellos de botella, medir el nivel de servicio, definir capacidades, balanceo de líneas, encontrar el nivel óptimo de inventario y diseñar el layout, así como probar cualquier combinación.

1.9.1 Aplicaciones en el software Flexsim® para el caso de estudio

- Problemas de servicio. Satisfacer al cliente cumpliendo con los requerimientos de Cross-Docking.
- Problemas de logística. Analizar el transporte de la empresa que consistía en llegada y salida de material en tiempos establecidos. En el sistema se engloba el diseño de planta, la maquinaria, y mano de obra requerida, al menor tiempo.
- Reducir tiempo de espera y tamaño de las colas. Plantear estrategias para eliminar tiempos de espera y cuellos de botella.
- Asignar recursos de manera eficiente. Asignar estratégicamente el número de operadores y equipo necesario para satisfacer la demanda requerida.
- Determinar tiempo estándar de la operación. Analizar el tiempo del proceso en un día promedio.
- Optimizar priorización y despacho de bienes y servicios. Programar elementos con los requerimientos necesarios según el cliente.

1.9.2 Instrucciones generales para ejecutar la simulación

Para iniciar la simulación del modelo construido en Flexsim® y observar su comportamiento en el tiempo.

1.-En las esquina superior izquierda bajo los submenús de la ventana principal se encuentra el botón Reset, se da clic con el ratón sobre él para restablecer las características de todos los elementos a un punto cero en el tiempo. Se debe hacer esto antes de ejecutar cada simulación nueva, que se quiera iniciar desde que el primer Flowitem entra al sistema.

2.-Para empezar a correr el modelo se da clic con el ratón en el botón Run, situado a la derecha del botón Reset.

3.-Para detener el modelo se presiona el botón Stop, que queda justo a la derecha del botón Run.

4.- La velocidad a la que avanza la simulación puede ser modificada, a manera de representar varias horas o ciclos de trabajo en minutos o segundos. Esto se hace modificando el Campo

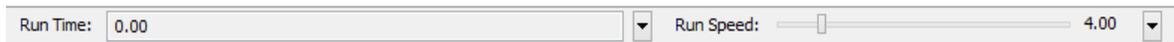
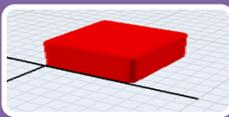


Figura 1.7 Barra de tiempo y velocidad. (Fuente: Elaboración propia. Impresión de pantalla Flexsim).

Run speed, moviendo el indicador de velocidad podemos modificar la velocidad de simulación. El campo Run time muestra el tiempo transcurrido en el modelo.

Los objetos usados para representar instalaciones, procesos, filas de espera, actividades, almacenajes y cualquier elemento de un sistema productivo son los siguientes.

1.9.3 Elementos para programar en Flexsim



Flow-item/ Elemento de Flujo.

Son los elementos en movimiento dentro del proceso, puede representar cualquier forma como cajas, palletis, cilindros, etc. Dependiendo del proceso a simular.



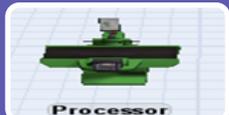
Source/Inicio/Entrada Source/Inicio/Entrada

Elemento de Flexsim que genera los Flowitems, representan las entradas al sistema a lo largo del modelo por ejemplo las llegadas de materia prima, arribos de clientes, entrada de llamadas, etc. Es una fuente de la que manan los entes que recorrerán el modelo.



Queue/ Filas de espera

Este elemento Representa la estadía de los Flowitems en un lugar físico o en caso de ser intangibles la espera antes de algún transporte, proceso, almacenamiento o revisión



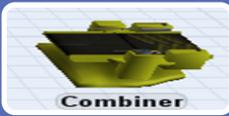
Processor/ Procesador

Simbolizan cualquier tipo de actividad realizada sobre los flowitems sirve para estimar los tiempos en que se incurre en esta actividad. Puede simbolizar tareas de diferente naturaleza.



Sink/ Salida

Simbolizan las salidas de los flowitems del modelo, cualquier Flowitem enviado a un Sink saldrá del modelo de manera definitiva



Combiner/Combinador

Simula la unión de flowitems, puede ser el proceso de unión física de dos o más componentes de un producto o la posibilidad de juntar varios flowitems para empaque



Dispatcher/Despachador

Mandan una señal a los operadores para que acudan al lugar requerido



Operator/ Operario

Persona que controla el flujo de materiales durante el porceso.



TaskExecutor/ Traspallet manual

Medio de transporte manual para llevar flowitems de un objeto a otro.



Transporter/ Traspallet eléctrico

Medio de transporte electrico para llevar flowitems de un objeto a otro.

Figura 1.8 Tabla de elementos de Flexsim. (Fuente: Elaboración propia con imágenes de Flexsim).

1.10 Análisis por escenarios

Un escenario es una descripción de un posible suceso. Afianzan la toma de decisiones y puede ilustrar la función de las actividades humanas en la definición del futuro y los vínculos entre problemas de patrones de consumo, el cambio medioambiental y los impactos humanos.

El diseño de un escenario abarca aspectos como la magnitud y la profundidad del análisis, así como el alcance de los datos cuantitativos y cualitativos usados.

Aun teniendo información precisa, los sistemas complejos tienen comportamientos inestables siendo muy sensibles generando errores en puntos críticos, lo que hace imposible la predicción. Además, es imposible conocer el futuro, ya que existen variables que no se pueden controlar. Ante tal incertidumbre, el análisis de escenarios ofrece un medio para explorar diversas alternativas de largo alcance, la incertidumbre acerca del futuro aumenta de manera proporcional a lo lejos que este el presente. (Raskin, 2002).

Los escenarios incluyen una interpretación del presente, una visión a futuro y un recuento de la trayectoria entre el presente y los futuros posibles. Pueden incluir representaciones cualitativas y cuantitativas. Los escenarios exploran vías que llevan a resultados concretos, sean deseables o no. Lo más importante es que la visión que aportan es relevante para las decisiones que se toman hoy.

En el proceso para aclarar la evolución de las situaciones y sus efectos, los escenarios pueden ser fuente de inspiración de ideas creativas.

Los escenarios pueden cumplir diversos propósitos, entre ellos:

- Ayudar a reconocer problemas.
- Evitar que las situaciones nos tomen por sorpresa, “adelantarse al futuro”.
- Tomar mejores decisiones.
- Probar la solidez de las estrategias mediante preguntas tipo “¿qué pasaría si...?”

- Disponer de un lenguaje común.
- Estimular el debate y el pensamiento creativo.

El objetivo del análisis de escenarios es contar con un apoyo fundamentado para la toma de decisiones.

1.11 Balanceo de líneas

Cuando un proceso que consta de operaciones consecutivas que se realizan por unidades independientes o estaciones; es importante tomar en cuenta la relación que estas guardan. En ciertos casos algunas operaciones no puede iniciarse hasta que la anterior sea concluida. Este caso se presenta cuando algunos de los componentes producidos en la actividad anterior son materia prima para la consecuente.

También se puede dar el caso que el flujo sea de un solo elemento. De esta manera hay actividades dependientes de otras pero también se puede presentar el caso de actividades independientes entre sí.

Una línea de operación balanceada sugiere que todas las actividades tardan en promedio el mismo tiempo en ejecutarse de manera que la materia en proceso no tenga que esperar para ser procesada y las estaciones de las operaciones no tengan tiempo ocioso. De esta manera reduciendo el tiempo que la materia prima espera a ser procesada se reduce el tiempo total que pasará está en la línea de producción. Hay que tomar en cuenta que una línea de producción balanceada no necesariamente está efectuando las operaciones individuales de manera óptima, pero si reduce el tiempo que la materia prima pasa esperando a ser procesada.

1.12 Teoría de colas

Es la disciplina o campo de conocimiento que estudia el comportamiento de la espera en sus distintas modalidades dentro de los sistemas de operación o

servicio. Utiliza modelos de colas que representan sistemas de líneas de espera; a partir de fórmulas y planteamientos se puede predecir el comportamiento de tales sistemas. La administración de la espera resulta fundamental para balancear los sistemas productivos y de servicio, ya que la reducción de la espera implica inversión en instalaciones, operarios, sucursales, servidores, etc. Por ello, se deben equilibrar la espera promedio en fila y el costo de operación e inversión en el sistema.

Los elementos principales en un sistema de colas se exponen a continuación:

Los clientes: aquellos objetos concretos o abstractos que requieren el servicio.

La fuente de entrada: un ente imaginario que genera los clientes que entraran al sistema a través del tiempo.

Según la cantidad de clientes potenciales que pueden entrar al sistema una fuente puede ser limitada (cuando el número de clientes es finito) o ilimitada (cuando el número de clientes es infinito). Se representa con una distribución de probabilidad la forma en que llegan los clientes en el tiempo.

La cola: la línea de espera, será el conjunto de clientes que esperan para que se les brinde el servicio.

La disciplina de la cola: es el criterio de selección de los clientes dentro de la cola para brindarles el servicio. Puede ser de varios tipos, como el primero en llegar el primero en ser atendido, el último en llegar el primero en recibir el servicio, o tomar en cuenta características de los clientes para hacerlos esperar menos, etc.

Mecanismo de servicio: En el funcionamiento de un modelo básico de colas los clientes se generan en la fuente pasan a formar parte de la cola, luego son tomados de ella de acuerdo a la disciplina de la cola para brindarles el servicio mediante la mecánica de servicio, posteriormente salen del sistema.

Hay que aclarar que los conceptos parecen referidos a un sistema de servicio pero las etiquetas pueden referirse a cualquier operación por ejemplo un cliente

puede ser un auto que se está ensamblando o una silla que se está manufacturando y el servicio puede representar cualquier operación dentro de un proceso productivo.

Es posible adaptar esta teoría tanto en líneas de espera dentro de procesos productivos como procesos de servicio. En general los conceptos de un modelo de colas son abstractos, a veces pueden quedar aplicados sobre espacios u objetos concretos, pero esto no es de manera obligatoria.

Todos estos conceptos acerca de los sistemas de colas se utilizan para generar análisis del comportamiento del sistema a través del tiempo aplicando diferentes tipos de ecuaciones según sea el caso. Siempre y cuando el sistema permanezca simple es recomendable aplicar una resolución al sistema conceptualizándolo como un sistema de colas.

Cuando el sistema empieza a crecer y se vuelve más complejo es recomendable acudir a un software de simulación que alimentado con los datos correctos, dará una solución de manera más práctica y rápida. Pero es a través de los conceptos de teoría de colas que se establece el panorama de análisis, para poder representar el sistema real a través de un modelo y da una expectativa más clara de que comportamiento esperar del mismo al ver la disposición de sus elementos y algunos datos de desempeño como tiempo de servicio y tiempo entre arribos.

1.13 Literatura revisada

El trabajo de investigación de Cross-Docking ha sido principalmente llevado a cabo en áreas tales como sistemas de distribución y diseño de planta, diseño de la red, operaciones de planificación y programación de Cross-Docking.

Yan Liu(2009, p.2) cita a Rohrer (1995) quien explica cómo la simulación ayuda a asegurar el éxito de las operaciones Cross-Docking. El objetivo que tenía la simulación era introducir métricas que ayuden a analizar eficientemente los problemas de Cross-Docking.

El problema de asignación de transporte en entradas y salidas ha sido previamente estudiado con enfoques de simulación. (Gue, 1990) propuso una regla donde los camiones se asignan a los muelles basados en el peso de la carga y en las distancias.

(Regan, 2005) propuso una regla basada en el tiempo de transferencia desde que entra la orden hasta la puerta de salida.

Este problema ha sido estudiado en el área de optimización con diferentes enfoques para resolverlos (Regan, 2005), (Saltani) y (Ley, 2007).

Los problemas de Cross-Docking han sido direccionados por muchos investigadores, por más de una forma determinística y con muchos supuestos.

(Weisstein, 2009) propuso un modelo de simulación de eventos discretos para intentar resolver problemas de Cross-Docking y evaluar diferentes escenarios.

En el caso de modelado y simulación el trabajo de Rohrer (6) remarca como la simulación ayuda a asegurar el éxito de sistemas, determinando la configuración óptima del equipo y la administración de la operación. También describe los requerimientos de equipo y administración para tener un sistema de Cross-Docking eficiente.

Magableh et. Al (7) desarrolla un modelo genérico de simulación para representar las operaciones dentro de una instalación de Cross-Docking, específicamente el proceso de embarques de entrada y salida. En su trabajo examinaron los riesgos de operación asociados con instalaciones de Cross-Docking individuales dentro de la red de distribución de una compañía dentro de un ambiente dinámico.

Bartholdi y Gue (8) estudiaron la mejor forma para un sistema Cross-Docking. En su análisis asumen que los muelles están asignados permanentemente como muelles de carga o de descarga (una condición que puede no cumplirse en varios casos prácticos). El estudio generó layouts basados en el número de muelles, la tasa de llegadas a los muelles y la distribución de flujos de material dentro de la instalación.

En el problema de asignación de los muelles formulado por Tsui y Chang ellos proponen una herramienta de computación formulada por un programa bilineal para resolver la asignación de los camiones de arribos y envíos a los muelles, considerando un patrón de una compañía de embarques en los muelles de Recibo/envío. El patio de carga se consideró rectangular con varios muelles sobre los lados más largos donde uno de los lados fue designado para los camiones que traen producto entrante y el otro para los camiones en que se enviará el producto de salida. El estudio asume que cada muelle estará asignado a un solo destino, a menos que el patrón cambie el cual se sugiere sea evaluado mensualmente. También el número de muelles de descarga y de carga en su estudio resulta igual o mayor que el número de orígenes y destinos respectivamente, eliminando el problema de organización de arribos y salidas. Para resolver el problema bilineal, ellos desarrollaron a una solución óptima local que resultó depender mucho del valor inicial.

Yu y Egbelu fueron los primeros en tratar el problema de la programación de arribos. Ellos definieron un modelo de Cross-Docking con un muelle de descarga en el cual cada camión que llegará descargará su contenido y un muelle de salidas. Los productos eran movidos desde el muelle de descarga hasta el muelle de carga por un sistema de bandas transportadoras. Los tiempos de carga y descarga eran los mismos para cada producto tomando una unidad de tiempo para una unidad de producto. El tiempo de estadía de los productos descargados frente al muelle de carga permanece como ilimitado hasta que llegue al muelle el vehículo en que serán enviados. La meta del estudio era minimizar el “makespan” (definido como el tiempo total de operación, inicia cuando el primer producto del primer embarque es descargado y finaliza cuando el último producto del último embarque es cargado para su envío) encontrando la mejor secuencia de arribos posible. La asignación de los productos descargados a los camiones de carga se trata al mismo tiempo que se define la mejor organización de los arribos y salida de camiones, la organización de los productos y la coordinación de la operación. En el estudio se proponen tres formas de solución: un modelo MIP, una enumeración completa y una regla de prioridad obtenida de manera heurística.

Capítulo 2

Situación actual del sistema

Objetivo: Describir detalladamente el proyecto junto con sus requerimientos y realizar un análisis de la situación para poder representarla a través de un modelo de simulación.

Se hace un análisis de la configuración de planta para el CEDIS con sistema Cross-Docking, utilizando el software Flexsim® para la simulación, con el fin de verificar el cumplimiento de los requerimientos del proyecto.

Dada la complejidad del sistema a modelar, no se puede asegurar que sea la solución óptima pero se aproxima a ella haciendo uso de conocimientos de ingeniería industrial.

2.1 Descripción

La empresa logística de manejo de revistas (cliente) requiere diseñar un nuevo CEDIS el cual maneja cajas con revistas, estas se reciben, clasifican y distribuyen para su embarque de acuerdo a los pedidos de los destinos.

Se cuenta con información de registros en la hoja de cálculo Excel®, uno con la relación de los vehículos en que la compañía entrega sus embarques con los destinos que estos cubren y otro con los históricos de los arribos con los datos de un año incluyendo información del tipo de vehículo, las cajas o pallets contenidos en el cargamento y la fecha en que se recibió.

A partir de esta información, se determinan los puntos siguientes, cabe aclarar que esta es la descripción de cómo se realiza la operación en un CEDIS existente y siempre y cuando la modificación reditué alguna mejora sobre la operación existente.

2.2 Los macro procesos

El proceso se puede dividir en tres macro actividades para mejorar su análisis.

2.2.1 Descarga

Las entradas a esta actividad son los camiones que llegan al CEDIS para ser descargados, los cuales son de 2 tipos: nacionales y urbanos. Los camiones nacionales los descarga un operario con transpallet, en un tiempo promedio de 20 minutos y los camiones urbanos los descargan un grupo de tres operarios tardando 40 minutos en promedio, como se muestra en la siguiente tabla.

El tiempo de estacionamiento es el mismo para los dos tipos de camiones (Tiempo de distribución normal media 2.5 minutos, desviación 10 segundos).

Tiempo de Descarga: a determinar.

Descarga		
Tipo de camión	Nacionales	Urbanos
Tipo de empaque	Pallets	Cajas
Tiempo	20 minutos	40 minutos
Operarios	1	3
Transpallets	1 eléctrico	1 manual
Tiempo estacionamiento	2.5 minutos $\sigma = 10$ segundos	

Tabla 2.1 Tiempos de descarga

La tabla 2.2 muestra los tiempos y los porcentajes en que se realiza la inspección (90% es visual 30 segundos, 10% inspección y conteo 30 segundos).

Inspección		
Visual	90%	10 segundos
Conteo	10%	30 segundos

Tabla 2.2 Tiempos de inspección

Entrada: camiones cargados.

Salida: cajas de revistas empaquetadas en pallets.

2.2.2 Clasificación

Los pallets con cajas se llevan de los muelles a las zonas de clasificación, donde se separa su contenido para redistribuirse de acuerdo a su destino. La distribución se hace con un grupo de operarios que leen el código de destino de una caja en los pallets procedentes del descarga y la ubican en un pallet perteneciente a su destino. Conforme en una zona de clasificación un pallet dirigido a un destino está completo se procede a colocar stretch plástico y luego se lleva a la zona de “almacén” donde espera para ser cargado.

- Tiempo de transporte: a determinar.
- Tiempo de clasificación: a determinar.
- Tiempo de lectura del código: Distribución triangular (0.5, 0.58, 0.7) minutos.
- Tiempo de aplicación de stretch plástico: Distribución triangular (1.2, 1.6, 2) minutos.

Entrada: Cajas de revistas empaquetadas en pallets.

Salida: Cajas de revistas empaquetadas en pallets, listas para distribuir.

2.2.3 Carga

Los pallets se transportan de la zona de estadía a los muelles y se cargan en los camiones respecto de su destino. En los camiones con ruta urbana dado que cubren más de un destino se procederá a cargar primero los pallets con dirección al último destino, y así sucesivamente para que puedan ser descargados de manera correcta.

- Tiempo de transporte: A determinar.
- Tiempo de estacionamiento: 2.5 minutos, desviación 10 segundos.

- Tiempo de carga de un pallet: En promedio 1.2 minutos.
- Distribución triangular. Para transpallet eléctrico y transpallet manual.
- Entrada: Cajas de revistas empaquetadas en pallets.
- Salida: Camiones cargados para distribución.

2.3 Los tiempos de operación

El CEDIS opera siguiendo tiempos específicos para sus actividades, las cuales se cumplen dentro de 2 turnos el primero de 6:00 a 14:00 horas, y el segundo turno de 14:01 a 22:00 .

La operación del CEDIS es de 5 días a la semana no se trabaja ni sábados ni domingos. Las primeras 2 horas del día de 6:00 a 8:00 se utilizan para organizar al equipo de trabajo, se imparte capacitación y planeación pero no son utilizadas para la operación. A los operarios se les intercambian turnos cada determinado tiempo para homogeneidad. La descarga de los vehículos empieza a las 8:00 y sigue hasta terminar de clasificar todo el producto que haya entrado al CEDIS, cumpliendo con la condición de tenerlo ya clasificado antes de las 20:00 horas cuando se inicia la carga de los vehículos de embarque. Se tienen 2 horas para cargar los vehículos de las 20 rutas que repartirán el producto a sus destinos.

2.4 Datos de interés

Los aspectos relevantes de operación son los siguientes:

- La cantidad de camiones que arriban a diario es variable, tanto como la cantidad de cajas que tiene su cargamento.
- Los pallets en los camiones nacionales vienen todos cargados con el mismo número de cajas con revistas.
- Las cajas dentro del CEDIS no necesitan estar totalmente llenos para ser movilizados, como el último pallet donde se depositan las cajas

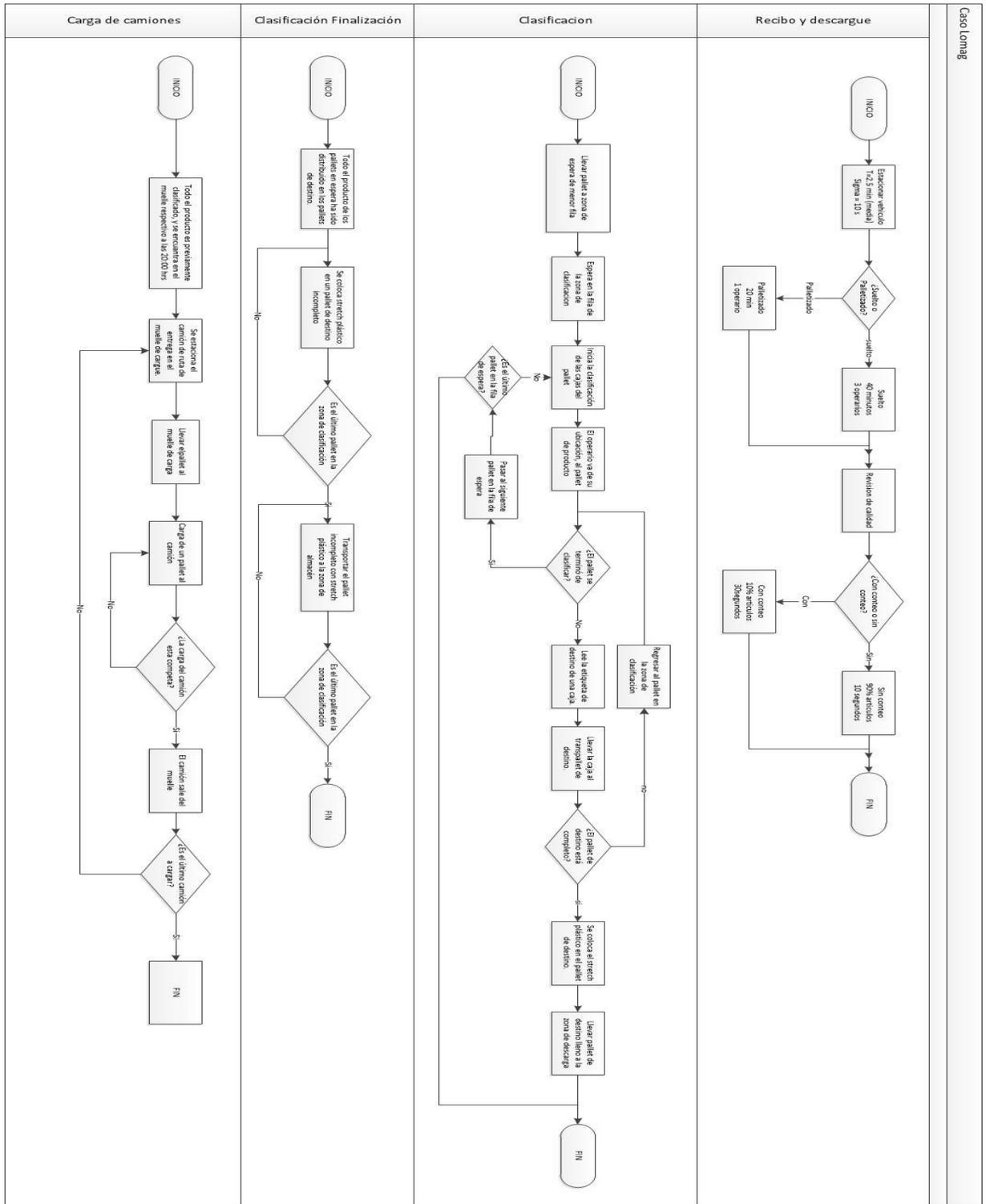
descargadas de un vehículo urbano o los pallets de algún destino donde se ponen las ultimas cajas a clasificar.

- Cuando se hace la descarga de un vehículo con producto en cajas, este se baja a los pallets y tan pronto se completa uno es revisado para pasar a zonas de clasificación.

2.5 Consideraciones específicas para la propuesta.

- Se debe considerar un suministro de pallets continuo donde sean requeridos.
- Se debe considerar que inmediatamente después de la descarga de un camión, otro camión está ya esperando para ser atendido en cada muelle.
- Las llegadas de los camiones serán predefinidas de tal forma que se asegure el punto anterior.
- Un requerimiento fundamental del proyecto es que todo el producto que llega un determinado día debe distribuirse y embarcarse ese mismo día. Cumpliendo con esta premisa al menos en un 99% de los casos.
- Se debe hacer un equilibrio en lo detallado de la simulación y la practicidad del uso del modelo para predecir el sistema real.
- No está permitido usar tiempo extra, para cumplir con las labores del día. Todas las actividades tienen que cumplirse en el tiempo normal.

2.6 Diagrama de Proceso



Caso Lomag

Figura 2.1 Diagrama de proceso general. (Fuente: Elaboración propia con conceptos del caso de estudio).

Cabe aclarar que esta división en macroactividades es con fines de tener un mejor entendimiento de la operación para generar un modelo que la represente de manera efectiva y no quiere decir que los procesos no estén relacionados entre sí o que sean independientes uno del otro.

2.7 Análisis de la situación

2.7.1 La línea de operación

Un aspecto importante dentro del CEDIS es la relación que guardan los diferentes pasos del proceso. Se puede apreciar que la descarga y la clasificación se llevan a cabo al mismo tiempo, la carga se inicia una vez que las otras operaciones han concluido.

El proceso de descarga da inicio a las 8:00 horas y termina hasta que el último camión sea descargado, tomando en cuenta que antes de las 20:00 horas todo el producto debe estar en la zona de almacén. El proceso de clasificación inicia en cada estación cuando llega el primer pallet descargado y termina antes de llevar a la zona de almacén los últimos pallets llenados.

La actividad de descarga está continuamente enviando producto paletizado a la clasificación, podemos ver que este producto espera en la línea a ser clasificado mientras el que ha llegado previamente es procesado. Siendo las zonas de clasificación el cuello de botella en el proceso.

Los puntos clave a considerar para el diseño del centro de distribución son los siguientes:

- Se debe equilibrar los tiempos de operación entre al descarga y la clasificación.
- Se debe minimizar los recursos invertidos en cada actividad.
- Se debe ubicar el cuello de botella de la operación.
- Este cuello de botella debe funcionar a su máxima capacidad para conseguir la mayor eficiencia en la operación.

Como el cuello de botella es la clasificación, las operaciones se coordinan para asegurarse de que las zonas funcionen a su máxima capacidad y con el menor tiempo de operación.

Se debe asegurar el suministro de pallets para las zonas de clasificación para que estas no tengan tiempo ocioso.

2.7.2 Análisis de la descarga

El proceso de descarga incluye todas las actividades desde el aparcamiento de los vehículos, hasta el transporte de los pallets llenos de cajas hacia la zona de clasificación; toda actividad entre estos 2 puntos está contemplada en este macro proceso.

La tabla 2.3 describe las características de tiempo y las actividades que se realizan en la descarga.

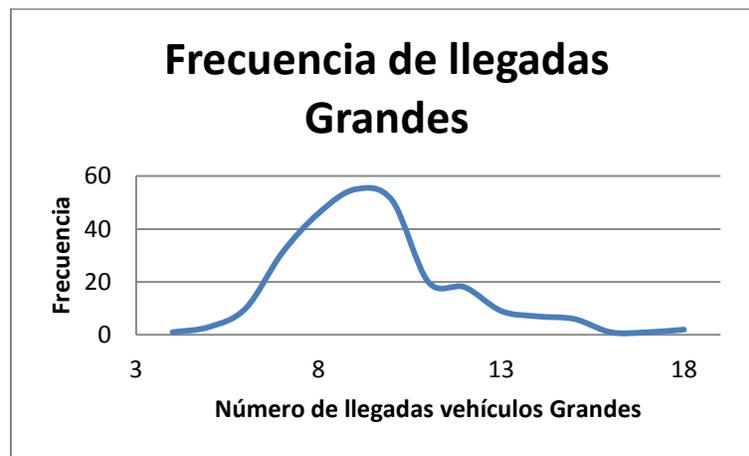
Actividades	Características de tiempo	Recursos involucrados en la actividad
Aparcamiento de unidades	Distribución normal (media 2.5 minutos, desviación 10 segundos)	El vehículo a ser aparcado.
Revisión de documentos para autorizar descarga	Este tiempo está incluido en la descarga	Un supervisor de descarga
Preparación de los muelles y vehículos para la descarga	Este tiempo está incluido dentro del de aparcamiento.	Muelle de descarga, operario u operarios de descarga.
Descarga de la unidad	Vehículo urbano 40 minutos en promedio	Para vehículo urbano un equipo de tres operarios.
	Vehículo grande 20 minutos en promedio.	Para vehículo grande un operario y un transpallet eléctrico.
Inspección de los pallets	10 segundos sin conteo El 90% de los pallets se revisa sin conteo	Por lo menos un operario, pero se pueden aumentar para mejorar el flujo.
	30 segundos con conteo El 10% se revisa con conteo.	
Transporte a zona de clasificación	Es un tiempo variable e implícito en la simulación, es influyente en el tiempo total de la operación, pero no es de interés obtener el dato de manera aislada.	Por lo menos un transpallet manual o eléctrico pero se puede aumentar para mejorar el flujo.

Tabla 2.3 Descripción de las operaciones del proceso de descarga

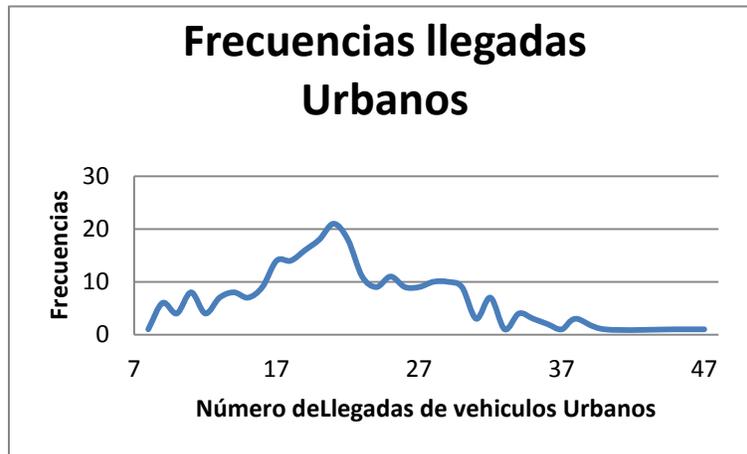
Se tiene que asegurar que el número de muelles sean suficientes para descargar todos los camiones que arriben cada día a pesar de que la demanda es variable. Como primera aproximación (que después será verificada por medio de la simulación) se calcula con ayuda de una hoja de Excel® el número necesario de muelles.

Para calcular el número de muelles se toman los tiempos de descarga y estacionamiento de los vehículos, para fines prácticos se despreciará la desviación del proceso de estacionamiento de 10 segundos. El tiempo completo que pasa un vehículo ocupando un muelle es el tiempo de estacionamiento más el tiempo de descarga, con este parámetro calcularemos la capacidad de servicio de los camiones que llegan en cada muelle.

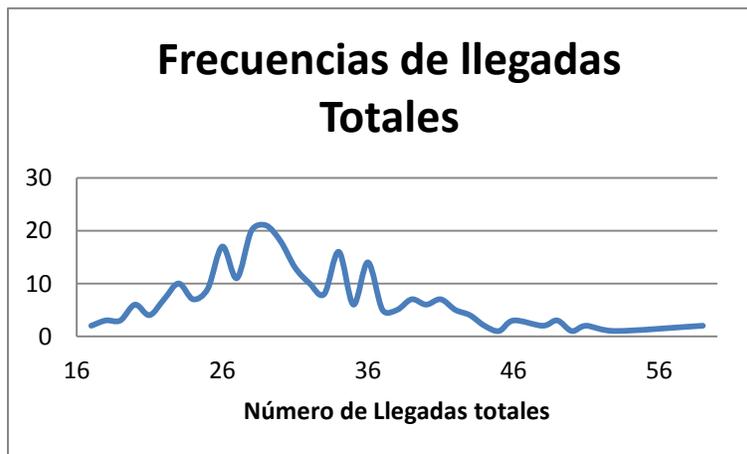
En las gráficas 2.1, 2.2 y 2.3 se muestra el comportamiento de las llegadas de los camiones.



Gráfica 2.1 Frecuencia de llegadas vehículos grandes



Gráfica 2.2 Frecuencia de llegadas de vehículos urbanos



Gráfica 2.3 Frecuencia de llegadas totales

En esta tabla se resumen los datos más relevantes acerca de las llegadas.

	Máximo de llegadas	Más Probable	Mínimo de llegadas
Llegas/Urbano	47	21	8
Llegadas/Grande	18	9	4
Llegadas/ Totales	59	29	17

Tabla 2.4 Datos relevantes de llegadas

Comparando la capacidad ofrecida por muelles, tomando como referencia el caso máximo de llegadas.

	Caso 1		Caso2		Caso3	
	Urbano	Grande	Urbano	Grande	Urbano	Grande
Muelles	1	1	2	1	3	1
Tiempo (h)	10	10	10	10	10	10
Hora de inicio	08:00 a.m.					
Hora de finalizar	18:00 p. m.					
Tiempo neto (h)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
T de estacionar(h)	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
Tiempo de descarga (h)	0.667	0.333	0.667	0.333	0.667	0.333
Tiempo total (h)	0.708	0.375	0.708	0.375	0.708	0.375
Llegadas/ muelle	14.118	26.667	14.118	26.667	14.118	26.667
Llegadas posibles	14.118	26.667	28.235	26.667	42.353	26.667
tiempo ocioso (h)	0.083	0.250	0.167	0.250	0.250	0.250

Tabla 2.5 Estimación de número de muelles a utilizar

De acuerdo a la tabla se puede apreciar lo siguiente:

Cada muelle puede ser usado hasta diez horas, todos los muelles tienen el mismo **tiempo neto** (cuarta columna), restando el **tiempo de estacionamiento** (quinta columna) y **los tiempos de descarga** totales, nos queda el tiempo que el muelle puede ser usado, si sabemos que el tiempo que un camión tarda en promedio en ocupar el muelle, se obtiene una aproximación de cuántos camiones atiende cada muelle.

Tipo de caso		Capacidad de muelles (llegadas/tiempo)		Caso máximo de llegadas camiones-minutos (75 %)		Tiempo total necesario	Tiempo ocioso (minutos)	Estado
Caso 1	Muelles							
Urbanos	1	14	600	27	1147	1657	0	Insuficiente
Grande	1	26	600	13	293			
Caso 2	Muelles							
Urbanos	2	28	1200	27	1147	1657	143	Suficiente
Grandes	1	26	600	13	293			
Caso 3	Muelles							
Urbano	3	42	1800	27	1147	1657	743	Suficiente
Grandes	1	26	600	18	293			

Tabla 2.6 Comparativa del número de muelles a utilizar

En las columnas del Caso 1 en los renglones de llegadas posibles se ve cubierto con apenas dos muelles, uno designado para descarga de vehículos grandes y otro para vehículos urbanos. Se nota que el muelle designado para descarga de vehículos grandes, siempre tiene tiempo libre aun teniendo el número máximo de vehículos grandes (En el renglón de llegadas posibles, en las columnas de muelles grandes).

Para el caso más Probable son suficientes dos muelles para los vehículos urbanos y uno para vehículos grandes (las columnas del Caso 3).

Para el caso máximo podemos notar que la capacidad generada por tres muelles para vehículos urbanos es de 42, cuando las llegadas máximas reportadas en un día son 47, mientras que el muelle designado para vehículos grandes sigue con tiempo ocioso puesto que las máximas llegadas de vehículos grandes son 18.

Aumentar un quinto muelle, no ayuda mucho puesto que solo faltan cinco llegadas de vehículos urbanos que bien se podrían cubrir en el muelle con mayor tiempo ocioso.

Además, hay que hacer notar que las llegadas totales máximas reportadas son 59; nunca se ha presentado 65 llegadas, como lo sugiere el caso máximo.

Se decide asignar un muelle para descargar los vehículos grandes y los demás para descargar los vehículos urbanos. Sin detenerse mucho en estas cuestiones, dado que la simulación nos dará la pauta final para determinar el número de muelles necesarios. Para ello se consideran las opciones siguientes:

Casos a considerar	Muelles para vehículos urbanos	Muelles para vehículos grandes
Caso 2	2	1
Caso 3	3	1

Tabla 2.7 Casos a considerar para el número de muelles

Se empieza evaluando el Caso 2: un muelle designado para vehículos grandes y los otros dos para vehículos urbanos. Esto porque se trata de reducir la inversión al mínimo y si es posible descargar los camiones que lleguen diario en menos

muelles, es mejor al tener menos muelles es menor inversión inicial y no importa en cuantos muelles se haga el trabajo siempre y cuando se pueda realizar el proceso de descarga en el tiempo correcto. Si se requiere aumentar el número de muelles esto se verá en la simulación con el software.

NOTA: Los pallets tienen un número máximo de contenido en cajas, sólo se pueden apilar hasta cinco niveles de cajas en un pallet y el número de cajas por nivel se determina con las dimensiones de las cajas y los pallets.

Flowitem	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
Pallet	1.2	1	0.1
Caja	0.24	0.2	0.3

Tabla 2.8 Medidas de elementos utilizados

El número de líneas de cajas a lo largo son cinco, y el número de líneas a lo ancho también son cinco; entonces el número de cajas por nivel es de 25, el número de líneas a lo largo multiplicado por el número de líneas a lo ancho. Así, el número máximo de cajas en los 5 niveles de estiva son 125, que es el contenido general de cajas en los pallets descargados de camiones urbanos.

2.7.3 Análisis de la clasificación

Incluye todas las operaciones a partir de que un pallet proveniente de la descarga se deja en la zona de espera hasta la colocación de los pallets con producto clasificado por destino en la zona de almacenamiento.

El análisis de clasificación se inicia cuando un pallet descargado y revisado se lleva a la zona de espera de la zona de clasificación, en ella se toman las cajas contenidas en el pallet una a la vez, se lee la etiqueta de destino y se lleva a pallets vacíos colocados en dos pasillos frente a la zona de espera, en cada uno se ubican 25 pallets uno por cada destino como se muestra en la figura 2.2.

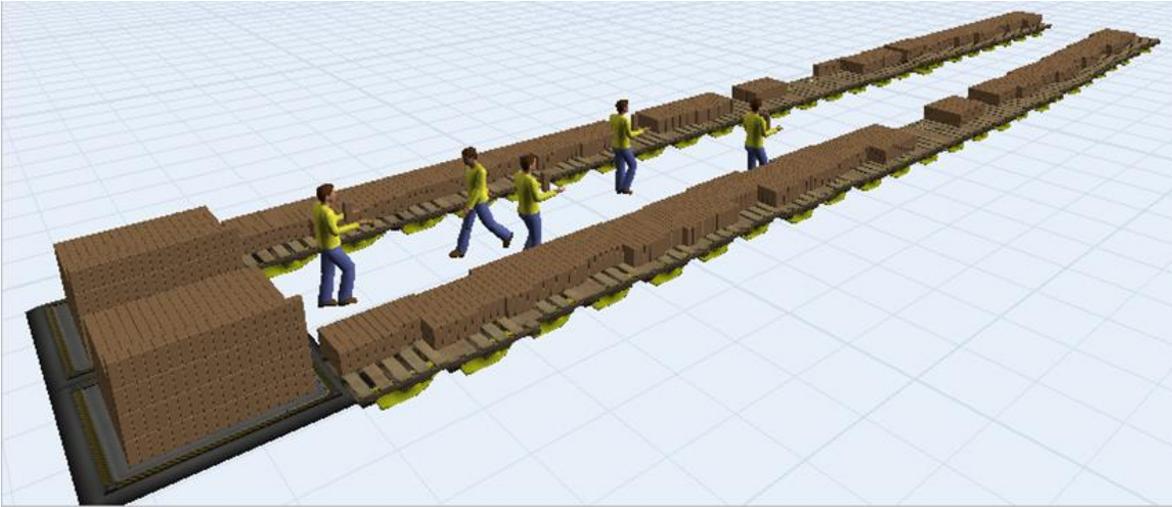


Figura 2.2 Zona de clasificación inicial. Impresión de pantalla Flexsim.

Una vez colocada una caja en su pallet de destino, el operario regresa por otra y repite la misma operación. Cuando un pallet de destino se termina de llenar, se coloca stretch plástico alrededor del mismo y se transporta en un transpallet eléctrico o manual a la zona de almacén. Esta operación la realiza un equipo de cinco operarios en cada “zona de clasificación”.

La operación mejorada: Con el fin de mejorar la operación se hacen modificaciones, primero se extienden hacia el frente de la zona de espera dos pasillos con 13 pallets cada uno, y se extienden dos más hacia atrás con 12 pallets cada uno. Con esto se reduce la distancia que cada operario recorre al llevar las cajas a su pallet de destino; los pasillos tienen forma de L para optimizar la utilización del espacio y poder organizar el paso de operarios con cajas y de los transpallets eléctricos.

El 60% del producto ingresado tiene un destino nacional y el 40% tiene un destino urbano. Hay 50 destinos de los cuales 10 son nacionales y 40 urbanos. Por tanto, el 60% del producto se concentra en 10 pallets de destino, por ello los 10 pallets asociados a destino nacional están colocados lo más cerca posible de la zona de espera, así estas cajas recorren una distancia menor para ser ubicadas en su pallet de destino.

La actividad de colocar el stretch plástico se realiza con los operarios que manejan el transpallet y llevan los pallets llenos a la zona de almacén. Esto para liberar de cualquier actividad a los operarios que llevan a cabo la clasificación y mejorar el flujo del producto.

En las figuras 2.3, 2.4 y 2.5 muestran la propuesta.

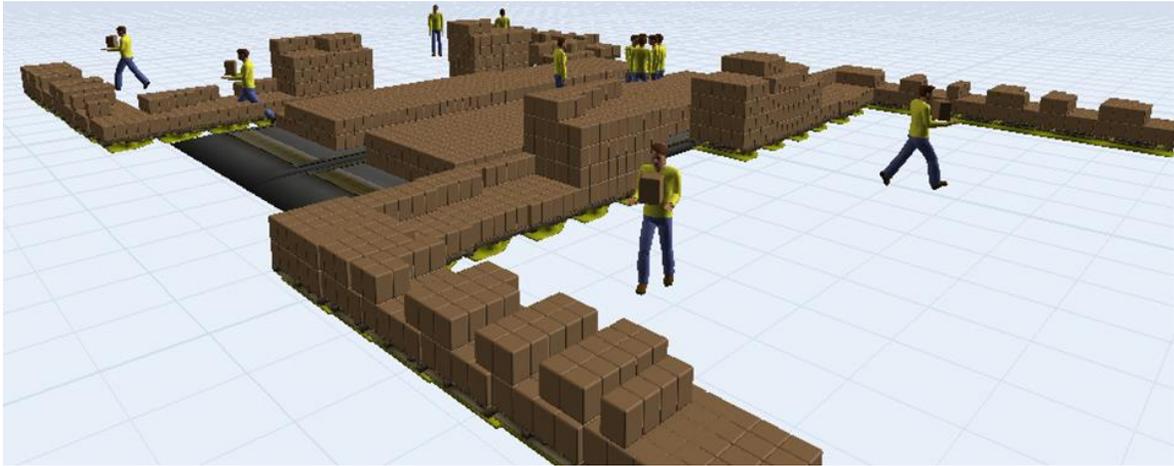


Figura2.4 Zona de clasificación mejorada. (Fuente: Elaboración propia. Impresión de pantalla en Flexsim)

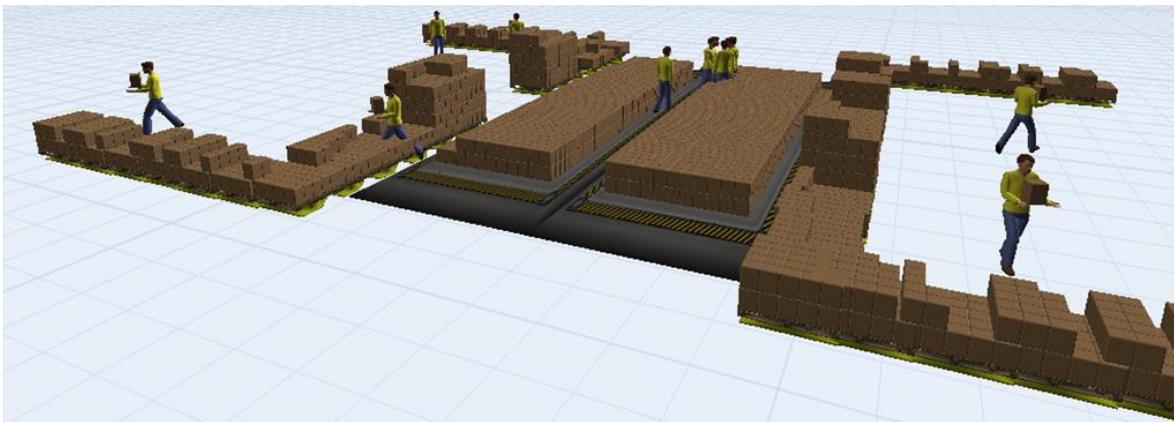


Figura 2.3 Zona de clasificación mejorada. (Impresión de pantalla en Flexsim).

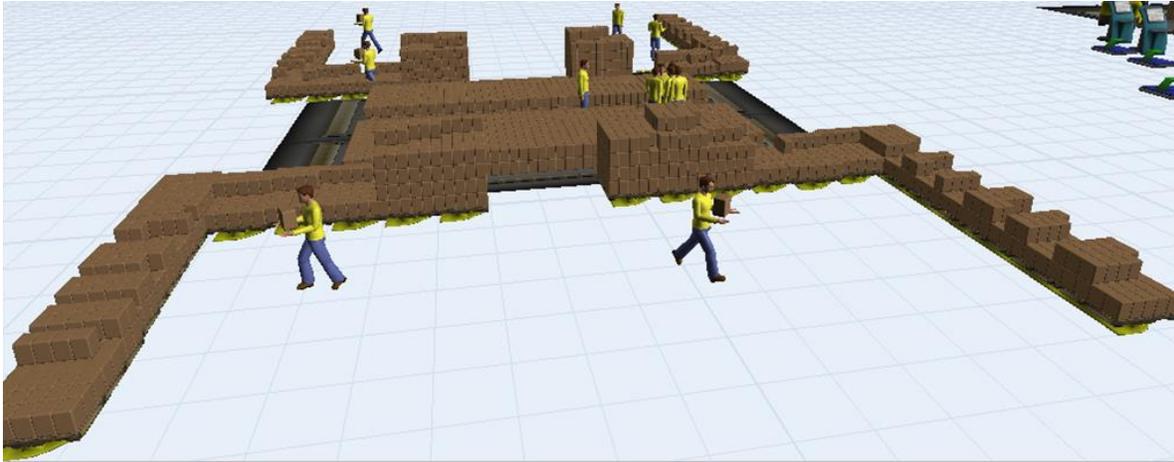


Figura 2.5 Zona de clasificación mejorada. (Impresión de pantalla en Flexsim.)

El término de la operación: Una vez que se terminó de clasificar todo el producto que se recibe durante el día, habrá pallets para enviarse a su destino que no están llenos a pesar de que se ha clasificado todo el pedido, a estos pallets incompletos se les coloca stretch plástico y se les lleva a su respectiva zona de almacenamiento.

Dada esta operación adicional al terminar de clasificarse las cajas, es conveniente mantener el número de zonas de clasificación al mínimo ya que al clasificar la misma cantidad de producto, entre más sean las zonas de clasificación éste se verá distribuido entre más pallets requiriéndose transportes con mayor volumen y mayor cantidad de equipos transpallet para su manejo, además de una zona de almacenamiento más amplia en la planta, por ello las zonas de clasificación requieren la mayor eficiencia posible para tener el número menor de ellas.

Una vez modificado el layout de una zona de clasificación, la única forma de seguir mejorando la capacidad en este proceso, es aumentar el número de operarios que participarán en ella. Este aumento también tiene sus limitaciones, empezando por el factor económico, entre menos operarios puedan realizar la operación es mejor. Además, los grupos de trabajo de mayor tamaño en un área reducida pueden ser difíciles de administrar; ya que un alto flujo de operarios trasladando las cajas puede provocar algún accidente.

En la tabla siguiente se muestra a detalle el tiempo de las actividades dentro del proceso de clasificación.

Actividad	Tiempo
Lectura de la etiqueta de destino	Distribución triangular (0.5,0.58,0.7) minutos
Traslado de la caja al pallet de destino	Variable e implícito en la simulación, no es de interés para el análisis.
Regreso a la zona de espera	Variable e implícito en la simulación, no es de interés para el análisis.
Colocación de stretch plástico	Distribución triangular (1.2,1.6,2) minutos
Transporte a zona de almacén	Variable e implícito en la simulación, no es de interés para el análisis.

Tabla 2.9 Descripción de las actividades del proceso de clasificación

Para la simulación se requiere de los siguientes datos:

Recursos	Velocidad con carga (kms/hr)	Velocidad sin carga (kms/hr)
Operario	1.5	4.5
Transpallet manual	1.3	4
Transpallet eléctrico	6	8

Tabla 2.10 Velocidades de los elementos

2.7.4 Análisis de la carga

El proceso de carga se refiere a las actividades de transporte a los pallets a sus destinos, desde la zona de almacén hasta los muelles de carga; el estacionamiento de los vehículos; la preparación de los muelles y la carga de los pallets dentro de los camiones. El tiempo disponible para esta operación es de las 20:00 a las 22:00 horas en este periodo se deben cargar las 20 rutas que distribuyen los embarques de la compañía.

En la siguiente tabla se aprecian los detalles de tiempo de las actividades del carga

Actividades	Características de tiempo
Transportar los pallets de zona de almacén a los muelles	Variable e implícito en la simulación, no es de interés para el análisis.

El acomodo de los camiones en la zona de estacionamiento	Distribución normal (media 2.5 minutos, desviación 10 segundos)
Preparación del muelle y del camión para que se cargue	Variable e implícito en la simulación, no es de interés para el análisis.

Tabla 2.11 Descripción de las actividades del proceso de carga

Esta información también es de influencia para el proceso de la carga

Recursos	Velocidad con carga (kms/hr)	Velocidad sin carga (kms/hr)
Transpallet manual	1.3	4
Transpallet eléctrico	6	8

Tabla 2.12 Velocidades de los elementos

Numero de muelles de carga y transpallets

El análisis de la operación de carga es relativamente simple, se tienen que cargar las 20 rutas en un tiempo de 2:00 horas utilizando el número menor de muelles de carga, operarios y transpallets para cada caso.

Un camión urbano que sigue una ruta visita cuatro destinos mientras que un camión nacional que sigue una ruta solo visita un destino, teniéndose así 50 destinos de los cuales 40 son urbanos y 10 son nacionales.

Para poder concluir acerca del número de muelles de carga necesarios debemos generar información a través de los resultados generados por la simulación de los modelos de descarga y clasificación. Este aspecto se tratará con mayor detalle en el capítulo tres.

Capítulo 3

Modelado

Objetivo: Realizar la simulación con los requerimientos planteados en el Capítulo 2 utilizando el Software Flexsim®

3.1 Desarrollo del proceso de descarga

El número de cajas o pallets que un camión puede contener un camión siguen ambos una distribución normal. Al sistema entran un número de cajas (sueltas o en forma de pallet) cada determinado tiempo. El ingreso de las cajas al sistema representa el momento en que se abren las puertas del camión y comienza la descarga.

En un muelle el primer ingreso de cajas del día se realiza después de estacionado el primer camión, el siguiente ingreso se efectúa después de la descarga del primer camión y se estaciona el segundo camión; el tercer ingreso se lleva a cabo después de transcurrido el tiempo de descarga del segundo camión y el tiempo de estacionamiento del tercer camión. Entonces el tiempo que transcurre entre dos ingresos al sistema es el tiempo que tarda un camión en estacionarse más el tiempo en que un camión es descargado.

Se tienen datos acerca de las dimensiones de los muelles, las velocidades de los operarios y las velocidades de los transpallets eléctricos y manuales, con esta información podemos diseñar el muelle, lo cual se hará más adelante.

Las entradas de los camiones se reparten entre los tres muelles. El primer muelle atiende las llegadas de vehículos grandes, y una vez que se termina de atender los vehículos grandes se atiende a los vehículos urbanos; los otros dos muelles atienden sólo vehículos urbanos.

Para el modelado de las llegadas en el simulador, se usa una hoja de cálculo Excel® que selecciona de manera aleatoria, la cantidad de cajas o pallets que contiene cada camión; ordena las llegadas según la capacidad de los muelles y define el tiempo en que llega cada arribo a cada muelle.

3.1.1 Codificación del modelo de Descarga

Para representar los elementos del proceso de descarga se utilizan objetos en el simulador Flexsim®. Primero se verá como codificar el modelo básico de un muelle; que puede atender camiones urbanos y camiones grandes.

Se necesitan tres Sources; uno que produce pallets vacíos, otro que produce las cajas y otro que produce “cajas imaginarias”; los pallets, las cajas y las “cajas imaginarias” ingresan por grupos al sistema en momentos determinados (cuando un camión llega a un muelle por ejemplo).

NOTA: Como el modelo sólo puede mover pallets completos (125 cajas) se crean “cajas imaginarias para terminar de llenar los últimos pallets, porque la cantidad de cajas que contienen un camión no siempre coincide con un múltiplo de 125 dejando el último pallet incompleto. El tiempo en que se cargan las cajas imaginarias al pallet en el modelo es despreciable.

Se utiliza un elemento Queue para representar la caja del camión que llega a un muelle, físicamente es donde se ubicarán los pallets o cajas que contiene. Si es camión urbano se generan cajas pero en el caso de un camión grande se generan cajas montadas en pallets (125 en cada uno).

Antes de que las cajas pasen Queue que representa el camión se usa un Combiner para empacar las cajas en pallets.

La descarga de un vehículo urbano utiliza un equipo de tres operarios, que administra un Dispatcher; lleva las cajas de la Queue (el camión) a un Combiner que recibe pallets vacíos y cuando éstos están llenos los envía al proceso de inspección. Cuando es el caso del último pallet a llenar, de un arribo recibe cajas imaginarias para completarlo. Para poder llevarlas al Combiner, se usa un Transporter de gran velocidad para consumir el menor tiempo posible.

Después de cargar los pallets estos deben revisarse; el 10% se revisa con conteo y el 90% sin conteo; una vez descargados se utiliza un Processor que tarda 30 segundos con el 10% del producto que recibe y 10 segundos con el otro 90%, como esta actividad la realiza un operario, el Processor sólo funciona cuando el operador lo atiende. Para transportar los pallets revisados se usan Transporters.

Cuando se decide implementar el caso de tres muelles o cuatro muelles; se empieza con el caso de tres muelles porque es lo más conveniente, una vez evaluando el desempeño con tres muelles se decide si es necesario agregar uno más.

Al contar con tres muelles en un mismo modelo los elementos que comparten, son los operarios que revisan los pallets y los Transporters que llevan los pallets de los muelles de descarga hacia las zonas de clasificación. Si se ocupa un solo operario, éste debe atender los tres muelles yendo siempre al primero que lo requiera, para el Transporter es el mismo caso. Para ocupar más de un operario que revise los pallets se utiliza un Dispatcher que administre el equipo de operarios, y aplica de la misma forma para los Transporter.

Los elementos usados y la forma de interconectarlos se muestra en el diagrama de interconexiones y una tabla de configuraciones. Por un lado, se muestra un solo muelle y por otro cuando se incorporan los tres.

3.1.2 Diagrama de conexión

En la figura 3.1 se puede apreciar la forma en que se conectan los elementos que conforman un muelle, aunque en el modelo final se organizan físicamente de acuerdo a los requerimientos de espacio.

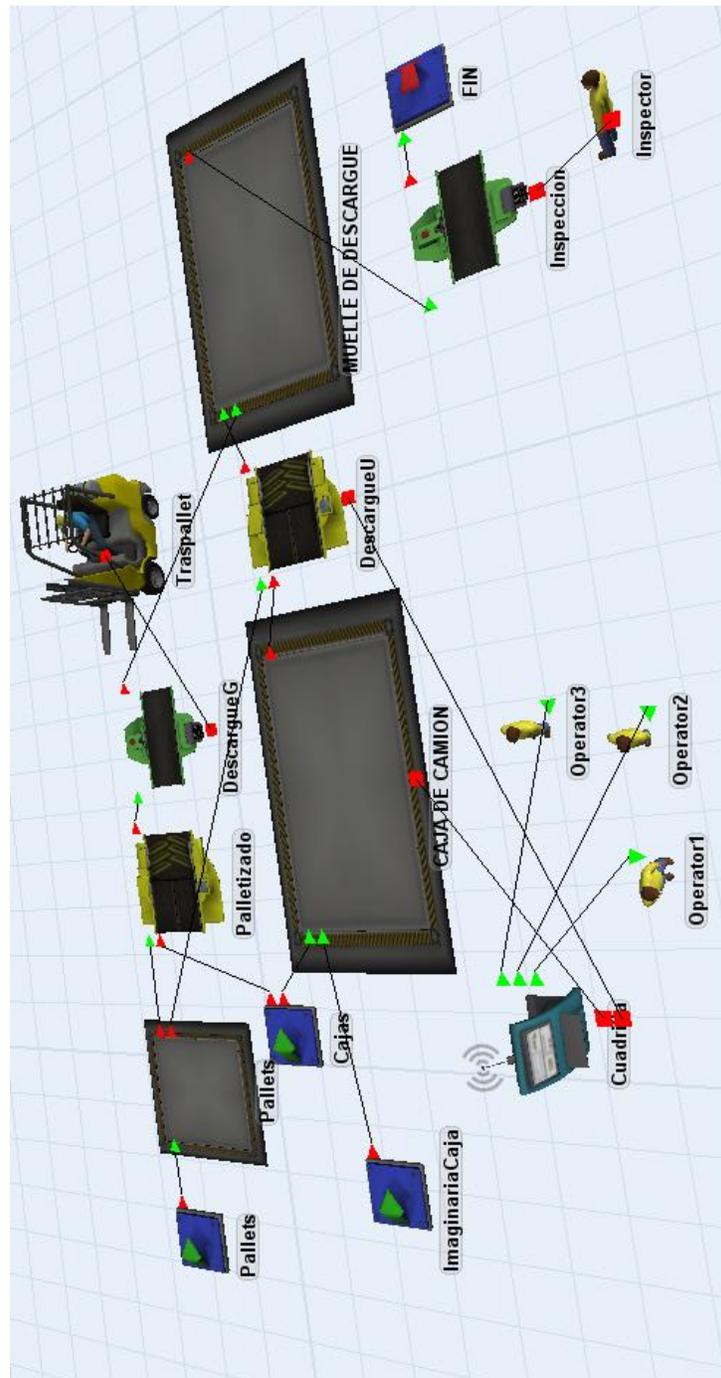


Figura 3.1 Diagrama de conexión del modelo de Descarga. (Fuente: Impresión de pantalla en Flexsim)

En la figura se observa claramente cómo quedan conectados los elementos en la herramienta de simulación

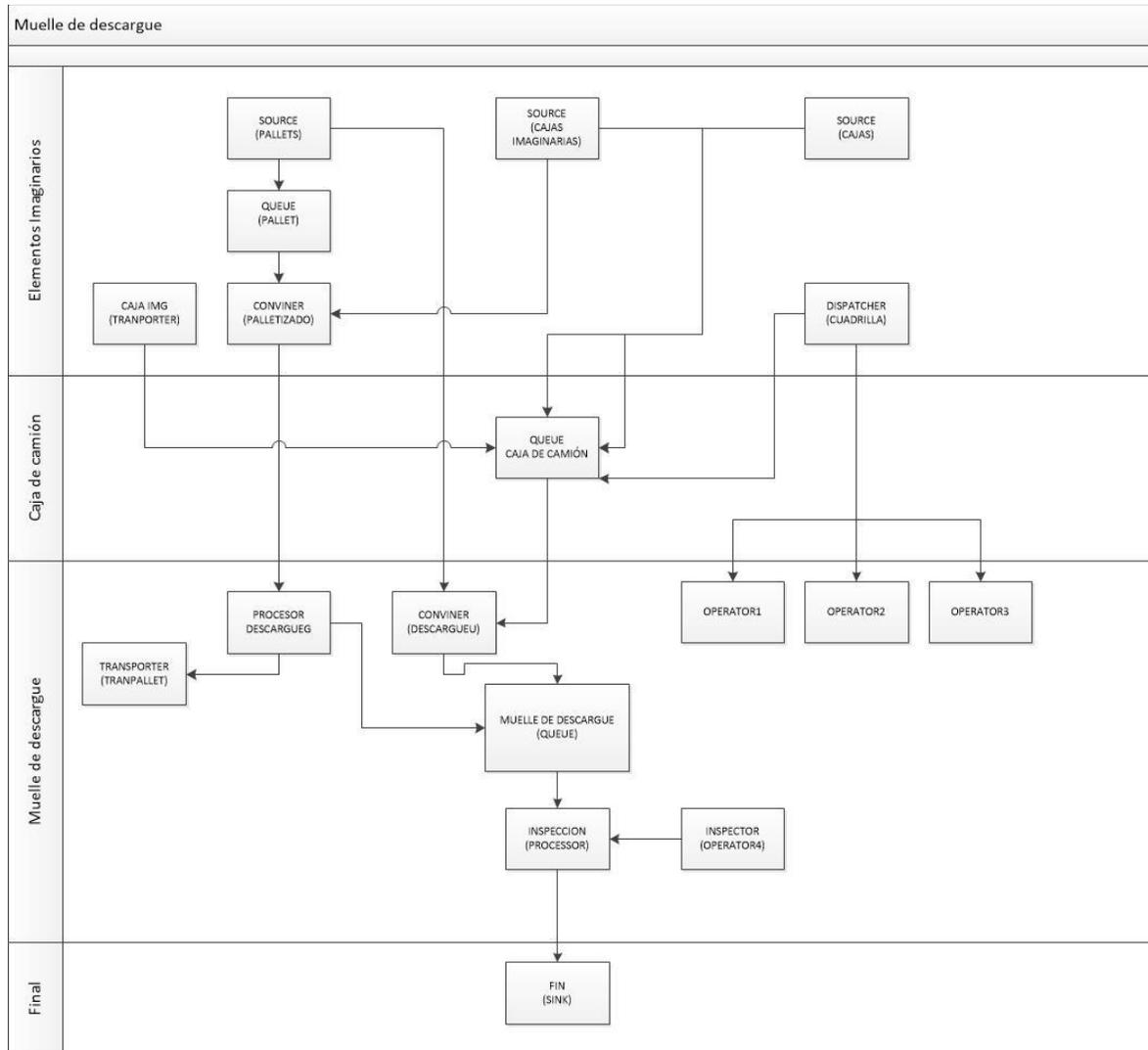


Figura 3.2 Diagrama de flujo del descarga. (Fuente: Elaboración propia en base al diagrama de conexión)

Las opciones de configuración de los elementos de Flexsim® se muestran en la tabla 3.1 *Configuración del modelo de descarga*; solo se mencionarán los campos que son modificados pues una vez que se crea un objeto en Flexsim® ya tiene una configuración por default.

Se dividen las propiedades de los elementos en tres campos:

“En la entrada” se engloban todas las propiedades que modifican la forma en que fluyen los flowitems o sus características al ingresar al elemento.

“En la operación” se engloban todas las propiedades que definen la manera en que el elemento interactúa con los flowitems, como por ejemplo, el tiempo de proceso, si requiere un operario para funcionar, si necesita tiempo de preparación antes de entrar en operación, etc.

“En la salida” se refiere a las propiedades que modifican el flujo de los flowítems a la salida del elemento; si todos van a un mismo destino, si hay varios destinos posible definir un criterio de decisión para enviarlos a uno o a otro, si necesitan ser transportados o no, etc.

La notación para indicar las propiedades a modificar es la siguiente:

En el software dando clic con el botón derecho del ratón sobre los elementos se abre la ventana de propiedades, en esta ventana las propiedades están clasificadas por viñetas. En la tabla 3.1 *Configuración del modelo de descarga* primero se escribirá la viñeta donde está la propiedad, después su nombre y por último el valor que toma. Si en un mismo objeto se cambian dos propiedades se numeran dentro de una misma casilla.

NOTA: Si en la casilla se pone la leyenda S/C quiere decir que ese apartado permanece sin cambios, tal como está configurado default cuando se genera en el software.

Proceso de Descarga: Un muelle de descarga.			
Objeto de Flexsim®.	Características		
	En la Entrada	En la operación	En la Salida
Source (Pallets)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (Cajas)	1 Source Flowitem Class Pallet 1 Source Arrival Style Arrival Schedule 1 Source Flowitem Class Box	S/C	S/C

Proceso de Descarga: Un muelle de descarga (continúa)			
Objeto de Flexsim®.	Características		
	En la Entrada	En la operación	En la Salida
Source (Cajas imaginarias)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Queue (pallet)	1 Source Flowitem Class Pallet Queue Maxim Content 10.00	S/C	S/C
Transporter (Caja lmg)	Transporter Max speed 1200000	S/C	S/C
Combiner (Palletizado)	General Input ports 1: pallet 2: Cajas	Combiner From input port 2 125	S/C
Dispatcher (Cuadrilla)	Dispatcher Pass to First Aviable	S/C	S/C
Queue (Caja de camión)	Queue Max Content 1000	S/C	Flow Use transport Center port by case
Processor (Descarga)	S/C	1 Processor Process time triangular(0.6, 1.4, 0.9, 0) 2 Processor Use operator for process (Marcar check box) S/C	S/C
Transporter (Transpallet)	Transporter Max speed 114.29	S/C	S/C
Combiner (Descargau)	General Input ports 1: pallet 2: Caja de Camión	Combiner From input port 2 125	S/C
Operator 1	Operator Max speed 37.50	S/C	S/C
Operator 2	Operator Max speed 37.50	S/C	S/C
Operator 3	Operator Max speed 37.50	S/C	S/C
Queue (Muelle de descarga)	Queue Max Content 1000	S/C	S/C

Proceso de Descarga: Un muelle de descarga (continúa)			
Objeto de Flexsim®.	Características		
	En la Entrada	En la operación	En la Entrada
Processor (Inspection)	S/C	1 Processor Process time By percentage Percent 10 Time 0.5 Percent 90 Time 0.166666666 2 Processor Use operator for process (Marcar check box)	S/C
Operator 4 (Inspector)	Operator Max Speed 75.00	S/C	S/C

Tabla 3.1 Configuración del modelo de descarga

3.1.3 Determinación de los tiempos de descarga.

Para este fin se considera el modelo de un muelle con las características físicas de tamaño real, cada muelle tiene que tener 2.8 metros de ancho y un espacio mínimo de 0.8 metros entre cada uno para poder maniobrar los transpallets. La velocidad de operarios con carga es de 1.5 km/h y sin carga es de 4.5 km/h. En los transpallets eléctricos y manuales, el tiempo de descarga de cada pallet se rige por una distribución triangular.

Para determinar el tiempo de descarga se toma un único evento, de un número determinado de cajas o pallets según el caso, y se deja correr el modelo cuyo criterio de paro es el momento en que la última caja se pone en un pallet en el caso de una descarga de vehículo urbano o el último pallet llegue al muelle en el caso de la descarga de un vehículo grande. Este mismo evento se repite varias veces para obtener un resultado representativo de su tendencia.

El caso de los vehículos nacionales: Para el caso de los vehículos grandes nos encontramos con un espacio muestral reducido es decir, la variable número de pallets en un camión grande tiene un número reducido de valores, por lo tanto el experimento se aplica para cada valor que tome esta variable y se determina el tiempo de descarga de un camión de acuerdo con el número de pallets que contenga.

Se realiza el experimento en seis ocasiones por cada valor que tome la variable número de pallets, a éstos se les aplica el promedio simple y éste es el dato de tiempo asignado para la descarga. Estos datos se ordenan en una tabla y se utilizan para que la hoja de cálculo Excel® genere los datos con que se alimentará modelo. La tabla de resultados se muestra a continuación:

Número de Pallets	Número de Cajas	Tiempo des(minutos)
23	2875	22.56
24	3000	23.48
25	3125	24.42
26	3250	25.63
27	3375	26.71
28	3500	27.55
29	3625	28.53
30	3750	29.52

Tabla 3.2 Tiempos de descarga vehículos nacionales

El caso de los vehículos urbanos: El cargamento de los vehículos urbanos se mide con la variable número de cajas contenidas en el cargamento, el espacio maestral de esta variable es mucho mayor que el de la anterior; por cuestiones de tiempo y agilidad del proyecto no resulta útil determinar el tiempo de descarga para todos los valores de la variable “número de cajas” dado que para determinar un dato representativo cada experimento debe de repetirse seis ocasiones, por ello, se trabaja con intervalos. El número de cajas contenidas en un camión se distribuyen de manera normal, en la parte central de la campana se determinan datos de uno en uno, pero según se vaya llegando a los extremos de la campana solo se determinan datos de tiempo en intervalos de cinco cajas; dado que en los extremos de la campana se registran eventos muy poco probables, por ello los intervalos se modifican, abarcando estos últimos datos sin intervalos definidos.

Dado que los tiempos de descarga son muy parecidos para dos camiones cuyo cargamento difiere por pocas cajas (de uno a cinco); se estima el tiempo efectuando interpolación lineal; primero se determinará los tiempos de descarga de un grupo de eventos como se indicó, después se hace una gráfica de tendencia, dado que es obvio que entre más cajas tenga un camión tardará más

en ser descargado. Se selecciona una ecuación lineal con tendencia generada en Excel®, que refleje el comportamiento eventual de la serie de datos, se utiliza esta ecuación para predecir los valores no evaluados por la simulación.

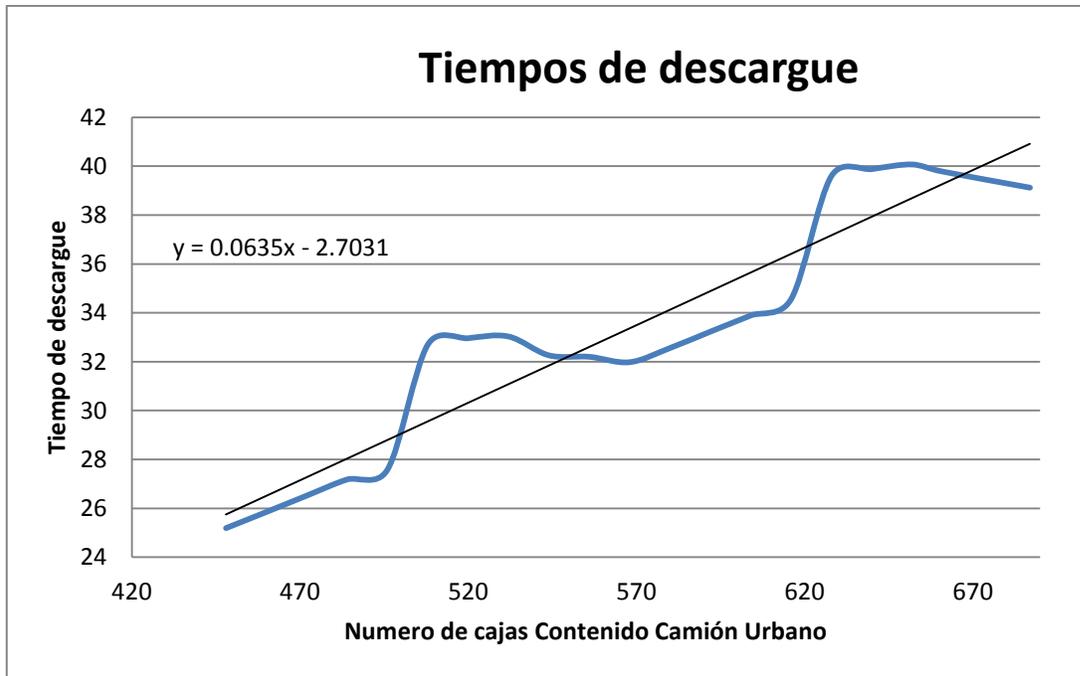
El detalle de los tiempos de descarga se observa en la Tabla 3.2 Tiempos de descarga vehículos urbanos

Número Cajas	Pallets	Tiempo	Numero Cajas	Pallets	Tiempo	Numero Cajas	Pallets	Tiempo
448	4	25.7449	519	5	30.2534	581	5	34.1904
453	4	26.0624	520	5	30.3169	582	5	34.2539
455	4	26.1894	521	5	30.3804	583	5	34.3174
459	4	26.4434	522	5	30.4439	584	5	34.3809
460	4	26.5069	523	5	30.5074	585	5	34.4444
461	4	26.5704	524	5	30.5709	586	5	34.5079
463	4	26.6974	525	5	30.6344	587	5	34.5714
464	4	26.7609	526	5	30.6979	588	5	34.6349
465	4	26.8244	527	5	30.7614	589	5	34.6984
466	4	26.8879	528	5	30.8249	590	5	34.7619
467	4	26.9514	529	5	30.8884	591	5	34.8254
468	4	27.0149	530	5	30.9519	592	5	34.8889
469	4	27.0784	531	5	31.0154	593	5	34.9524
470	4	27.1419	532	5	31.0789	594	5	35.0159
471	4	27.2054	533	5	31.1424	595	5	35.0794
472	4	27.2689	534	5	31.2059	596	5	35.1429
473	4	27.3324	535	5	31.2694	597	5	35.2064
474	4	27.3959	536	5	31.3329	598	5	35.2699
475	4	27.4594	537	5	31.3964	599	5	35.3334
476	4	27.5229	538	5	31.4599	600	5	35.3969
477	4	27.5864	539	5	31.5234	601	5	35.4604
478	4	27.6499	540	5	31.5869	602	5	35.5239
479	4	27.7134	541	5	31.6504	603	5	35.5874
480	4	27.7769	542	5	31.7139	604	5	35.6509
481	4	27.8404	543	5	31.7774	605	5	35.7144
482	4	27.9039	544	5	31.8409	606	5	35.7779
483	4	27.9674	545	5	31.9044	607	5	35.8414
484	4	28.0309	546	5	31.9679	608	5	35.9049
485	4	28.0944	547	5	32.0314	609	5	35.9684
486	4	28.1579	548	5	32.0949	610	5	36.0319
487	4	28.2214	549	5	32.1584	611	5	36.0954
488	4	28.2849	550	5	32.2219	612	5	36.1589

Número Cajas	Pallets	Tiempo	Numero Cajas	Pallets	Tiempo	Numero Cajas	Pallets	Tiempo
489	4	28.3484	551	5	32.2854	613	5	36.2224
490	4	28.4119	552	5	32.3489	614	5	36.2859
491	4	28.4754	553	5	32.4124	615	5	36.3494
492	4	28.5389	554	5	32.4759	616	5	36.4129
493	4	28.6024	555	5	32.5394	617	5	36.4764
494	4	28.6659	556	5	32.6029	618	5	36.5399
495	4	28.7294	557	5	32.6664	619	5	36.6034
496	4	28.7929	558	5	32.7299	620	5	36.6669
497	4	28.8564	559	5	32.7934	621	5	36.7304
498	4	28.9199	560	5	32.8569	622	5	36.7939
499	4	28.9834	561	5	32.9204	623	5	36.8574
500	4	29.0469	562	5	32.9839	624	5	36.9209
501	5	29.1104	563	5	33.0474	625	5	36.9844
502	5	29.1739	564	5	33.1109	626	6	37.0479
503	5	29.2374	565	5	33.1744	628	6	37.1749
504	5	29.3009	566	5	33.2379	629	6	37.2384
505	5	29.3644	567	5	33.3014	630	6	37.3019
506	5	29.4279	568	5	33.3649	632	6	37.4289
507	5	29.4914	569	5	33.4284	633	6	37.4924
508	5	29.5549	570	5	33.4919	634	6	37.5559
509	5	29.6184	571	5	33.5554	636	6	37.6829
510	5	29.6819	572	5	33.6189	637	6	37.7464
511	5	29.7454	573	5	33.6824	638	6	37.8099
512	5	29.8089	574	5	33.7459	639	6	37.8734
513	5	29.8724	575	5	33.8094	640	6	37.9369
514	5	29.9359	576	5	33.8729	641	6	38.0004
515	5	29.9994	577	5	33.9364	642	6	38.0639
516	5	30.0629	578	5	33.9999	649	6	38.5084
517	5	30.1264	579	5	34.0634	652	6	38.6989
518	5	30.1899	580	5	34.1269	661	6	39.2704
687	6	40.9214						

Tabla 3.3 Tiempos de descarga vehículos urbanos

A continuación se ve en la gráfica 3.1 la ecuación que calcula los tiempos de descarga para las cajas contenidas en camiones urbanos. Esto se hace con el fin de amortiguar el error pero no es el fin de reducir el error.



Gráfica 3.1 Tiempos de descarga.

3.2 Desarrollo del proceso de clasificación

3.2.1 Codificación de los modelos de clasificación

Como se mencionó antes, con el fin de mejorar el desempeño de la actividad de clasificación se hacen modificaciones a la distribución propuesta originalmente. Para determinar cuál es la mejor opción se comparan las dos distribuciones haciendo varias corridas de simulación de cada una. Con esto quedará definido qué distribución es la que se debe usar

Primero se modela la distribución original para evaluar su desempeño. Se anexa la lógica de programación y diagramas pertinentes.

El modelado de la zona básica de clasificación consta de cuatro sources dos que producen pallets y dos que producen cajas. La zona de espera de la zona de clasificación está representada con dos Queue uno donde llegan las cajas a clasificar con un destino urbano y otro donde llegan las cajas a clasificar con un

destino nacional. Para simular los pallets vacíos donde se deposita el producto según su destino se utilizarán Combiners, como hay 10 destinos nacionales y 40 urbanos, 40 se conectan a la Queue donde llegan cajas con destino urbano y 10 se conectan a la Queue que tiene un destino nacional. Los Combiners están conectados los nacionales a un Source que produzca pallets y los nacionales al otro Source que produce pallets. Para el transporte de las cajas se usa un equipo de cinco operarios, se conectan las dos Queue a un Dispatcher, y se configuran para utilizar un medio de transporte para mover las cajas a los Combiners. Los cinco operarios se conectan al Dispatcher. Las Queue se configuran para que envíen su producto de manera aleatoria hacia cualquier Combiner y el Dispatcher envíe al primer operario libre a ejecutar la tarea de revisar la caja, transportarla y dejarla en su Combiner de destino.

Para que los pallets de destino llenos sean transportados a la zona de Almacén se utiliza un Transpallet; todos los Combiners se conectan a un Dispatcher y se configuran para utilizar transporte a la salida; los Combiners urbanos se conectan a un Queue y los nacionales a otra. Estas dos Queue representan la zona de Almacén.

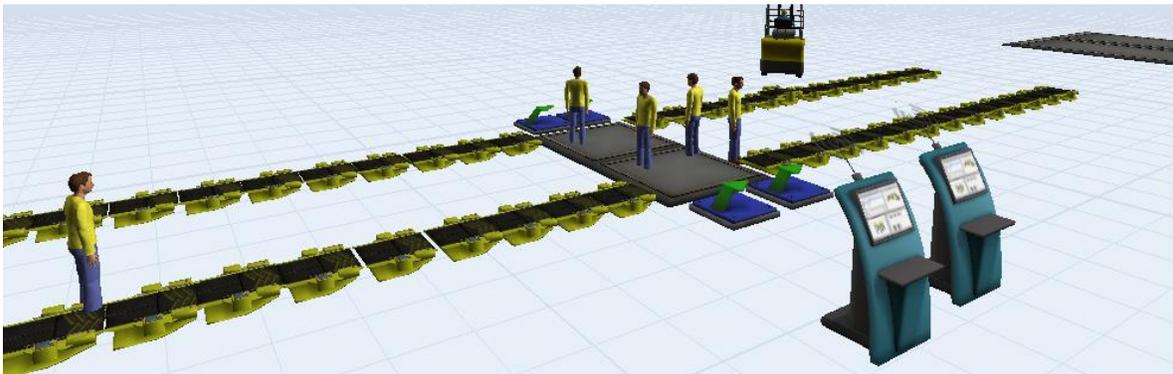


Figura 3.3 Elementos involucrados en la zona de la clasificación. (Fuente: Elaboración propia. Impresión de pantalla en Flexsim).

En la figura 3.3 se pueden apreciar todos los elementos involucrados en la simulación de una zona de clasificación simple, por la complejidad y el número de

elementos no se puede mostrar la forma de conexión desde el plano de la herramienta de simulación Flexsim ®.

3.2.2 Diagrama de conexiones

En el diagrama siguiente se tiene una representación resumida de grupos de elementos con un solo recuadro, dado que por ejemplo todos los Combiners por los que fluye producto urbano se encuentran colocados de la misma manera y a los mismos elementos, así también los otros elementos agrupados como los Combineres Nacionales o los operadores; se puntualiza que se representa más de un elemento cuando frente al nombre va un número seguido por un guión y después otro número; así si hay un uno con un guion y seguido de un cinco, se dice que hay cinco elementos iguales representados por ese recuadro.

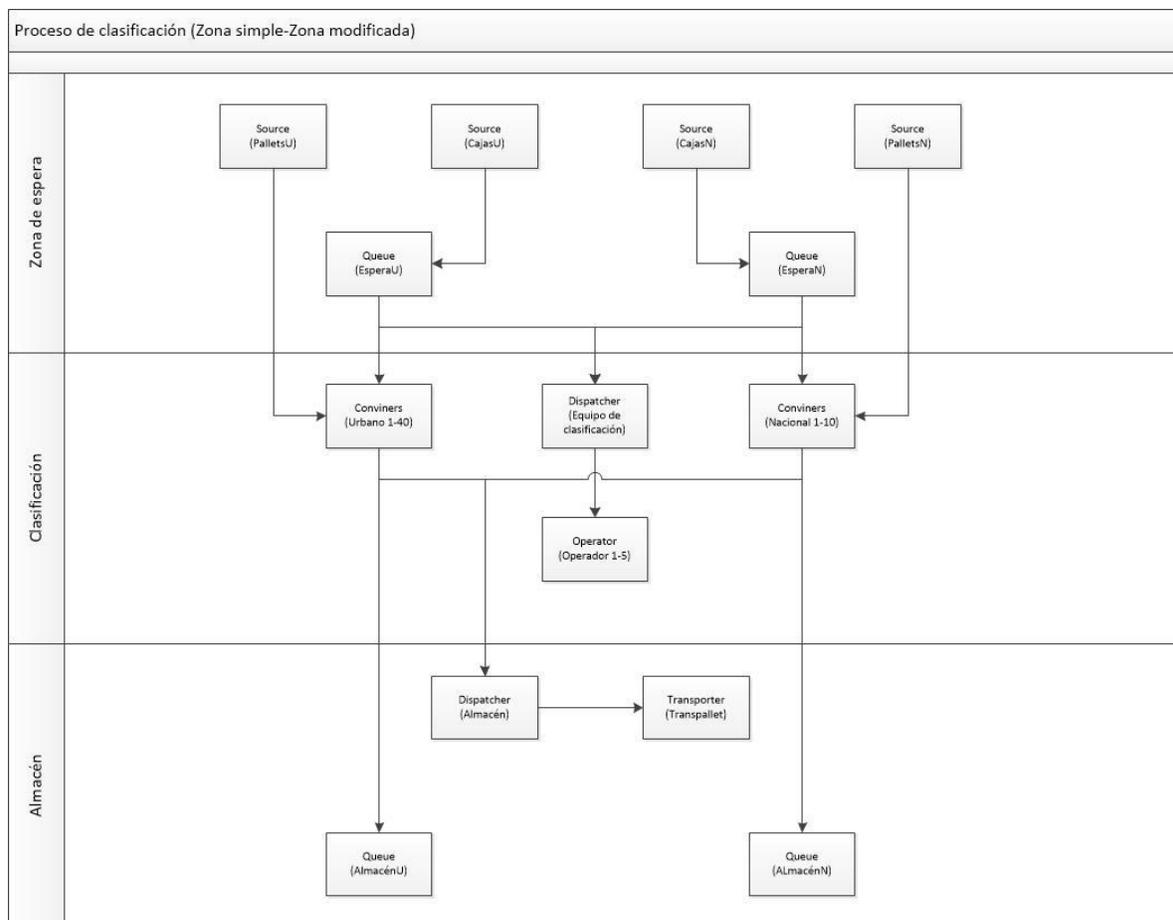


Figura 3.4 Diagrama de flujo de la zona de clasificación.

Proceso de Clasificación: Zona simple-Zona modificada			
Objeto de Flexsim®.	Características		
	En la Entrada	En la operación	En la Salida
Source (PalletsU)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (CajasU)	1 Source Flowitem Class Pallet	S/C	S/C
Source (CajasU)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (PalletsN)	1 Source Flowitem Class Box	S/C	S/C
Source (PalletsN)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (CajasN)	1 Source Flowitem Class Pallet	S/C	S/C
Source (CajasN)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Queue (EsperaU)	1 Queue Maxim Content 1500	S/C	2 Flow Send to port: Random Port 3 Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Queue (EsperaN)	Queue Maxim Content 1500	S/C	2 Flow Send to port: Random Port 3 Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Combiners (Urbano 1-40)	General Input ports 1: PalletsU 2: EsperaU	Combiner From input port 2 125	Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Combiners (Nacional 1-10)	General Input ports 1: PalletsN 2: EsperaN	Combiner From input port 2 125	Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Dispatcher (Equipo de clasificación)	Dispatcher Pass to First Aviable	S/C	S/C
Operator 1-5	Operator Max speed 37.50	Operator Load time: Triangular (0.5,0.7,0.58)	S/C
Dispatcher (Almacén)	Dispatcher Pass to First Aviable	S/C	S/C

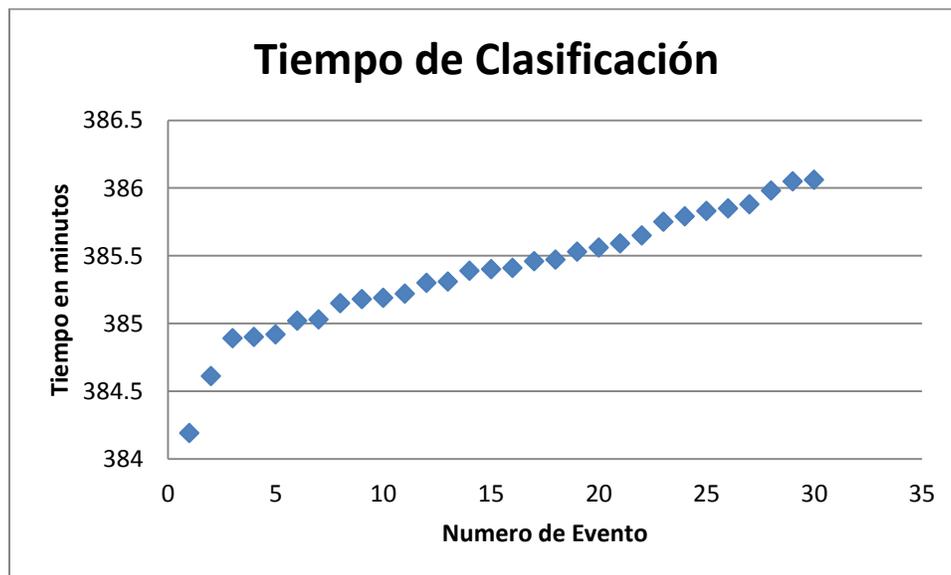
Proceso de Clasificación: Zona simple-Zona modificada			
Objeto de Flexsim®.	Características		
	En la Entrada	En la operación	En la Entrada
Transporter (Transpallet)	Transporter Max speed 114.29	Transporter Load time Triangular: (1.2,2,1.6)	S/C
Queue (AlmacenU)	S/C		
Queue (AlmacenN)	S/C	S/C	S/C

Tabla 3.4 Configuración de zona de clasificación.

NOTA: Las casillas con la leyenda S/C significa sin cambios, es decir, ese apartado permanecerá configurado tal y como se generó en el software.

3.2.3 Tiempos de operación para zona de clasificación original

Se realizaron corridas de simulación para evaluar el rendimiento del modelo de un área de clasificación con el fin de medir sus tiempos de operación. En la gráfica 3.2 se muestran los tiempos con la distribución original.



Gráfica 3.2 Tiempos de clasificación.

Se utiliza el tiempo promedio como el estándar de desempeño.

Tiempo promedio: 385.38 minutos por 1000 cajas clasificadas.

3.2.4 Tiempos de operación para zona de clasificación modificada

Con fin de obtener un mejor desempeño se modificó la operación de la siguiente manera siguiente, la zona de espera de una zona de clasificación estará al centro; hacia enfrente y hacia atrás se extenderán dos líneas de pallets de destino; hacia enfrente los dos pasillos iniciarán cada uno con tres pallets de destino nacional. Y continuarán con cuatro pallets de destino urbano cada uno; los demás pallets se colocarán a los costados externos de los últimos pallets de cada línea formando una L, hasta completar los 50 pallets de destino. El número de operarios necesarios para la operación se determinará según la demanda y pueden variar según el caso, ésto se especificará más adelante. La forma de modelar esta zona de clasificación será igual a la zona de clasificación básica, simplemente se modificará la posición de los Combiners.

Todos los operarios que se agreguen al equipo de clasificación tienen que conectarse al Dispatcher y al hacerlo trabajarán en conjunto con los demás operarios.

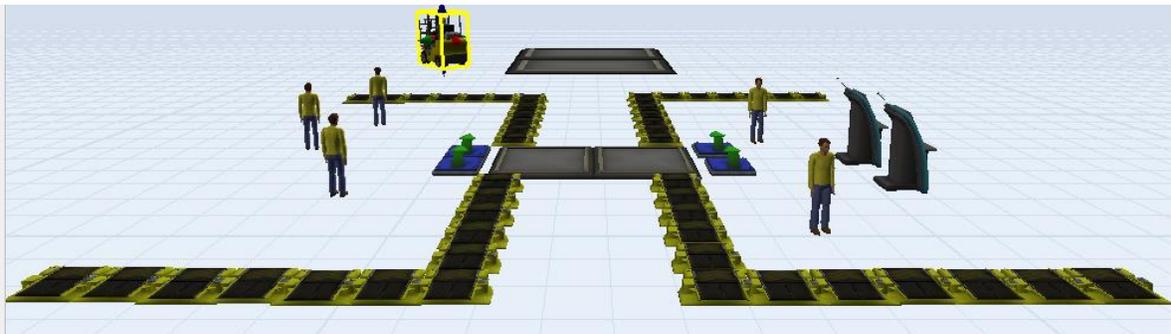


Figura 3.5 Zona de clasificación modificada. (Fuente: Elaboración propia. Impresión de pantalla en Flexsim).

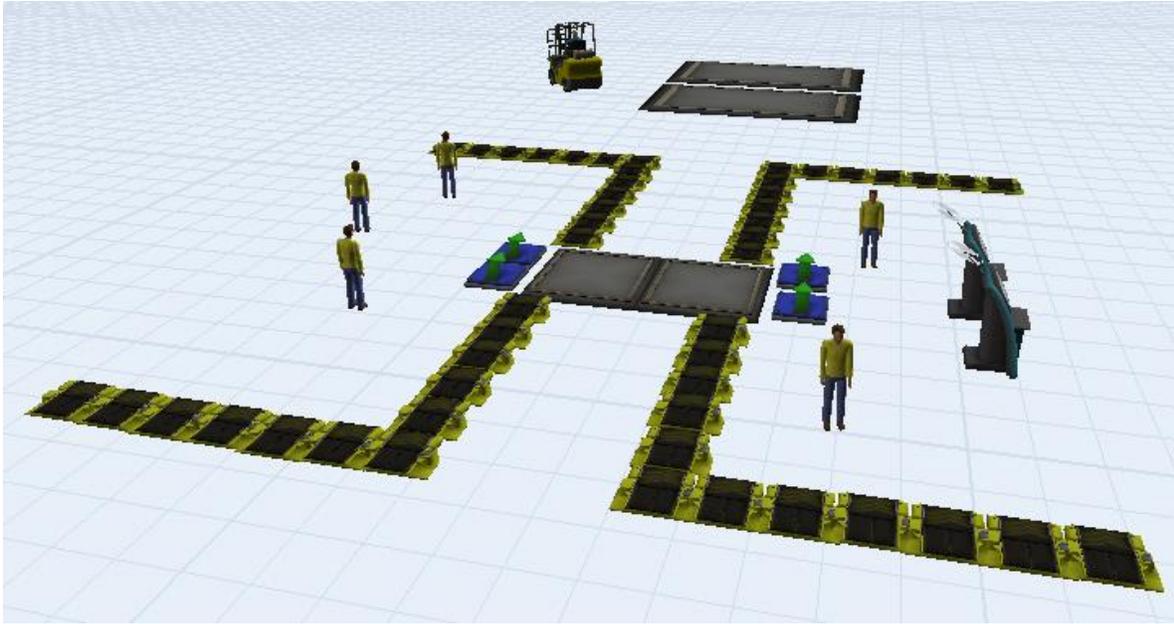


Figura 3.6 Zona de clasificación modificada. (Fuente: Elaboración propia. Impresión de pantalla en Flexsim).

En las figuras 3.5 y 3.6 se pueden apreciar que los elementos que hay en la zona modificada son los mismos que para la zona simple.

No se agregará el diagrama de conexión de los elementos en la herramienta de simulación, dado que permanece igual que para una zona simple, la configuración de los elementos se conserva igual



Gráfica 3.3 Tiempo de clasificación

El tiempo promedio de la clasificación, nuestro parámetro de desempeño, será suficiente para el detalle de representación requerido de la operación.

- Tiempo promedio de clasificación: 371.95 minutos

3.2.5 Comparación y conclusiones

Para comparar las dos zonas de clasificación se midió su desempeño en tiempo. Para tal motivo cada una con cinco operarios tendrá que clasificar un total de 2,000 cajas; 800 con destino urbano y 1,200 con destino nacional. Con estas condiciones se determina cuál ocupa un menor tiempo en clasificar la misma cantidad de producto

La zona de clasificación modificada tiene una eficiencia mayor, la diferencia de tiempos promedios es de 13.43 minutos, aunque puede parecer poco, el impacto a largo plazo en la operación si representa una ventaja considerable si se toma en cuenta lo siguiente; el número de llegadas promedio al día de camiones grandes es de nueve con un contenido en promedio de 26 pallets; además las llegadas de camiones urbanos más Probables es de 21 por día con un contenido de 538 más frecuentemente. Si consideramos sólo como marco de referencia estos números la entrada de cajas diarias al centro de distribución seria de 40,548 en un día

promedio. Si cada 2,000 cajas clasificadas en una estación ahorran casi 14 minutos por operario en estación en un día; podríamos suponer el ahorro que se percibe anualmente en la empresa. Suponiendo que para satisfacer esta demanda se usasen 20 estaciones, y en cada una cinco trabajadores; una plantilla de 100 operadores de clasificación, casi 28 minutos libres por cada uno de ellos al día da una idea del cambio generado. Ese tiempo podría ocuparse para asegurar el objetivo de distribuir la demanda diaria.

3.2.6 Conexión de modelos de descarga y clasificación

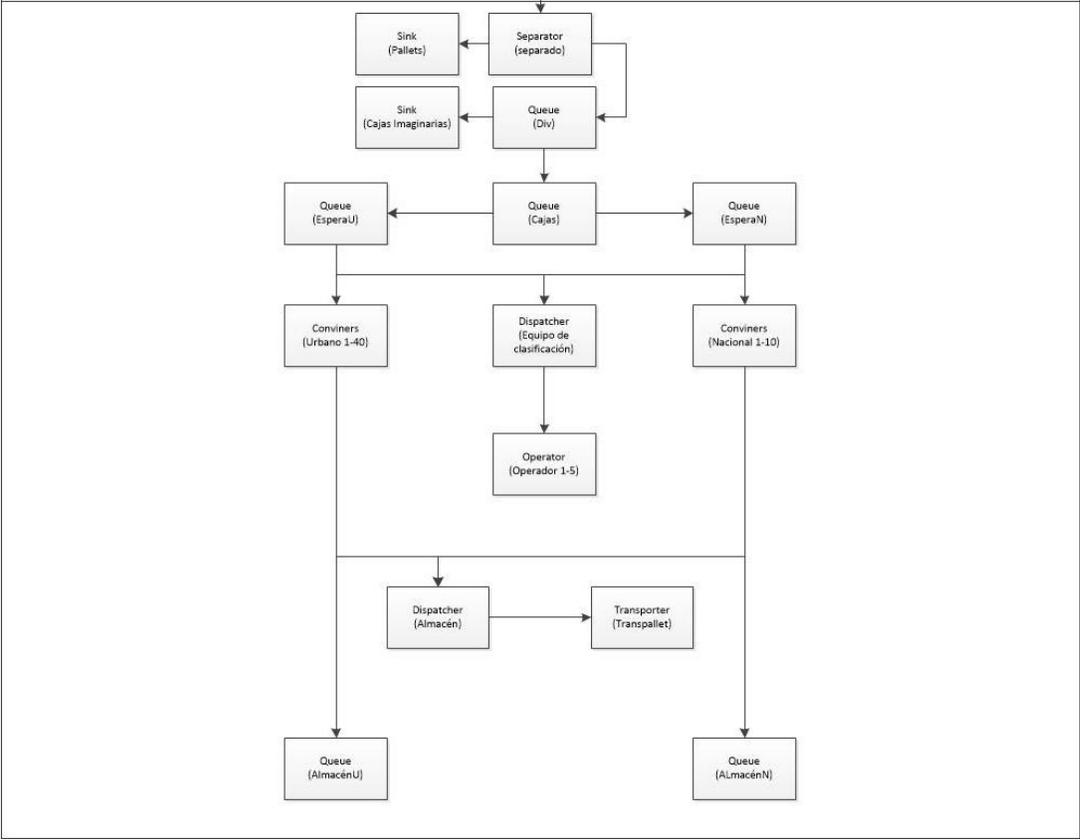
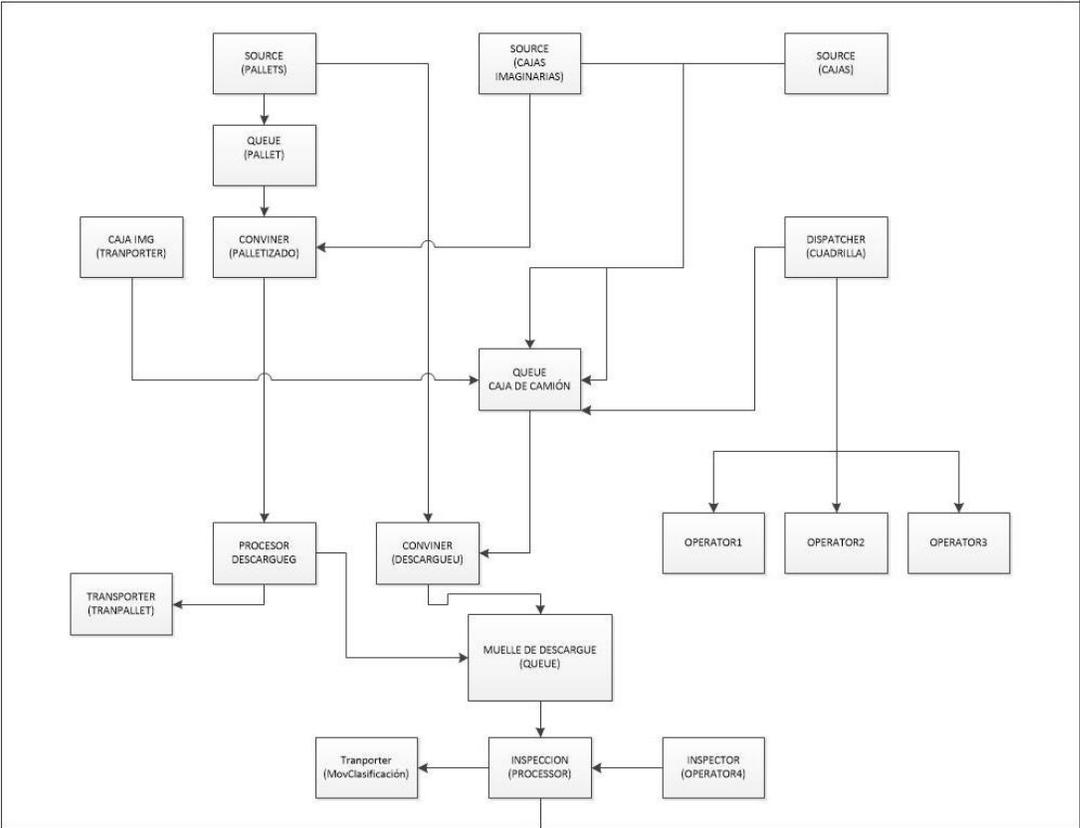
El primer modelo relaciona los tres muelles de descarga con el número de estaciones de clasificación necesarias.

Se hará un diagrama para mostrar la conexión de las zonas de clasificación y muelles de descarga. Se incluyen otros objetos de Flexsim® necesarios.

En los muelles de descarga se eliminarán las Sinks que están conectadas al final del modelo después del Processor de Inspección. Se usará un operario para revisar los pallets descargados de los tres muelles. Este operario será independiente a las brigadas que realizan el descarga de los vehículos. Para esta tarea los Processors que representan la inspección deberán ser desconectados cada uno de su inspector; después se conectarán los tres a un Dispatcher nuevo llamado Inspección; este a su vez se conectará al único inspector. De esta manera los tres muelles comparten al operario que realiza la inspección de los pallets.

Se utiliza también un Transporter para llevar los pallets inspeccionados a cada una de las zonas de clasificación; primero se debe generar un nuevo Dispatcher, este va conectado a los Combiners de las zonas de clasificación y a su vez a los Transporters necesarios para llevar los pallets llenos.

Para mejor detalle es conveniente mirar los siguientes diagramas, el primero donde se detallarán los elementos de un muelle de descarga y una zona de clasificación; y el segundo, donde se mostrará cómo combinar los tres muelles con varias zonas de clasificación.



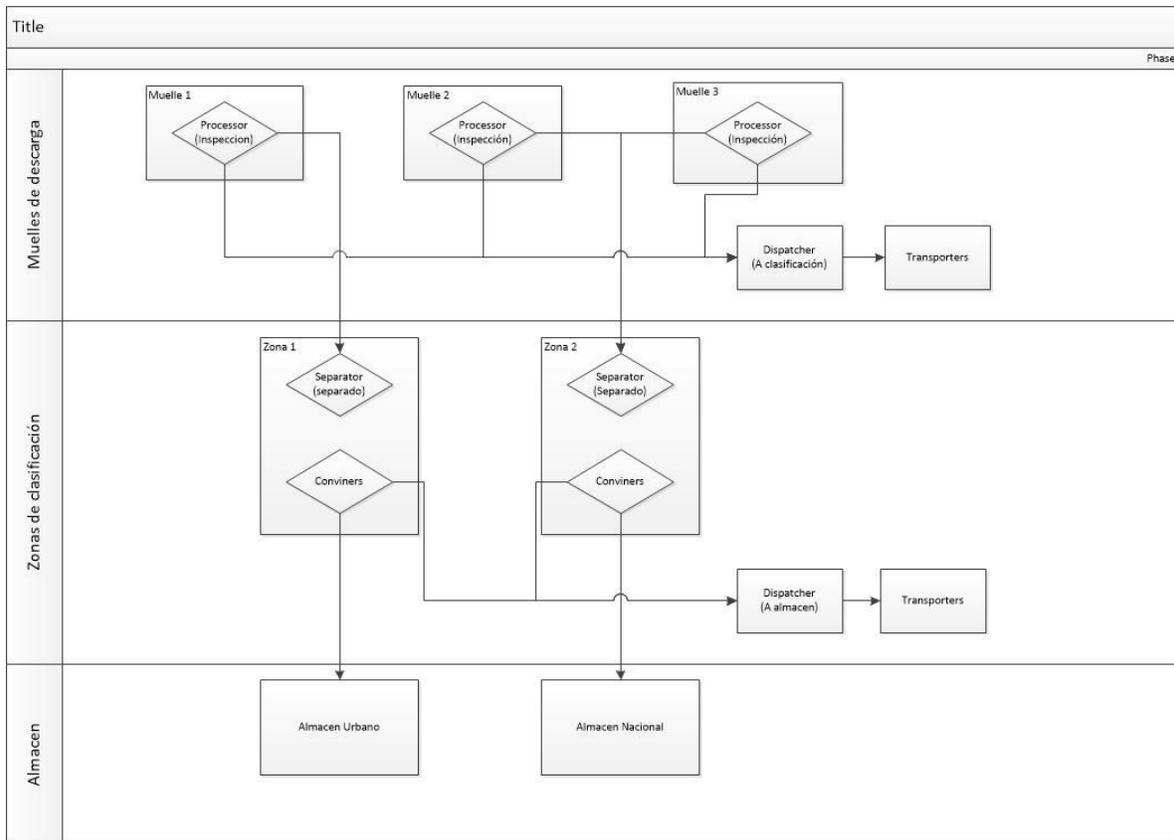


Figura 3.7 Diagrama de conexión de zona de descarga y de clasificación unidas.

3.2.7 Finalización de la operación.

Una vez terminada la clasificación de las cajas se tienen varios pallets de destino que no están totalmente llenos; en ese momento un conjunto de Transpallet los llevará a Almacén entre más zonas de clasificación haya más Transpallets eléctricos serán necesarios para acomodar en tiempo todos los pallets incompletos. Es en este punto donde se vuelve más claro el alto nivel de combinatoria que representa el problema del diseño de planta.

La actividad de clasificación relaciona a las dos macro actividades restantes se enlaza con la descarga y la operación de carga que no puede comenzar hasta que está haya terminado.

Entonces, una vez que termina el proceso de clasificación comienza a realizarse el proceso intermedio de llevar aquellos pallets que no fueron llenados totalmente a

la zona de almacén para que estén listos antes de la carga. Esta parte del proceso tiene que modelarse por separado, ya que resulta más sencillo.

Se considera de nuevo el modelo utilizado para la operación y la clasificación y la descarga donde hay algunas diferencias; primero se retirarán los muelles de descarga y se remplazarán por dos pares de Sources por cada zona de clasificación para abastecerlas de cajas y pallets; también se removerán los Dispatcher y Transpallets que llevan de los muelles de descarga el producto hacia las zonas de clasificación; por último, se removerán el Dispatcher y el equipo de operarios que realizan la clasificación.

Las Sources de pallets y cajas tendrán el número exacto de pallets y cajas para que haya un pallet lleno en cada Combiner en el tiempo cero de la simulación, por tanto se entiende que las Sources estarán configuradas para Arrival Schedule, para una descripción más detallada del modelo vea las figuras 3.8, 3.9, 3.10 y las tablas 3.5 que se muestran.

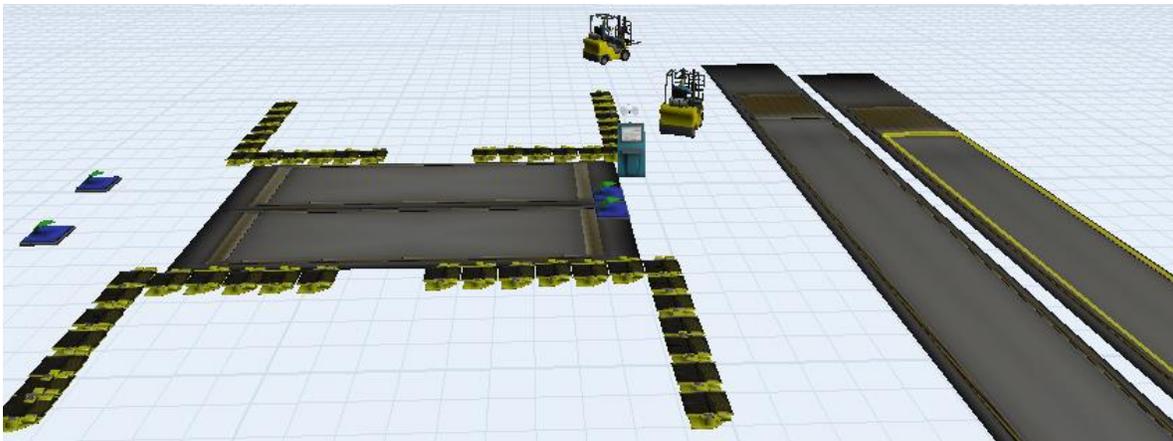


Figura 3.8 Operación final dentro la zona de clasificación. (Fuente: Elaboración propia. Impresión de pantalla Flexsim).

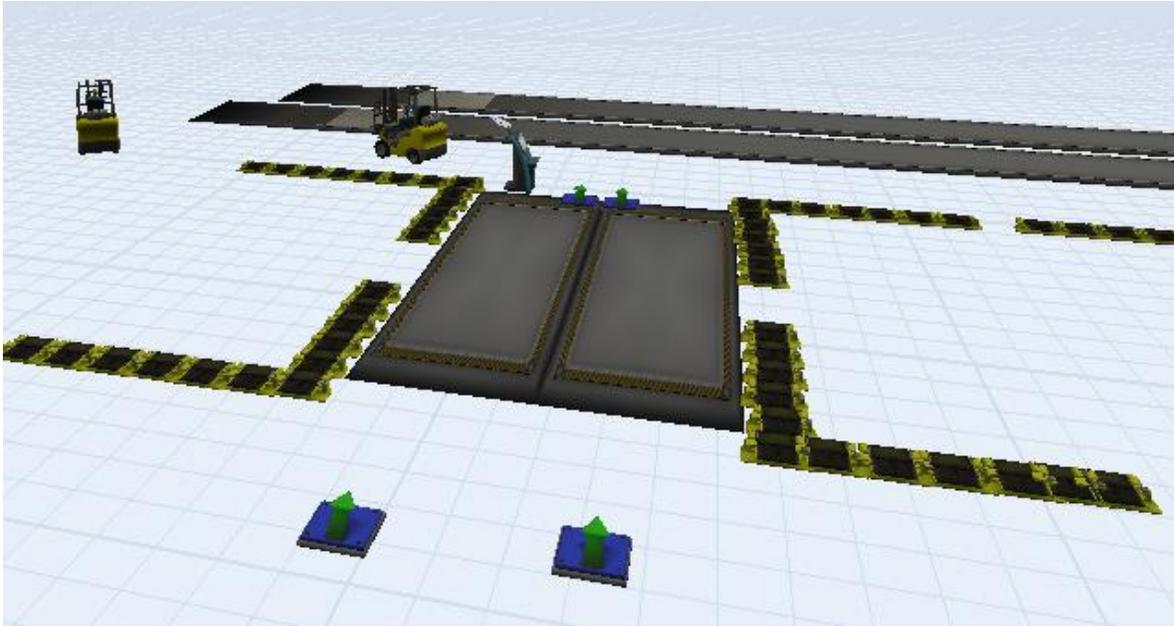


Figura 3.9 Operación final dentro la zona de clasificación. (Fuente: Elaboración propia. Impresión de pantalla en Flexsim).

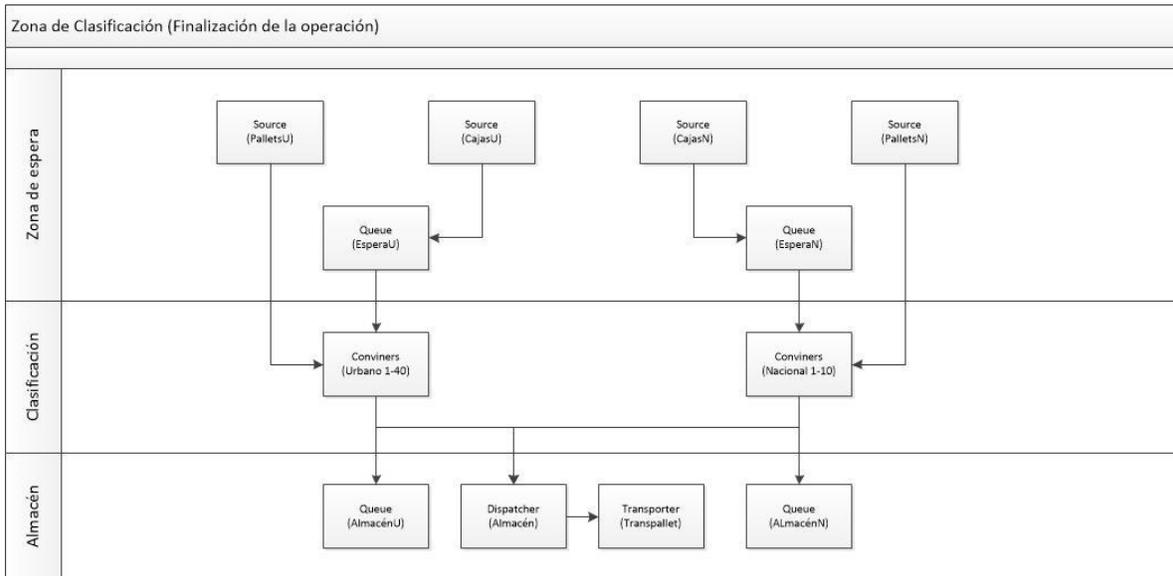


Figura 3.10 Diagrama de operación final dentro la zona de clasificación. (Fuente: Elaboración propia)

Proceso de Clasificación: Finalización de la operación			
Objeto de Flexsim®.	Características		
	En la Entrada	En la Operación	En la Salida
Source (PalletsU)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (CajasU)	1 Source Flowitem Class Pallet	S/C	S/C
Source (PalletsN)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (CajasN)	1 Source Flowitem Class Pallet	S/C	S/C
Queue (EsperaU)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Queue (EsperaN)	1 Source Flowitem Class Box	S/C	S/C
Queue (EsperaU)	1 Queue Maxim Content 1500	S/C	2 Flow Send to port: Random Port 3 Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Queue (EsperaN)	Queue Maxim Content 1500	S/C	2 Flow Send to port: Random Port 3 Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Combiners (Urbano 1-40)	General Input ports 1: PalletsU 2: EsperaU	Combiner From input port 2 125	Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Combiners (Nacional 1-10)	General Input ports 1: PalletsN 2: EsperaN	Combiner From input port 2 125	Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Dispatcher (Almacén)	Dispatcher Pass to First Aviable	S/C	S/C
Transporter (Transpallet)	Transporter Max speed 114.29	Tranporter Load time Triangular: (1.2,2,1.6)	S/C
Queue (AlmacenU)	S/C	S/C	S/C
Queue (AlmacenN)	S/C	S/C	S/C

Tabla 3.5 Configuración de la parte final de la zona de clasificación.

3.3 Desarrollo del proceso de Carga

El proceso de carga requiere del espacio de almacén, los pallets acomodados previamente, los Transpallets que realizarán la operación y los muelles de carga. Dado que esta operación requiere que todas las operaciones anteriores hayan sido concluidas en el tiempo cero de la simulación, se ingresarán al modelo las cajas empaquetadas en pallets.

Número de muelles de Carga: El número de muelles de descarga seleccionado será el mismo para todos los escenarios y debe de ser el número menor posible que logre atender todas las salidas del día en un tiempo menor a dos horas. Se puede aumentar la velocidad de carga de un camión con tan sólo aumentar el número de Transpallets que se involucran en la operación.

Todos los muelles deben de estar funcionando al mismo tiempo para aprovechar el tiempo y los recursos sin tener tiempo ocioso en ninguno de ellos, pero esto no es posible en todos los casos ya que se tienen que cargar 20 camiones por día y cada uno con un contenido diferente según la entrada de cajas diaria al centro de distribución; lo más aconsejable es que el número de muelles se adapte a un submúltiplo de 20. El número de muelles se establece en los siguientes números cuatro, cinco, siete, diez, etc. En caso de tener seis u ocho muelles, esto resulta ineficiente dado que en el caso de seis, dos muelles atenderían cuatro descargas y cuatro muelles atenderían tres mientras se hacen los últimos descargas en dos muelles los otros cuatro permanecerían libres y el caso de ocho resulta de la misma manera; mientras cuatro muelles están ocupados en la tercera descarga cuatro más tienen un tiempo libre.

La operación de la carga consta de dos pasos. El primer paso es cuando el operario con Transpallet va a la zona de “almacén” y lleva el pallet que cargará al muelle de la carga y el segundo cuando introduce el pallet a la caja del camión y lo acomoda. El tiempo que tarda un Traspallet en llevar el pallet al muelle de carga depende de la velocidad del mismo, y la distancia del “almacén” al muelle. El tiempo que tardó en cargarse un pallet al camión fue aportado como dato y no

puede modificarse. Si se asigna un Transpallet para llevar los pallets del almacén al muelle y uno diferente para cargarlos al camión, se puede reducir al mínimo el tiempo de carga.

El número de pallets: Para calcular el número de pallets a ser cargados hay que considerar lo siguiente; este número de pallets no será igual al número de cajas divididas entre un número de pallets completamente llenos. El número de pallets a cargar incluye los pallets producidos durante el proceso de clasificación y los pallets parcialmente llenos que se produjeron en las estaciones de clasificación. Se calculará el número de pallets a través de simulación para cada escenario con los modelos de clasificación.

Se estima el número de pallets que se genera en un escenario, se calcula el número de cajas necesarias para llenar los pallets, para representar los pallets en los modelos de carga. Entonces el número de cajas de entrada para el modelo de carga no guarda relación con el número de cajas que entró al sistema, pero el número de pallets que se generó en la operación de clasificación es exactamente el mismo que entrará al modelo de carga.

La zona de almacén: La zona de almacén consta de 20 líneas de pallets, una por cada ruta, en ella los pallets que pertenecen a un destino nacional no tienen un orden puesto que todos los pallets que se cargarán al camión se dirigen al mismo destino; para el caso de una ruta urbana, habrá cuatro destinos diferentes; estos se ordenan según se vayan visitando en el recorrido de la ruta. Así, los pallets pertenecientes al primer destino visitado por el camión de la ruta deberán quedar más alejados de los muelles de carga, así sucesivamente, hasta el último destino cuyos pallets estarán más cercanos a los muelles de carga. Este orden se conservará dentro del camión; para que el cargamento asignado a un destino, se encuentre más próximo a la salida del camión al llegar a él.

El ancho de las líneas de pallets será de 2.4 metros (dos pallets juntos colocados por su lado más ancho) y el largo podrá variar según la cantidad de pallets que se

produzcan en el proceso de clasificación; el espacio que se propone para el pasillo entre líneas es de dos metros para que la maniobra de los Transpallet sea posible.

El número de pallets para los destinos urbanos es mayor que para los nacionales dado que el producto está dividido en mayor cantidad de pallets parcialmente llenos al contrario de la carga nacional que se concentra repartido en una menor cantidad de pallets menor.

3.3.1 Modelado

En este modelo habrá elementos que no representan elementos físicos de un ejemplo pero que deben de estar presentes para su buen funcionamiento.

Primero se tienen las fuentes; una de pallets y otra de cajas para producto con destino urbano y otras dos para producto con destino nacional. Para poder empaquetar las cajas en pallets se utilizará un Combiner conectado a las fuentes (pallets y cajas) de rutas urbanas y uno conectado a las fuentes de rutas nacionales. Las salidas de los Combiners estarán conectadas a la zona de almacén que está representada por los Queue's del tamaño de la líneas de pallets; 10 asignadas a producto con destino urbano y 10 asignadas a producto con destino nacional. Los Combiners enviarán producto al almacén. Como para el inicio de este proceso el almacén debe tener ya todo el producto que se embarcará; las fuentes de pallets y cajas deberán configurarse para que en una sola entrega en el tiempo cero de simulación entre todo el producto al modelo. Los Combiners estarán configurados en tiempo de proceso cero para que en este tiempo de simulación todos los pallets estén llenos y dentro del área de almacén. Cada muelle atenderá un número determinado de camiones tratando siempre que la carga de trabajo esté bien distribuida.

Los muelles de carga se modelan con los elementos citados a continuación.

Si un montacargas lleva los pallets a los muelles de carga se necesitará una Queue donde estos esperarán para ser cargados. Una vez ahí serán enviados a un Processor que representa el carga de un pallet en el camión; el tiempo de

proceso de este elemento se carga de acuerdo a la distribución triangular de este proceso. Se necesitará una Source que producirá flowitems para representar los camiones que llegan al muelle para ser cargados. Así, la Source de los camiones y el Processor de donde provendrán los pallets cargados de cajas irán conectados a dos Combiners, uno para representar la carga de camiones urbanos y otro para representar la carga de camiones nacionales. Estos Combiners tendrán que configurarse en cada simulación para recibir el número de pallets que llevará el camión según el escenario. Un Combiner puede unir varios Flowitems en uno sólo, en este caso el camión y cierto número de pallets se unirán en un solo Flowitem que representará un camión cargado. Los Combiners estarán configurados para tener un tiempo de proceso igual al tiempo que tarda un camión en estacionarse para ser cargado; aunque este dato se tomó del tiempo de estacionamiento de un camión para ser descargado se supone un error mayor considerar que no se gasta tiempo en este proceso.

Para facilitar el modelo se invertirán las operaciones primero se hará la carga y después se dejará correr el tiempo de estacionamiento pero es lógico suponer que esta desviación no influye de manera significativa en la representación del modelo.

3.3.2 Observaciones

Aunque el modelo no representa con exactitud el orden de las operaciones, sigue conservando las relaciones importantes entre ellas:

Todos los pallets tienen que ser cargados al camión.

Siempre y cuando no haya un camión en el muelle no se puede llevar a cabo el proceso de carga.

Siempre y cuando el camión esté en la zona de estacionamiento en el muelle, todos los pallets estarán en espera de ser cargados.

Un camión no puede salir del muelle hasta que haya pasado por las operaciones de estacionamiento y carga.

Un camión de ruta urbana llevará un número determinado de pallets y un camión de ruta nacional otro número diferente de pallets, para cada escenario.

3.3.3 Diagrama de conexión.

En la imagen siguiente se muestran los elementos utilizados para la simulación de la operación de carga, sólo se muestran los elementos que componen un muelle de descarga; cada muelle está conectado a una Queue(PNacionalx) y la Queue(PUrbanox). Consideran 10 muelles de carga.

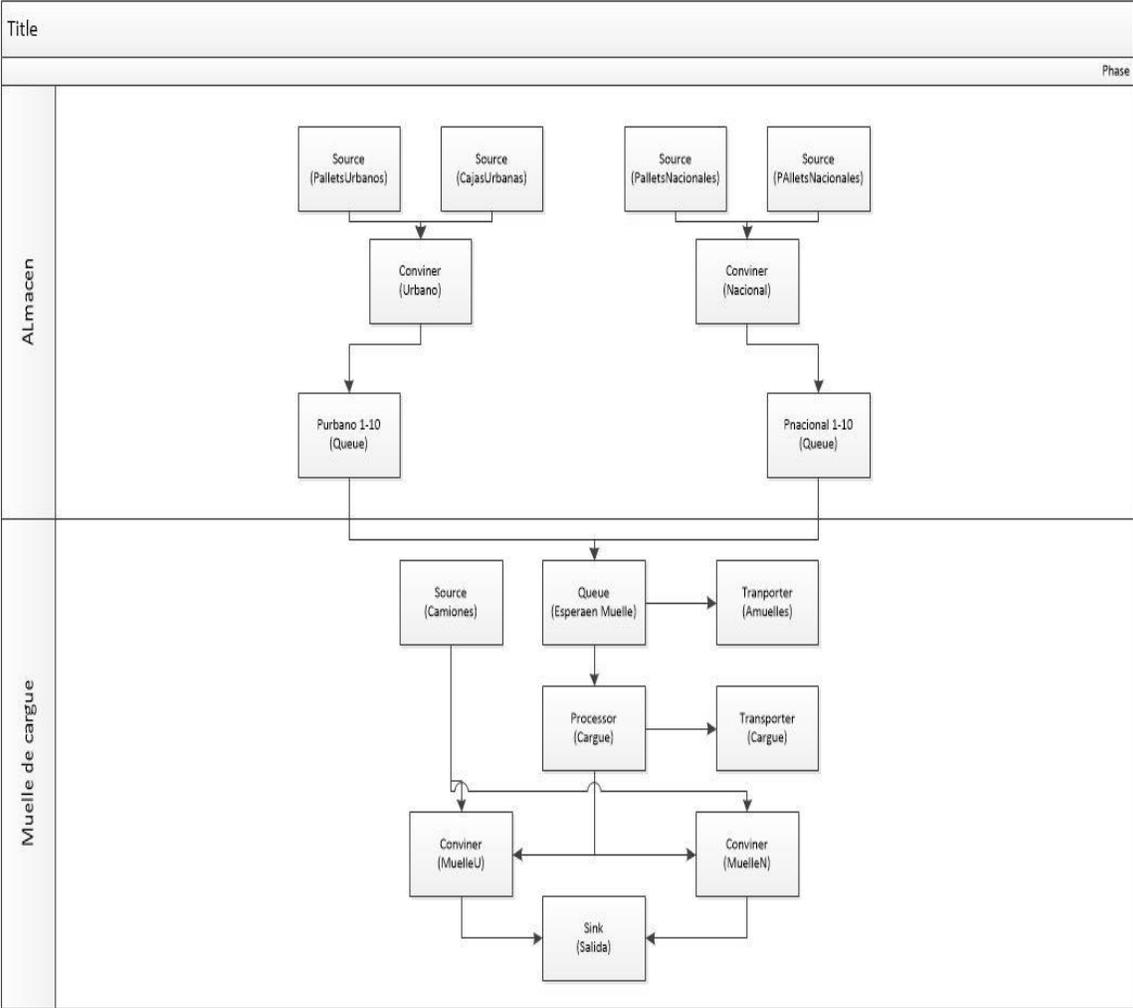


Figura 3.11 Diagrama de zona de carga. (Fuente: Elaboración propia).

Proceso de Carga: Muelle de Carga			
Objeto de Flexsim®.	Características		
	En la Entrada	En la Operación	En la Salida
Source (PalletsU)	1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (CajasU)	1 Source Flowitem Class Pallet 1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (PalletsN)	1 Source Flowitem Class Box 1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Source (CajasN)	1 Source Flowitem Class Pallet 1 Source Arrival Style Arrival Schedule	S/C	S/C
Combiners (PasilloU)	1 Source Flowitem Class Box General Input ports 1: PalletsU 2: CajasU	Combiner From input port 2 125	S/C
Combiners (PasilloN)	General Input ports 1: PalletsU 2: CajasU	Combiner From input port 2 125	S/C
Queue (PasilloU 1-10)	1 Queue Maxim Content Según escenario	S/C	2 Flow Send to port: First Available 3 Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Queue (PasilloN 1-10)	1 Queue Maxim Content Según escenario	S/C	2 Flow Send to port: First Available 3 Flow Use transport: Centerobject (current,1)
Dispatcher (Equipo de clasificación)	Dispatcher Pass to First available	S/C	S/C
Dispatcher (Almacén)	Dispatcher Pass to First Available	S/C	S/C
Transporter (A muelles)	Transporter Max speed 114.29	Transporter Load time Triangular: (1.2,2,1.6)	S/C
Queue (Espera en Muelle)	S/C	S/C	S/C
Source (Camiones)	S/C	S/C	S/C

Proceso de Carga: Muelle de Carga (continúa)			
Objeto de Flexsim®.	Características		
	En la Entrada	En la Operación	En la Salida
Processor (Carga)	Processor ProcessTime: Triangular(0.6,1.4,0.9,0) Pick up operator: Byname: TransporteX Flow: Send to port: by expression S/C	S/C	S/C
Transporter (Carga)	S/C	S/C	S/C
Combiner (MuelleU)	ProcessTime Setup time Normal(2.5,0.166,0)	Combiner From input port 2 (varia según el scenariio)	S/C
Combiner (MuelleN)	ProcessTime Setup time Normal(2.5,0.166,0)	Combiner From input port 2 (varia según el scenariio)	S/C
Sink(Fin)	S/C	S/C	S/C

Tabla 3.6 Configuración de zona de carga.

3.4 Comprobación del modelo (validación)

Con el fin de comprobar que el modelo conserve el comportamiento del sistema real, normalmente se usan datos históricos de desempeño para compararlos. En este caso en donde no se cuenta con información estadística y dado que se utiliza la simulación para proponer una nueva configuración de planta; se tendrá que optar por otras técnicas para corroborar que el modelo representa el comportamiento del sistema real.

La actividad principal del centro de distribución es la clasificación de las cajas de revistas, por ello, será crítico comprobar que esta actividad se represente de manera correcta. Previamente se hizo un análisis de la operación como un modelo de teoría de colas del cual se contaba con suficientes parámetros para ser simulado. Para comprobar que tal modelo representa el sistema real se efectúa un segundo análisis donde la actividad se descompone en sus elementos más básicos.

Se calcula un parámetro por un método aritmético y por otro lado se realiza una serie de eventos de simulación con el modelo para estimar el mismo parámetro. Si hay coincidencia entre ambos se considerará que el modelo representa al sistema real fielmente.

3.4.1 Análisis de la actividad de clasificación como un sistema de colas

Se elige el parámetro de la capacidad media de operación en el caso de la actividad de clasificación será las cajas clasificadas por hora en una estación de clasificación.

Para calcular de manera teórica este parámetro se considerará la zona de clasificación como un sistema de teoría de colas.

- La zona de espera donde los pallets llegan para iniciar su clasificación será la línea de espera, donde cada caja a clasificar es un cliente.
- El tiempo de servicio se compondrá del tiempo que le lleva a cada operario leer la etiqueta de destino más el tiempo que tarda en llevarla a su pallet de destino y regresar a la zona de clasificación para tomar la siguiente caja.
- Se acotará el proceso de clasificación desde la presencia de las cajas en la zona de espera de una zona de clasificación hasta su presencia en los pallets de destino; ningún transporte de los pallets ni desde ni hacia la zona de clasificación se tomará en cuenta.
- Cada operario del equipo de clasificación se considerará un servidor con las mismas características.
- Se considera que la clasificación de una caja por cada uno de los operarios son eventos aleatorios, es decir, el tiempo que tarde uno no influye con el tiempo que tomarán los otros, aunque esto no sea del todo cierto en un caso real, se hará esta acotación para poder realizar los cálculos.

La actividad de la clasificación de las cajas de revistas se considera un sistema de teoría de colas con una sola cola y múltiples servidores de las mismas características.

3.4.2 Formulación

Como datos del proyecto se tienen las velocidades de los operarios sin carga y con carga, podríamos suponer que el mismo trayecto que el operario sigue para dejar una caja en un pallet de destino es el mismo que tarda para regresar entonces si recorre dos veces el mismo trayecto ($T = 2D/V_x$), una vez a una velocidad y la siguiente a una velocidad diferente podemos encontrar una velocidad equivalente con la cual tardaría el mismo tiempo en recorrer el trayecto dos veces que si cambiará su velocidad de ida y de regreso. Para lo cual se plantean las formulas siguientes:

Velocidad con Carga $V_1 = 1.5 \text{ Km/h}$

Velocidad sin Carga $V_2 = 4.5 \text{ Km/h}$

Formula de la velocidad

$$V = \frac{D}{T}; \text{ Velocidad} = \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}}$$

de donde $T = \frac{D}{V}$ igualando el tiempo de recorrido

Si se tiene que

$$T = \frac{2D}{V_x} \text{ --- (1)}$$

$$T = \frac{D}{V_1} + \frac{D}{V_2} \text{ --- (2)}$$

Igualando (1) con (2)

$$\frac{2D}{V_x} = \frac{D}{V_1} + \frac{D}{V_2}$$

Despejando V_x ;

$$\frac{2D}{V_x} = D \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right)$$

$$V_x = \frac{2}{\left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right)} \text{---(3)}$$

Sustituyendo los valores de V_1 y V_2 en LA ECUACIÓN (3), se obtiene:

$$V_x = \frac{2}{\left(\frac{1}{1.5 \frac{km}{h} \left(\frac{1000m}{1km} \right) \left(\frac{1h}{60min} \right)} + \frac{1}{4.5 \frac{km}{h} \left(\frac{1000m}{1km} \right) \left(\frac{1h}{60min} \right)} \right)} = 37.5 \text{ m/min}$$

Para calcular el tiempo que tarda en clasificarse una caja haremos uso de la fórmula de la velocidad igual a distancia sobre tiempo, despejando el tiempo tendremos una expresión para calcularlo a partir de las otras 2 variables.

Una vez calculada V_x se usará $T_i = \frac{D_i}{V_x}$ para calcular el tiempo de servicio para cada pallet de destino.

La distancia que toma en llevar una caja a su correspondiente pallet es diferente de acuerdo a su destino y con la posición que ocupe la caja en la zona de espera y la posición que vaya a ocupar dentro del pallet. Para llegar a un único valor se toma la distancia a recorrer para clasificar una caja desde el centro de la zona de espera hasta el centro del pallet de destino en cuestión, contando el viaje para llevarla y el viaje para regresar a la zona de espera. Una vez así, la distancia puede variar según la ubicación del pallet de destino.

El número de pallets en una zona de clasificación es de 50 colocados en un arreglo de espejo; 25 pares de pallets estarán a la misma distancia del centro de la zona de clasificación pero en diferentes direcciones, también por el arreglo de pallets hubo otras coincidencias en cuanto a la distancia a recorrer. Se calculó la

distancia a recorrer en cada evento y con el valor V_x se calcularon los valores de tiempo. La tabla que resume los resultados se presenta a continuación.

Análisis de ocurrencia		
Casos	Tiempos	Probabilidad
Nacional		
1	0.137119575	0.4
2	0.086162637	0.4
3	0.189389663	0.2
Urbanos		
1	0.348140457	0.1
2	0.295073625	0.1
3	0.242123935	0.1
4	0.189389663	0.05
5	0.359713466	0.1
6	0.381808562	0.1
7	0.412739358	0.1
8	0.450690335	0.1
9	0.494046332	0.1
10	0.541510644	0.1
11	0.592096088	0.05

Tabla 3.7 Análisis de ocurrencia

Para convertir este conjunto de valores en un solo valor se utiliza la esperanza matemática del tiempo, abordando el tema con probabilidades simples. Los eventos posibles son 50 y se calcula el tiempo de clasificación para cada uno; de tal forma que la probabilidad de ocurrencia de cada evento es de $1/50 = 0.02$, es decir, 2% como para algunos eventos la distancia a recorrer es la misma, en la tabla aparecen como un solo evento agrupado con una probabilidad mayor de ocurrencia. Como los pallets de destino nacional están más cerca de la zona de espera y los pallets de destino urbano quedan más lejos, se generó una esperanza matemática para las cajas que tiene destino nacional y otra para las que tienen un destino urbano. Así, teniendo una idea de cómo se comporta el proceso se calculó la esperanza como:

$$E(x) = \sum_{i=0}^n P(X_i) * X_i \text{ dandocomo resultado}$$

$$E(x) = 0.1271 \text{ min para cajas nacionales}$$

$$E(x) = 0.3916 \text{ min para cajas urbanas}$$

Como las proporciones de entrada de producto nos indican que el 60% de las cajas tienen un destino nacional y el 40% de las cajas tienen un destino urbano, se asumirá que el 60% de los casos la operación tomará 0.1271 minutos y el 40% de los casos tomará 0.3916 minutos aplicando de nuevo el concepto de esperanza matemática al tiempo de operación del proceso, en general queda como:

$$E(x) = \sum_{i=0}^n P(X_i) * X_i = (0.1271)(0.60) + (0.3916)(0.40) = 0.2329 \text{ min por caja.}$$

El tiempo de proceso total se compone de este tiempo además del que toma leer la etiqueta de destino, los datos del proyecto definen una distribución triangular, se toma como dato representativo un tiempo de lectura de la etiqueta de 0.58 minutos por caja, como se menciona en el capítulo 2 en el apartado 2.2.2. Clasificación

Entonces el estimador del tiempo de clasificación de una caja es:

$$T = 0.2329 + 0.58 = 0.8129 \text{ min para clasificar una caja.}$$

Como consideramos la operación de cada empleado como independiente las cajas totales clasificadas en una hora de trabajo en una zona de clasificación será

la suma de las cajas clasificadas por cada uno de los operarios en esta. Así que siguiendo la lógica de este tiempo de clasificación por caja, el número de cajas clasificado en una hora queda como sigue:

λ = Tasa de servicio del sistema medida en Cajas clasificadas por hora.

$$\lambda = \frac{60min}{0.8129 \frac{min}{caja}} C \quad \text{donde } C \text{ es el número de operarios en este caso } 12$$

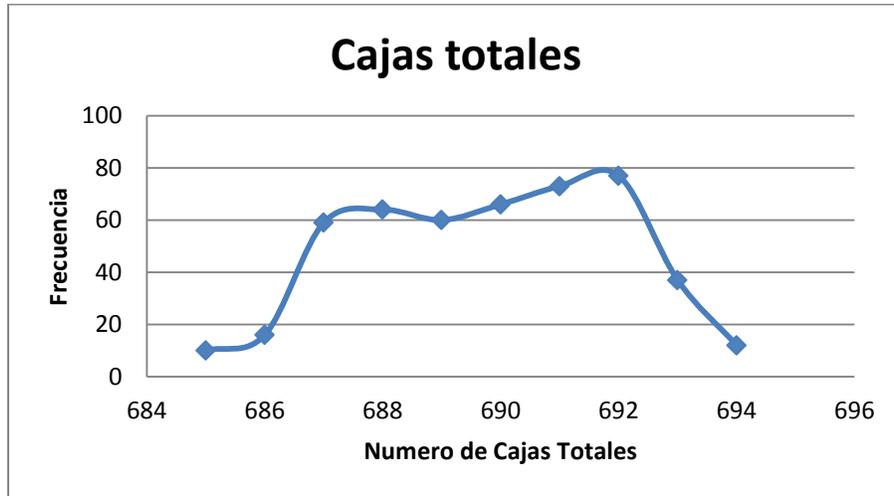
$$\text{Entonces } \lambda = \frac{\frac{60min}{1h}}{0.8129 \frac{min}{caja}} * (12) = 885.6327 \frac{cajas}{hora}$$

3.4.3 Cálculo de Capacidad de servicio por simulación

Para calcular el parámetro a través del modelo se realizaron 474 simulaciones y se tomó la media del conjunto de valores para estimar la capacidad de proceso. Se hicieron múltiples eventos discreto en los cuales el modelo simulaba durante una hora y al término de cada simulación se midió la cantidad de cajas clasificadas. Se tomaron medidas acerca de las cajas nacionales y de las cajas urbanas por separado además de las cajas totales.

Cajas Totales Clasificadas	Frecuencia
685	10
686	16
687	59
688	64
689	60
690	66
691	73
692	77
693	37
694	12
Total	474

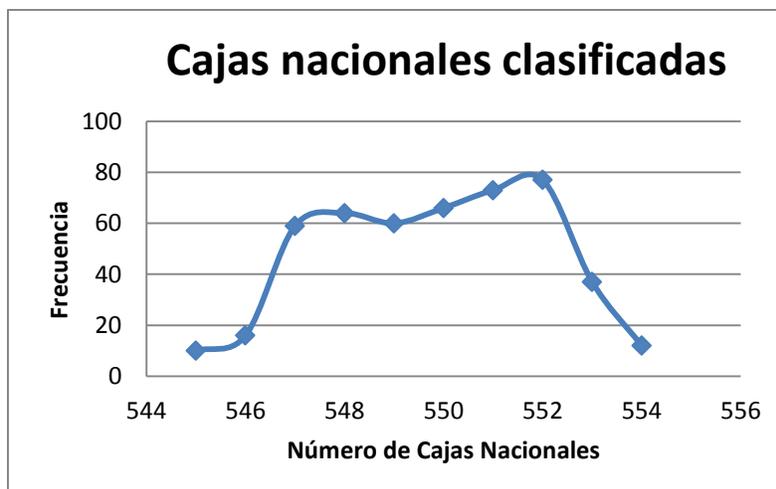
Tabla 3.8 Cajas clasificadas.



Gráfica 3.4 Frecuencia de cajas totales

Cajas Nacionales Clasificadas	Frecuencia
545	10
546	16
547	59
548	64
549	60
550	66
551	73
552	77
553	37
554	12
Total	474

Tabla 3.9 Cajas nacionales clasificadas



Gráfica 3.5 Cajas Nacionales Clasificadas

Cajas Urbanas clasificadas	Frecuencia
140	474
total	474

Tabla 3.10 Cajas urbanas clasificadas

Para comparación del número de Cajas Totales se tomará la media para representar el conjunto de valores así como en el caso de las Cajas Nacionales; dado que el valor de Cajas Urbanas se conserva se tomará tal como está.

Cajas Urbanas Clasificadas	140
Cajas Nacionales Clasificadas	549.8037975
Cajas Totales Clasificadas	689.8037975

Tabla 3.11 Comparación del número de cajas

3.4.4 Conclusiones

Los datos determinados por ambos métodos difieren de manera importante, pero como en cualquier método donde las soluciones se generan por medio de aproximaciones se obtiene una mayor precisión si se maneja más información para generar el resultado. En el caso del cálculo teórico se fue manejando la información a manera de simplificar la obtención de un resultado, pero al considerar menos información su precisión se ve mermada. Por ejemplo, en la simulación se considera que la posición de una caja tanto en la zona de clasificación, así como, en el pallet de destino puede variar dando así diferentes distancias por recorrer; a su vez se considera a cada operario como parte de un equipo coordinado que realiza una actividad y como “servidores” independientes que realizan una actividad aisladamente. Además, el proceso de lectura de etiqueta se toma como una distribución triangular. La variabilidad intrínseca del proceso se calcula de manera más sofisticada, pero, el número de operaciones que tiene que realizar el simulador no se pueden comparar. En cambio el cálculo teórico tiene como finalidad simplificar y reducir el número de operaciones a realizar.

El porcentaje de error en un método de estimación se puede calcular a través de la diferencia absoluta entre el valor calculado y el valor real, dividida entre el valor real y este cociente multiplicado por 100. Dadas las circunstancias evaluaremos un error respecto del valor calculado. Es decir, evaluaremos la distancia en porcentaje del valor calculado al valor obtenido por simulación.

El cálculo se ilustra a continuación:

$X_m =$ Cajas totales clasificadas = 689.80 (de la Tabla 3.12)

$X_c = \lambda = 853.63$ (calculado, página 107)

$$Error = \left(\frac{|X_m - X_c|}{X_c} \right) * 100$$

$X_c =$ Resultado Calculado

$X_m = \text{Resultado obtenido por simulación.}$

$$\text{Error} = \left(\frac{|689.80 - 885.63|}{885.63} \right) * 100 = 22.11\%$$

Tomando en cuenta el resultado como la mejor propuesta de comprobación podemos ver un resultado teórico en el cual se estima una capacidad de servicio mayor que en la simulación; es usual que el sistema real tenga un rendimiento menor que el calculado teóricamente, dados los factores aleatorios que afectan la operación pero no se pueden representar en el modelo.

3.5 Diseño de escenarios

Dado que el caso considera una demanda diaria variable, es conveniente considerar su solución a través del análisis por escenarios considerando las variables críticas. También es importante tener clara la meta que se persigue al utilizar esta alternativa.

Se debe considerar la garantía de calidad: “Se deben de descargar, clasificar, distribuir y embarcar todas las cajas que ingresen en el centro de distribución cada día, el 99% del producto que ingrese”.

Uno de los objetivos del proyecto es determinar que recursos se consumirán para satisfacer esta garantía; teniendo en cuenta las distribuciones de las variables en cuestión:

(Número de cajas contenidas en un camión urbano, número de pallets contenidos en un camión grande, el número de llegadas de camiones urbanos y el número de llegadas de camiones grandes).

Como se mencionó en capítulos anteriores el contenido de los camiones; tanto el número de cajas como el número de pallets se comportan de manera normal cada uno con una distribución normal, esto se comprobó a través de pruebas de bondad y ajuste. De esta manera se pueden generar datos aleatorios representativos de estas variables; en cuanto a las llegadas de camiones urbanos y grandes no se

determinó si ambos seguían la distribución de Poisson. Se consideró como mejor alternativa para atacar de manera adecuada este caso, usar un análisis por escenarios puesto que en general para este caso es de mayor importancia el análisis de los datos pico que el comportamiento general de la distribución.

Los escenarios estarán determinados por las variables: número de llegadas de camiones grandes y número de llegadas de camiones urbanos en un día; dadas estas variables se generan otras según la naturaleza de la operación (número de cajas a distribuir, número de pallets a cargar en un camión, tiempos de proceso, etc.) y, al final, ajustándose a los requerimientos del proyecto se persigue determinar las variables referidas a recursos (equipo e instalaciones que se ocupan, número de operarios involucrados en la operación, tiempo de trabajo)

Es natural suponer que si aumenta el número de camiones que llegan al centro de distribución, aumentará la cantidad de recursos que se invertirá para procesar su contenido; si disminuye el número de camiones que llega también disminuirán los recursos necesarios para atenderlos. Bajo este razonamiento daremos por entendido que si evaluamos los recursos necesarios para atender el número menor de llegadas presentado, el número más Probable de llegadas y el número de llegadas mayor presentado. Entonces, podremos determinar el intervalo de recursos necesarios para atender la demanda en el rango de los valores históricos.

Con este razonamiento si se desarrollan de manera efectiva las configuraciones de la planta para los tres escenarios se asegura cumplir con la garantía de “Embarcar todo el producto recibido el mismo día en que es recibido”.

Los tres escenarios que se utilizarán para el análisis son:

- 1.-El escenario con menor número de llegadas por día.
- 2.-El escenario con el número más Probable de llegadas por día.
- 3.-El escenario con el número mayor de llegadas por día.

La manera en que se componen estos tres escenarios se da a continuación:

Escenarios	Camiones grandes	Camiones urbanos
Menor número de llegadas por día	5	10
Número más Probable de llegadas por día	9	21
Número mayor de llegadas por día	15	37

Tabla 1.12 Llegadas de camiones según los escenarios

Las características de la configuración se determinarán por medio de simulaciones distribuyendo los recursos de la manera más eficiente a criterio del equipo que desarrolle el proyecto. Los resultados de simulación y los criterios para determinar la configuración de planta conforme sea el escenario se muestran en apartados posteriores.

Capítulo 4

Análisis de resultados

Objetivo: Conocer los resultados, del análisis de la simulación y mostrar la mejor solución para el caso de estudio.

4.1 Resultados de la simulación.

A continuación se proporcionan los resultados de la simulación. Como se mencionó anteriormente cada escenario será representado por tres modelos:

*Modelo de carga y clasificación.

*Modelo de finalización de la operación de clasificación.

*Modelo de la operación de carga.

El único dato que se toma en cuenta en esta sección es el tiempo de operación que se determinó y se evalúa si se considera que cumplen con la garantía de calidad:

“Todo el producto que se reciba, se clasifica y entrega ese mismo día, el 99% de las veces”

Para esto no hay olvidar que no se permite la contratación de mano de obra en tiempo extra, por lo tanto la operación siempre termina a las 10:00 de la noche.

Los modelos de clasificación son los más complejos pues combinan miles de operaciones; la simulación incluye datos provenientes de las distribuciones normales y triangulares, por ello, tendrá una mayor variabilidad el tiempo de operación. Se evalúan los resultados arrojados, por el software para determinar si cumplen con la garantía de distribución de todo el producto que llegó el mismo día al CEDIS.

Para la simulación de los modelos de acomodo recordemos que representan el traslado de los pallets que no se terminaron de llenar en las estaciones a la zona de almacén. Para cada escenario el número mayor de pallets que se tendría que llevar se daría si los pallets de todas las estaciones están parcialmente llenos. Por lo tanto, para cada escenario en el modelo de acomodo se considera este evento; todos los pallets llenos parcialmente, así se asegura que se esté considerando el mayor tiempo posible que tomará esta actividad-

En el caso de los modelos de carga recordemos que la meta de esta actividad es llevarse a cabo en un tiempo máximo de dos horas; de las 8:00 a las 10:00 pm; los tiempos de operación para el escenario menor y para el escenario más Probable no representan un caso crítico puesto que el número de muelles no cambia se da por entendido que sí se puede efectuar la operación para cargar los camiones una vez que ha llegado la mayor cantidad histórica

Hay dos preguntas por resolver ¿Cuántos pallets se han llenado con las cajas de revistas acomodadas de acuerdo a su destino en cada escenario y cuantos deben de ser cargados en cada camión?

Para conocer estos valores se tomarán en cuenta el número de pallets que se llenaron en la etapa de clasificación y el número de pallets parcialmente llenos, máximo que se llevará a la zona de almacén en el acomodo. El número de pallets que se llenan en la etapa de clasificación se estimará debido a que es variable y se ilustrará en cada caso.

Así, se obtiene el número máximo de pallets a generar en cada escenario; para saber el número de pallets que deberán cargarse por camión se tomará en cuenta la información proporcionada para realizar el proyecto.

Los pallets llenos con destino urbano se reparten de manera uniforme en las rutas urbanas y los pallets con destino nacional se reparten entre las rutas con destino nacional de manera uniforme. Es posible que no se repartan los pallets de manera uniforme por ello se estiman el número inmediato mayor, tal que, quede cubierto el número mayor de pallets posibles a cargar en un camión.

Son 20 los camiones para este proyecto se considera que un camión puede contener cualquier cantidad de pallets que se hayan generado; es decir, sólo en 20 camiones es posible repartir todo el producto que ha entrado en el CEDIS no importa cuántos pallets sean no se necesitarán más camiones, que uno por ruta.

4.1.1 Escenario con menor número de llegadas por día.

Datos arrojados por el modelo de carga y clasificación.							
Tiempo aproximado para las llegadas				2.5 Hrs.			
Número de prueba	Tiempo	Llenos completamente			Llenos parcialmente		
		Pallets totales	Pallets Urbanos	Pallets Nacionales	Pallets totales	Pallets Nacionales	Pallets Urbanos
1	567.17	90	0	90	200	40	160
2	520.53	85	0	85	200	40	160
3	568.22	89	0	89	200	40	160
4	598.87	89	0	89	200	40	160
5	501.44	84	0	84	200	40	160
6	535	87	0	87	200	40	160
7	500	85	0	85	200	40	160
8	497	82	0	82	200	40	160
9	487.98	81	0	81	200	40	160
10	498.7	82	0	82	200	40	160
11	536	91	0	91	200	40	160
12	509.35	83	0	83	200	40	160
13	592	90	0	90	200	40	160
14	517.71	81	0	81	200	40	160
15	527.64	91	0	91	200	40	160
16	549.41	92	0	92	200	40	160
17	506.76	83	0	83	200	40	160
18	506.38	84	0	84	200	40	160
19	570.74	91	0	91	200	40	160
20	498.04	83	0	83	200	40	160
21	543.57	91	0	91	200	40	160
22	481.7	81	0	81	200	40	160
23	507.68	82	0	82	200	40	160
24	525.75	86	0	86	200	40	160

Tabla 2.1 Resultados de la simulación del modelo de carga y clasificación

Datos arrojados por el Modelo de Finalización de la operación de Clasificación. (8 Transpallets)	
1	74.04
2	74.04
3	74.04
4	74.04
5	74.04
6	74.04
7	74.04
8	74.04
9	74.04
10	74.04
11	74.04
12	74.04
13	74.04
14	74.04
15	74.04

Tabla 4.2 Resultados del modelo de la finalización de la operación de clasificación.

4.1.2 Escenario con el número más Probable de llegadas por día

Datos Arrojados por el Modelo de Carga y Clasificación							
Tiempo aproximado para las llegadas			5.4 Hr				
Numero de prueba	Tiempo	Llenos completamente			Llenos parcialmente		
		Pallets totales	Pallets Urbanos	Pallets Nacionales	Pallets totales	Pallets Nacionales	Pallets Urbanos
1	606.16	127	0	127	250	50	200
2	686.42	137	0	137	250	50	200
3	629.79	138	0	138	250	50	200
4	683.88	137	1	136	250	50	200
5	671.63	130	1	129	250	50	200
6	664.84	140	0	140	250	50	200
7	669.41	140	0	140	250	50	200
8	628.31	143	0	143	250	50	200
9	646.84	131	0	131	250	50	200
10	635	135	0	135	250	50	200
11	624.57	137	0	137	250	50	200
12	624.17	143	0	143	250	50	200
13	645.46	138	0	138	250	50	200
14	649.12	141	0	141	250	50	200
15	599.58	125	0	125	250	50	200

Tabla 4.3 Resultado del modelo con la mayor frecuencia de llegada

Datos arrojados por el Modelo de Finalización de la operación de Clasificación. (10 Transpallets)	
1	88.09
2	88.09
3	88.09
4	88.09
5	88.09
6	88.09
7	88.09
8	88.09
9	88.09
10	88.09
11	88.09
12	88.09
13	88.09
14	88.09
15	88.09

Tabla 4.4 Resultados del modelo de finalización de la operación de la clasificación.

4.1.3 Escenario con el mayor número de llegadas por día.

Datos Arrojados por el modelo de Carga y clasificación.							
Tiempo aproximado para las llegadas			10 Hr				
		Llenos completamente			Llenos parcialmente		
Numero de prueba	Tiempo	Pallets totales	Pallets Urbanos	Pallets Nacionales	Pallets totales	Pallets Nacionales	Pallets Urbanos
1	647	273	13	260	350	70	280
2	626.49	268	10	258	350	70	280
3	625.57	270	6	264	350	70	280
4	622.22	250	0	250	350	70	280
5	625.26	270	10	260	350	70	280
6	624.26	269	13	256	350	70	280

Tabla 4.5 Resultados del modelo con mayor número de llegadas por día

Datos arrojados por el Modelo de Finalización de la operación de Clasificación. (14 Transpallets)	
1	87.88
2	87.88
3	87.88
4	87.88
5	87.88
6	87.88
7	87.88
8	87.88
9	87.88
10	87.88
11	87.88
12	87.88
13	87.88
14	87.88
15	87.88

Tabla 4.6 Resultados del modelo de finalización de la operación de la clasificación.

4.1.4 Resultados para el modelo de carga.

Se decide que 10 muelles de carga son los idóneos para cargar las 20 rutas que se encargan de transportar el producto clasificado. La operación de carga tiene un horario de 20:00 a 22:00 hrs. Se busca cumplir con este tiempo, por ello, se busca que los tiempos de operación con un número determinado de muelles dado sean menores a 120 minutos para aceptar el número de muelles propuesto. Se toman en cuenta 10 muelles ya que en cada uno se cargarán dos rutas, una nacional y una urbana; si se aumentarían el número de muelles antes de 20, al menos un muelle tendría que cargar dos rutas lo cual haría ineficiente la operación. Por ello, se consideraron 10 muelles ya que en ellos se puede efectuar la operación en menos de 20 minutos.

Se decidió evaluar esta parte del proceso determinando el tiempo que tardan en cargarse los pallets generados por el escenario mayor con los 10 muelles. En cada uno se carga un camión con ruta urbana y otro camión con ruta nacional. De la zona de almacén se traen los pallets llenos al muelle y ahí son cargados por

otro transpallet. En total se usan 20 transpallet para la operación. La cantidad de carga máxima que se determinó es de 330 pallets con destino nacional repartidos en 34 por cada ruta y 300 pallets con destino urbano repartidos en 30 pallets por vehículo.

Datos Arrojadados por el modelo de Carga	
Pallets Nacionales	Pallets Urbanos
330	300
Numero de Prueba	Tiempo
1	83.31
2	83.31
3	83.31
4	83.31
5	83.31
6	83.31
7	83.31
8	83.31
9	83.31
10	83.31
11	83.31
12	83.31
13	83.31
14	83.31
15	83.31
16	83.31
17	83.31
18	83.31
19	83.31
20	83.31

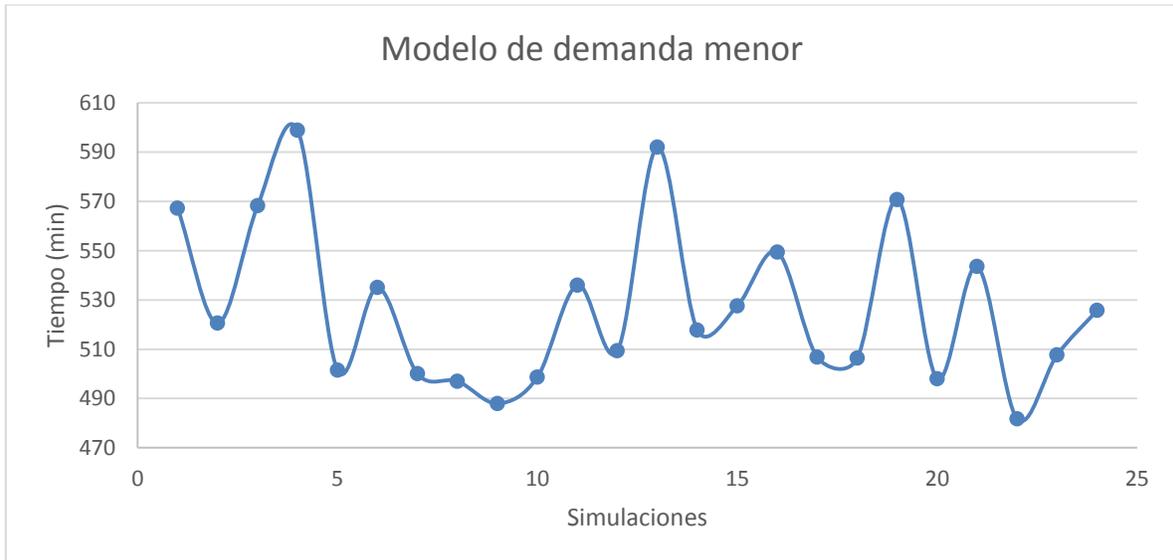
Tabla 4.7 Resultados arrojados por el modelo de Carga

4.2 Análisis de los resultados.

4.2.1 El modelo de la clasificación y descarga

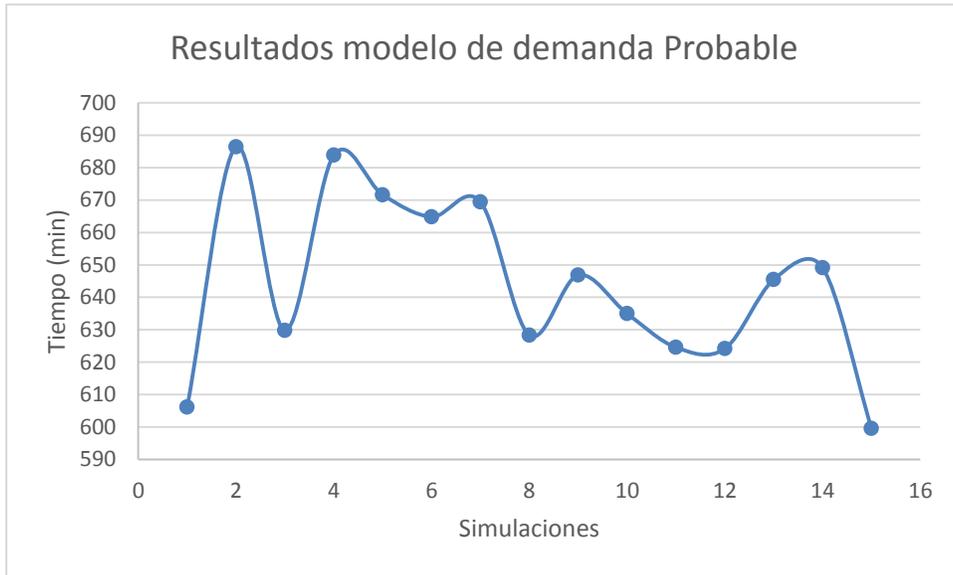
Los modelos del descarga y la clasificación son los que representan mayor cantidad de eventos dentro de un mismo modelo, las siguientes gráficas presentan el comportamiento de los resultados.

En la gráfica 4.1 Podemos ver el tiempo que se tardó en clasificar el producto recibido en un día en el modelo generado para representar el escenario de demanda menor. El eje X representa el número de corridas de simulación y el eje Y representa el resultado del tiempo de clasificación en minutos.



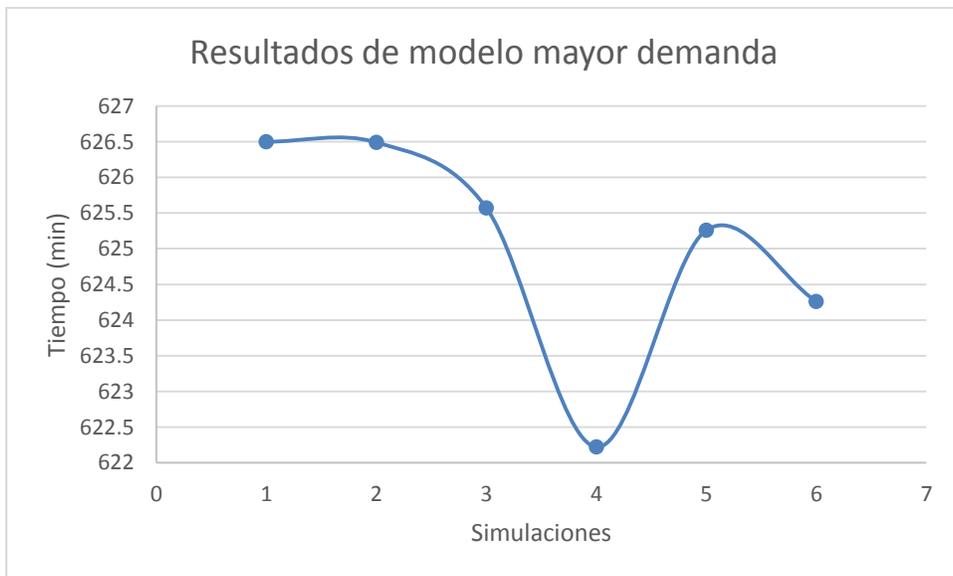
Gráfica 4.1 Resultados del modelo de carga para la demanda menor

En la gráfica 4.2 Podemos ver el tiempo que se tardó en clasificar el producto recibido en un día en el modelo generado para representar el escenario de demanda más Probable. El eje X representa el número de corridas de simulación y el eje Y representa el resultado del tiempo de clasificación en minutos.



Gráfica 4.2 Resultados del modelo de carga para la demanda más Probable

En la gráfica 4.3 Podemos ver el tiempo que se tardó en clasificar el producto recibido en un día en el modelo generado para representar el escenario de mayor demanda. El eje X representa el número de corridas de simulación y el eje y representa el resultado del tiempo de clasificación en minutos.



Gráfica 4.3 Resultados del modelo de carga para la demanda mayor

En las gráficas se pueden observar los resultados de las corridas realizadas; el tiempo que se tarda el cargar y clasificar las cajas de revistas recibidas en el día. Para cada escenario (Menor demanda, demanda más Probable y mayor demanda) se tomará para cálculos posteriores el resultado de mayor tiempo obtenido en las simulaciones.

La finalización de la operación queda acotado por un solo evento, el que tarda el mayor tiempo en cada escenario; si se cumple con cada uno entonces se da por entendido que los demás también quedarán cubiertos. En la finalización de la operación pueden quedar varios pallets parcialmente llenos, por ello, en cada escenario se tomó en cuenta el caso en que en todas las estaciones todos los pallets de destino quedaron parcialmente llenos.

Los tiempos arrojados por la simulación se presentan a continuación:

Escenarios	Tiempos
Escenario menor	74.04 min
Escenario más Probable	88.09 min
Escenario mayor	87.88 min

Tabla 4.8 Resultados de la simulación

Ya que no presentan variación considerable estos valores se consideran representativos del acomodo. El tiempo que tarda la clasificación, descarga y acomodo debe ser de 12:00 hrs entonces el tiempo de simulación del modelo de descarga y clasificación debe sumarse al del acomodo y esta suma debe ser menor a 12 horas.

Tiempos máximos obtenidos por simulación	
Escenario menor	598.87 min
Escenario más Probable	688.64 min
Escenario mayor	626.49min

Tabla 4.9 Tiempos máximos obtenidos por simulación

4.2.2 El modelo de carga.

Cumpliendo con la política de operación, se tendrá un tiempo disponible de 8:00 a 10:00 pm, no importa el tiempo que tarde la operación de carga debe empezar a

las 8:00 pm, el tiempo que no se ocupe antes de las 10:00 pm no podrá utilizarse para otra actividad.

Se determinó la capacidad máxima de los 10 muelles de carga la cual fue: cargar 34 pallets por ruta nacional y 30 pallets por ruta con destino urbano. No está dentro del alcance del presente trabajo definir como se acomodan los pallets dentro de los camiones.

El número de pallets a cargar por ruta en cada escenario se muestra en la tabla 4.1.

Datos considerados para el proceso de Carga				
	Pallets nacionales		Pallets urbanos	
	Totales	Por Ruta	Totales	Por Ruta
Escenario menor	130	13	160	16
Escenario más Probable	190	19	200	20
Escenario mayor	330	33	293	30

Tabla 4.10 Datos para el proceso de Carga

Se da por entendido que si se puede cargar el número de pallets generados en el escenario mayor se podrá cubrir cualquiera de los dos escenarios; y los resultados obtenidos de las simulaciones no representan ninguna variación así que se da por hecho la disposición del proceso de carga para todos los escenarios en un tiempo menor a dos horas.

4.3 Propuestas

Una vez concluido el proceso de análisis de información modelado e interpretación de resultados este converge en el diseño de sistema operativo para el CEDIS, la fuerza de trabajo a ocupar y la distribución de planta. Se especifica la configuración para los tres escenarios.

4.3.1 Escenario con menor número de llegadas por día.

Los valores de las variables número de llegadas de camiones urbanos y camiones grandes se muestran en la tabla 4.11:

Escenario con menor número de llegadas por día	Camiones Grandes	Camiones Urbanos
Número de llegadas por día	5	10

Tabla 4. 11 Escenario menor número de llegadas por día.

La distribución de las llegadas en los muelles de descarga también se determinó para el buen desempeño de la operación y se resume en la tabla 4.12:

Muelles	Llegadas de camiones	
	Urbanos	Nacionales
muelle 1	5	5
muelle 2		
muelle 3		

Tabla 4.12 Número de llegadas por muelle

Los recursos necesarios para satisfacer el escenario con menor número de llegadas quedan a continuación:

Elementos necesarios para satisfacer el escenario con un menor número de llegadas			
Descarga	Tres muelles		
	muelle 1	Un operario	Un Transpallet eléctrico
	muelle 2	Tres operarios	
	muelle 3	Tres operarios	
Transporte a clasificación	Un Inspector pallets		
	Un operario	Un transpallet eléctrico	
Clasificación	Cuatro zonas de clasificación		
	Zona 1	Doce operarios	
	Zona 2	Doce operarios	
	Zona 3	Doce operarios	
	Zona 4	Doce operarios	
Transporte a almacén	Cuatro operarios	Cuatro transpallet eléctricos	

Tabla 4.13 Elementos necesarios para satisfacer el menor número de llegadas

Para la descarga y la clasificación hasta que todo el producto este en almacén en espera de ser cargado se tiene un tiempo aproximado de 12 horas. El objetivo es cumplir la suma del tiempo de descarga y clasificación, y el acomodo, no sobre pase de 12 horas.

La carga de los camiones una vez que se ha clasificado todo el producto es el proceso siguiente para este se tiene dos horas.

Para el caso de la carga se contará con 10 muelles de salida, cada uno contará con un transpallet eléctrico para cargar los camiones y otro para traerlos del almacén. El objetivo a seguir es hacer toda la operación en un tiempo máximo de dos horas.

4.3.2 Escenario con el número de llegadas más probable

Los valores de las variables número de llegadas de camiones urbanos y camiones grandes se muestran en la tabla 4.14:

Escenario más probable	Camiones Grandes	Camiones Urbanos
	9	21

4.14 Escenario más probable

La distribución de las llegadas en los muelles de descarga también se determinó para el buen desempeño de la operación y se resume en la tabla 4.15:

Muelles	Llegadas	
	Urbano	Nacional
muelle 1	2	9
muelle 2	10	
muelle 3	9	

Tabla 4.15 Número de muelles necesarios para el escenario más probable

Los recursos necesarios para satisfacer el escenario con menor número de llegadas quedan a continuación:

Elementos necesarios para satisfacer el escenario con el número más probable de llegadas			
Descarga	Tres muelles		
	Muelle 1	Un operario	Un Transpallet eléctrico
	Muelle 2	Tres operarios	
	Muelle 3	Tres operarios	
Transporte a clasificación	Un Inspector pallets		
Clasificación	Un operario	Un transpallet eléctrico	
	cinco zonas de clasificación		
	Zona 1	Catorce operarios	
	Zona 2	Catorce operarios	
	Zona 3	Catorce operarios	
	Zona 4	Catorce operarios	
	Zona 5	Catorce operarios	
Transporte a Almacén	cinco operarios	Cinco transpallets eléctricos	

Tabla 4.16 Elementos necesarios para satisfacer el número de llegadas más probables

La cantidad de operarios y transpallet para el proceso de carga es la misma para todos los escenarios.

4.3.3 Escenario con el mayor número de llegadas por día.

Los valores de las variables número de llegadas de camiones urbanos y camiones grandes se muestran en la tabla 4.17:

Escenarios	Camiones Grandes	Camiones Urbanos
mas saturado	15	37

Tabla 4.17 Escenario con mayor número de llegadas por día

La distribución de las llegadas en los muelles de descarga también se determinó para el buen desempeño de la operación y se resume en la tabla 4.18:

Escenario 3	Llegadas	
	Urbano	Nacional
muelle 1	4	15
muelle 2	17	
muelle 3	16	

Tabla 4.18 Número de muelles necesarios para el escenario con mayor número de llegadas

Los recursos necesarios para satisfacer el escenario con el mayor número de llegadas se muestran en la tabla 4.19:

Elementos necesarios para satisfacer el escenario del número de llegadas mayor			
Descarga	Tres muelles		Un Transpallet eléctrico
	Muelle 1	Un operario	
Transporte a Clasificación	Muelle 2	Tres operarios	
	Muelle 3	Tres operarios	
	Un Inspector pallets		
	Dos operarios	Dos transpallet eléctricos	
	Clasificación		
	Siete zonas de clasificación		
	Zona 1	Dieciocho operarios	
	Zona 2	Dieciocho operarios	
	Zona 3	Dieciocho operarios	
	Zona 4	Dieciocho operarios	
Zona 5	Dieciocho operarios		
Zona 6	Dieciocho operarios		
Zona 7	Dieciocho operarios		
Transporte a Almacén	Catorce operarios	Catorce Transpallet eléctricos	

Tabla 4.19 Elementos necesarios para satisfacer el número de llegadas más probables

La cantidad de operarios y transpallet para el proceso de carga es la misma para todos los escenarios.

4.4 Distribución de planta.

La distribución de planta favorece el sentido de flujo del producto, ubicándose los muelles de descarga en un extremo, después la zona de clasificación, almacén de pallets de destino y al otro extremo los muelles de carga.

Las dimensiones del área disponible para la planta son de 110 metros de largo y 58 metros de ancho. Los muelles de descarga se ubican a lo largo del lado de 110 metros y en el extremo opuesto se ubicarán los muelles de carga y el flujo de producto se dará a lo largo de los 58 metros.

Los muelles de descarga son tres y quedan repartidos a lo largo de la cara frontal en la construcción; los muelles de carga son 10 y están situados en la parte posterior de la construcción. A lo largo de la zona media se ubican las zonas de clasificación según sea el caso

Los muelles de carga y descarga tienen un ancho de 2.8 metros y deben tener por lo menos 0.8 metros entre cada uno para poder realizar las maniobras necesarias para la operación.

Los muelles se ubicarán en las caras frontales de la construcción tanto de carga como de descarga con tres metros entre cada uno, procurando que haya suficiente espacio para una correcta maniobra.

La propuesta a la que se llegó en este caso teórico involucra tres escenarios sugeridos para atender la demanda; el primero para atender la mínima demanda, el siguiente para atender la demanda promedio y el último para atender la máxima demanda que se puede tener.

Esto con el fin de que según el caso se pueda planear la operación previamente eligiendo la mejor distribución y previendo la fuerza de trabajo que será requerida.

A continuación se ilustran Los elementos necesarios para atender los tres escenarios (Muelles de carga y descarga, operarios, transpallets eléctricos, zonas de clasificación). La distribución de Planta para cada uno de los escenarios se muestra en las figuras 4.20 para el escenario menor, 4.21 para el escenario más Probable y 4.22 para el escenario de mayor demanda.

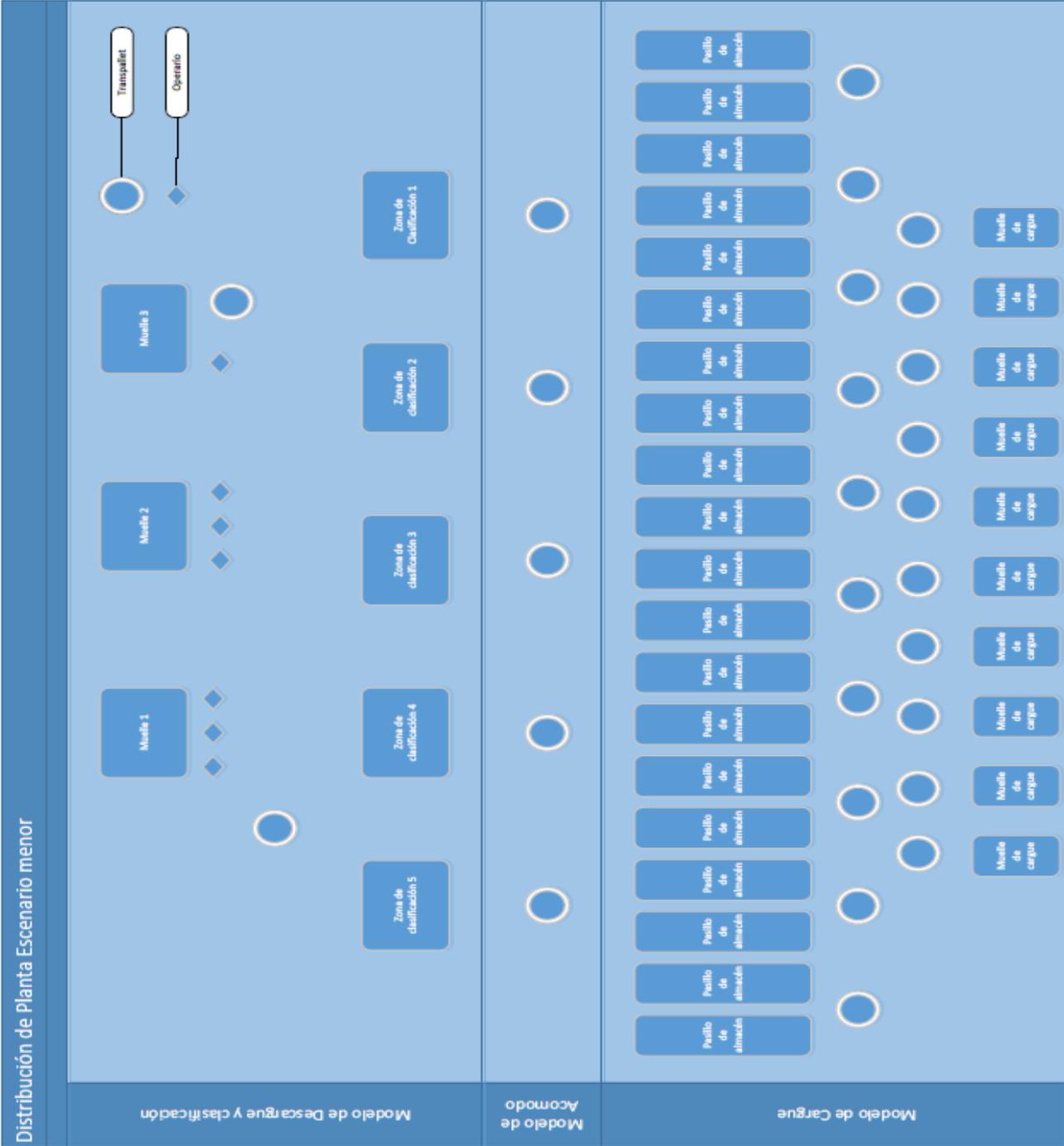


Figura 4.1 Layout del Cedis para satisfacer el escenario con menor demanda

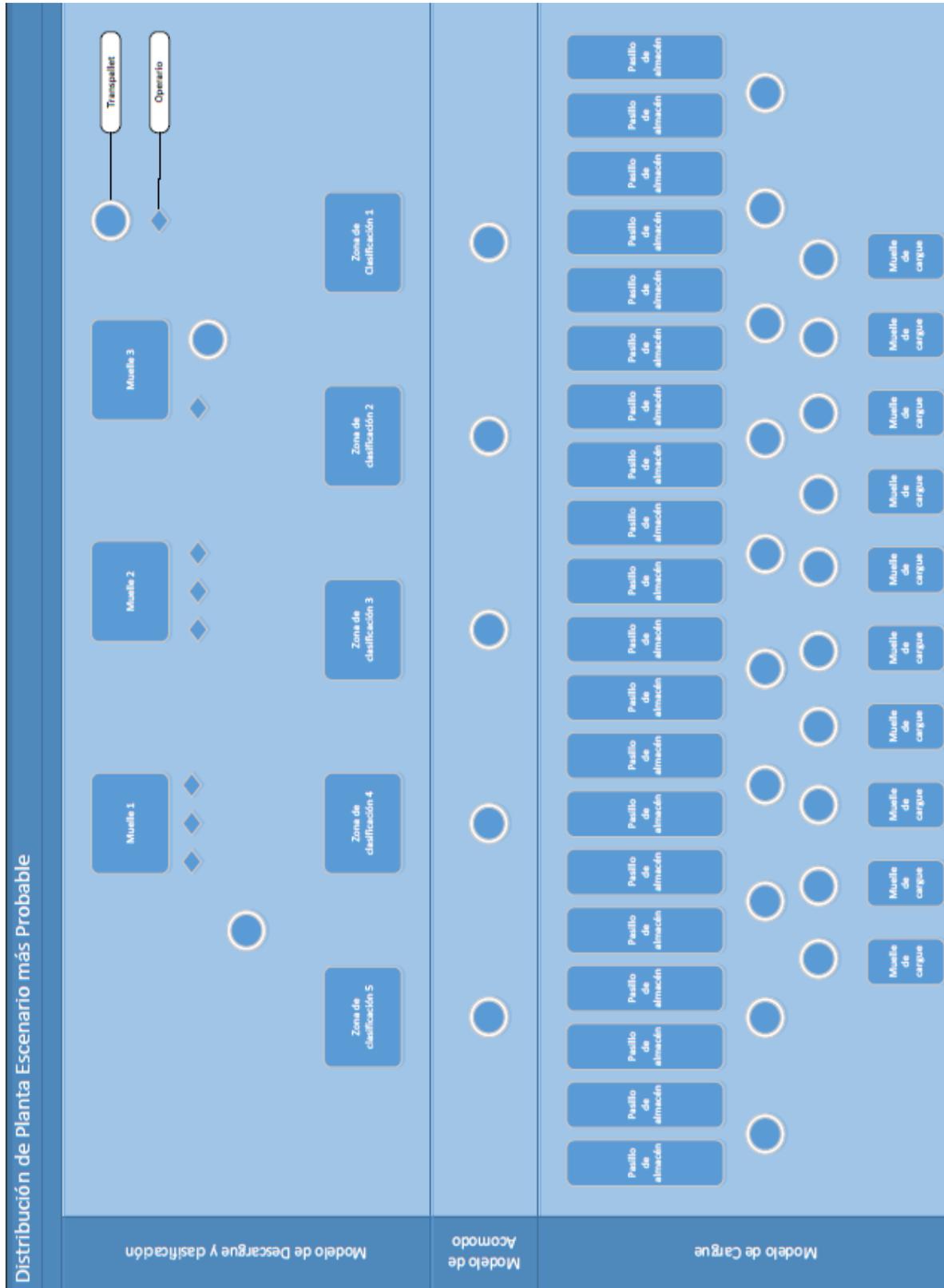


Figura 4.2 Layout del Cedis para satisfacer el escenario más probable

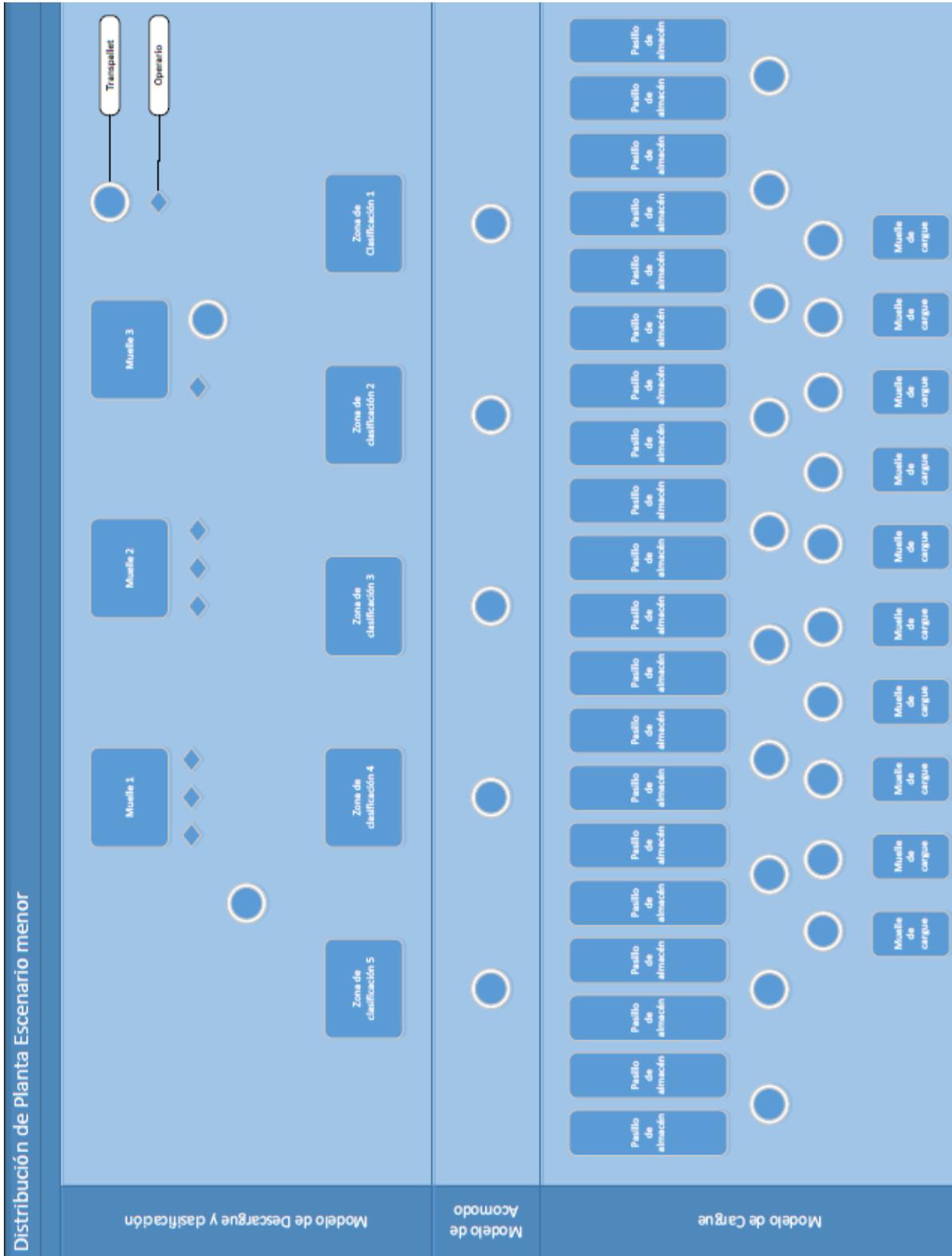


Figura 4.3 Layout del Cedis para satisfacer el escenario de mayor demanda.

4.5 Conclusiones

La simulación se consideró como alternativa eficaz para una mejor toma de decisiones en el diseño de un CEDIS, teniendo múltiples ventajas como evaluar rápidamente un esquema de producción, un bajo costo y tener disponible resultados a priori antes de la aplicación de cambios a un sistema productivo.

La capacidad del software y del modelo resultaron lo suficientemente precisas como para representar las peculiaridades del sistema real y llegar a una distribución Cross Docking efectiva para el CEDIS.

Para evaluar un rango de valores históricos de demanda a satisfacer se eligió un análisis de escenarios, lo cual simplificó la tarea de manejar toda la información.

La validación del modelo se realizó analizándolo como un sistema de colas de varios servidores de igual capacidad, dado que no hay datos de comportamiento del sistema aplicado a la realidad. Por medio del análisis teórico se determinó el tiempo de operación de una zona de clasificación, por otro lado se evaluó este tiempo por medio de la simulación. Se evaluó con la fórmula de error absoluto la diferencia entre ambos resultados y se consideraron aceptables los datos arrojados de la simulación.

Se cumplió el fin del proyecto, generar un diseño del CEDIS determinando los recursos necesarios para satisfacer la demanda pico, la demanda más Probable y la demanda mínima. Esto con el fin de definir un panorama de cómo varían los recursos ocupados según la demanda y establecer la base para mejoras en la administración de personal según la demanda diaria dato que se especifica, se tiene con cierta antelación por lo menos dos semanas.

La propuesta respeto un enfoque Cross-Docking en el cual se prescinde de los inventarios, en este caso, todo lo que entra en un día se embarca en ese mismo día; esto en función de la agilidad con que se realice la operación. Se aprovecha el espacio disponible y durante la jornada laboral se embarca el producto y se

entrega durante la noche y el siguiente día laboral tal que cuando se requiere embarcar nuevo producto los vehículos de carga están listos.

Se compararon las zonas de clasificación propuestas en el caso hipotético contra una configuración de las mismas propuestas por el equipo y se llegó a la conclusión que eran más eficientes las propuestas por el equipo tomando como parámetro de evaluación el tiempo de operación.

El número de muelles de carga y descarga se determinaron haciendo variaciones hasta encontrar el número adecuado, para poder realizar la operación cumpliendo con las condiciones de tiempo.

En el caso del escenario más Probable a pesar de que no se cumplió con la condición de tener todo el producto listo para el embarque a las 8:00 p.m. Existe un traslape entre la operación del acomodo y la operación de la carga. Esto podría hacer que la operación de al carga termine más tarde pero por la naturaleza variable del tiempo que tarda la clasificación, el traslape variaría considerando que el máximo que se pudiera presentar es el que se consideró para evaluar el tiempo de operación. A criterio del equipo se consideró que no sería conveniente anexar una estación más de clasificación para cumplir con la política de dejar listo el producto a cargar a las 8:00 pm. Se encuentran más ventajas en llevar a cabo el acomodo de manera coordinada para evitar que el traslape influya en el tiempo de carga. Primero llevando los pallets que quedaron en la zona de clasificación al almacén de las primeras 10 rutas que se van a cargar y después las de las siguientes 10 rutas a las que embarca las cajas de revistas el CEDIS.

El siguiente paso para la evaluación de la propuesta sería la aplicación en la cual se podría medir el desempeño real del sistema; una vez generados datos históricos por medios estadísticos se podría determinar si el comportamiento del sistema es satisfactorio. Se definieron tres escenarios por la ausencia de datos de operación del CEDIS ya que se trabajó con un caso hipotético pero una vez aplicado se podrían desarrollar más escenarios para una planeación de la producción más efectiva.

Los modelos no solo han servido para estimar el desempeño del modelo antes de la aplicación; se podrán comparar con los datos históricos para verificar la fidelidad con que representa al modelo real. Una vez determinado el grado de error de su estimación pueden seguirse empleando para la planeación de la operación del CEDIS. Pueden quedar como auxiliares para definir el número de operarios que quedarían como planta de trabajo y si es factible subcontratar una parte de los operarios para satisfacer los picos de demanda en la operación.

Anexo 1

Distribuciones de probabilidad

Las distribuciones de probabilidad han demostrado empíricamente, ser modelos útiles para diversos problemas prácticos. A pesar de ello, tales distribuciones presentan un carácter teórico en el sentido en que sus funciones de probabilidad o de densidad de probabilidad se deducen matemáticamente con base en ciertas hipótesis que se suponen válidas para los fenómenos aleatorios.

Una variable aleatoria discreta es una variable aleatoria con un rango finito.

La distribución de probabilidad o distribución de una variable aleatoria X es una descripción del conjunto de valores de X , junto con la probabilidad asociada con cada uno de estos valores. La distribución de probabilidad es un resumen útil de un experimento aleatorio.

Para elegir una distribución de probabilidad para que ésta pueda representar un fenómeno de interés práctico debe ser motivada tanto por la comprensión de la naturaleza del fenómeno en si, como por la posible verificación de la distribución seleccionada a través de la evidencia empírica.

Debe evitarse aceptar de manera tácita una determinada distribución de probabilidad como modelo de un problema práctico.

Una distribución de probabilidad está caracterizada, de manera general, por una o más cantidades que reciben el nombre de parámetros de la distribución. Un parámetro puede tomar cualquier valor de un conjunto dado y, en este sentido, define una familia de distribuciones de probabilidad.

La distribución de Poisson

En honor a Simeón Denis Poisson, probabilista francés, fue el primero en describirla, es una distribución discreta de probabilidad muy útil en la que la variable aleatoria representa el número de eventos independientes que ocurren a una velocidad constante. Algunos ejemplos típicos son el número de personas que llegan a una tienda de autoservicio en un tiempo determinado, el número de defectos en piezas similares para el material, el número de bacterias en un cultivo, etc.

La distribución de Poisson es el principal modelo de probabilidad para analizar las líneas de espera.

Definición: Sea X una variable aleatoria que representa el número de eventos aleatorios independientes que ocurren a una rapidez constante sobre el tiempo o el espacio. Se dice entonces que la variable aleatoria X tiene una distribución de Poisson con función de probabilidad.

$$p(x;\lambda)=\begin{cases} \frac{e^{-\lambda}\lambda^x}{x!} & X = 0, 1, 2, \dots; \lambda > 0, \\ 0 & \text{Para cualquier otro valor} \end{cases}$$

λ = Parámetro de la distribución de Poisson, es el número promedio de ocurrencias del evento aleatorio por unidad de tiempo.

La distribución normal o de Gauss

Es la distribución continua más importante y de mayor uso. Es la piedra angular en la aplicación de inferencia estadística en el análisis de datos, puesto que las distribuciones de muchas estadísticas muestrales tienden hacia la distribución normal conforme crece el tamaño de la muestra. La apariencia gráfica de la distribución normal es una curva simétrica con forma de campana, que se extiende sin límite tanto en la dirección positiva como en la negativa. Proporciona una

adecuada representación, en la primera aproximación, de las distribuciones de una gran cantidad de variables físicas.

Debe tenerse mucho cuidado al suponer para una representación dada un modelo de probabilidad sin previa comprobación.

Definición. Se dice que la variable aleatoria X se encuentra normalmente distribuida si su función de densidad de probabilidad está dada por:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$
$$-\infty < \mu < x, \sigma > 0$$

μ = media

σ = desviación estándar

Prueba de bondad y ajuste χ^2

La prueba de bondad y ajuste χ^2 o de Karl Pearson es una prueba estadística utilizada para saber si la toma de varias pruebas multinomiales se ajustan a un conjunto de datos de referencia. Estos datos multinomiales son variables que están conformadas por dos o más categorías; por ejemplo, el resultado del lanzamiento de una moneda es una variable que está formada por dos categorías que corresponden a las frecuencias de ocurrencia de cada lado. (Andrade, 2014).

El procedimiento general de la prueba consiste en:

- Distribuir los datos muestrales en k categorías mutuamente excluyentes.
- Obtener el estadístico χ^2 a través de la siguiente ecuación:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Dónde:

o_i es el valor observado en la categoría i ;

e_i es el valor esperado en la categoría i .

- Si hay un buen ajuste, las diferencias en la resta serán pequeñas, el numerador también y en consecuencia el valor de la prueba. Si se encuentran grandes discrepancias el valor estadístico será grande.
- Si el valor calculado de χ^2 , a partir de los datos estadísticos de la muestra, es mayor que el percentil de la χ^2 (con los grados de libertad correspondientes), entonces se rechaza la hipótesis de que los datos tengan un ajuste similar.

Anexo 2

Pruebas de bondad y ajuste

Para el proceso de modelado del CEDIS de revistas se necesita caracterizar los datos disponibles:

Número de cajas contenidas en un camión urbano.

Número de pallets contenidos en un camión grande.

Estos dos parámetros se necesitarán para alimentar el modelo en Flexsim ® así que se analizarán los datos para determinar la distribución estadística que resume mejor el comportamiento de estas variables en el tiempo.

Se aplicaron pruebas de bondad y ajuste para determinar a qué distribución de probabilidad se aproximan dichos valores. Para el número de pallets contenidos en un camión grande y el número de cajas contenidas en un camión urbano se compararon con distribuciones normales.

Para determinar si el número de pallets contenidos en un camión grande y el número de cajas contenidas en un camión urbano se realizó la prueba de bondad y ajuste χ^2 . El procedimiento a continuación.

1. Número de pallets contenidos en un camión grande.

El contenido de pallets en un camión urbano es variable según el cargamento diario que tenga que ser llevado al centro de distribución, los datos disponibles pueden resumirse en la Tabla 4.20.

Contenido de camiones grandes	
No. Pallets	Frecuencia
23	7
24	53
25	320
26	858
27	855
28	348
29	36
30	2

Tabla 4.20 Frecuencias para contenido de camiones grandes

Se define la hipótesis nula y la hipótesis alterna

H0: La variable número de Pallets contenidos en un camión urbano se comporta de acuerdo con una distribución normal.

H1: La variable número de Pallets contenidos en un camión urbano no se comporta de acuerdo con una distribución normal.

Entonces se procede a la aplicación de la prueba de bondad y ajuste, primero se calculan los parámetros de la media y la desviación estándar.

Como nuestro datos están acomodados en clases la media se calcula con las siguientes formulas.

$$\text{Media} = \frac{\sum(X_i * Fr_i)}{N}$$

X_i = valor i de la variable

Fr_i = Frecuencia con que se presentó el valor i

N = número total de datos

$$\text{desviación estandar} = \sqrt{\sum \frac{(X - X_i)^2}{N}}$$

X = media

Aplicando las formulas anteriores con los valores de la Tabla 4.20 se obtienen los siguientes resultados:

Media = 26.49

Desviación estándar = 1.023

Posteriormente se consultan valores teóricos de distribución normal cuyos valores se generan a través de una hoja de cálculo en Excel ®. Después de ello para la prueba de bondad de ajuste se compararán los datos generados por el software (Excel ®) con los datos obtenidos de la distribución de la variable de interés como se muestra en la tabla 4.21. El procedimiento es el siguiente

Primero se calcula el siguiente factor

$$F_{ti} = F_i * N$$

F_i = La frecuencia teórica en i

N = número de datos

Después se calcula el siguiente factor

$$m_i = (F_{ri} - F_{ti})^2 \frac{1}{F_{ti}}$$

Luego se determina el factor ji-cuadrada χ^2 calculado con las observaciones como:

$$\chi^2_o = \sum (F_{ri} - F_{ti})^2 \frac{1}{F_{ti}}$$

Donde

χ^2_o = Factor ji cuadrada calculado con las observaciones

Para obtener el Factor χ^2 teórico contra el que se comparará el factor χ^2 calculado se considera el grado de confianza de 0.95 y los grados de libertad que es el número de clases menos uno, en este caso 7 grados de libertad.

Los datos que describen el conjunto de datos se muestran a continuación

Numero de Datos = 2,479

Media = 26.4921

Desviación estándar = 1.02364

La Tabla "Datos Número de Pallets" muestra los datos determinados para la aplicación de la prueba de bondad y ajuste.

Datos número de pallets						
Clases	No. Pallets	Fri	(Xi-X) ²	Fti	Fi	mi
1	23	7	85.3649954	2.869666484	0.00115759	5.94482148
2	24	53	329.168769	49.88498326	0.020123027	0.19451403
3	25	320	712.468368	333.9196888	0.13469935	0.5802525
4	26	858	207.803996	860.6924906	0.347193421	0.00842288
5	27	855	220.528397	854.2555156	0.34459682	0.00064882
6	28	348	791.233715	326.4835921	0.131699714	1.41800636
7	29	36	226.418121	48.04727031	0.019381715	3.02070692
8	30	2	24.6102488	2.722763182	0.001098331	0.191859

El facto X^2_o calculado tiene un valor de 11.3592 que se comparará contra el valor teórico X^2_o para una confianza de 0.95 determinado con 7 grados de libertad, el cual es de 14.0671.

Según nuestra prueba si el valor calculado X^2_o es mayor al valor X^2 teórico no se puede aceptar la hipótesis nula pero dado que X^2_o es menor que X^2 se acepta la hipótesis nula; no se encontro suficiente evidencia estadística para afirmar que el conjunto de datos no sigue una distribución normal.

Número de cajas contenidas en un camión urbano.

Para determinar si el número de cajas contenidas dentro de un camión urbano sigue una distribución normal se aplicará una prueba de bondad y ajuste respecto de la distribución normal de manera análoga a como se hizo para el caso de los pallets. El desarrollo se hace de la misma manera y los datos determinados para la aplicación de la prueba se proporcionan a continuación.

Media = 549.4797

Desviación estándar = 30.4404

Número de datos = 5734

La Tabla "Datos Número de Cajas" muestra los datos determinados para la aplicación de la prueba de bondad y ajuste.

Datos número de cajas						
Clases	No. Pallets	Fri	(Xi-X)^2	Fti	Fi	Mi
1	448	1	10293.2758	0.28590791	4.98706E-05	1.78353762
2	453	1	9303.71794	0.488550941	8.52173E-05	0.5354204
3	455	1	8921.89481	0.600746682	0.000104787	0.26534181
4	459	1	8182.24855	0.896625524	0.000156397	0.01191833
5	460	1	8002.33699	0.988360389	0.000172398	0.00013708
6	461	1	7824.42542	1.088301649	0.000189831	0.00716454
7	463	1	7474.6023	1.315244107	0.000229416	0.07555924
8	464	2	14605.3815	1.443542206	0.000251795	0.21450379
9	465	4	28531.1167	1.582640698	0.000276058	3.69232638
10	466	1	6964.8676	1.733264711	0.000302331	0.31021063
11	467	1	6798.95604	1.896169611	0.000330746	0.42354859
12	468	5	33175.2224	2.072140463	0.000361441	4.13695964
13	469	3	19419.3987	2.261991259	0.000394556	0.24078648
14	470	2	12626.4427	2.466563924	0.00043024	0.08825309
15	471	5	30776.5489	2.686727064	0.000468642	1.9917288
16	472	3	17998.1946	2.92337445	0.000509921	0.00200846
17	473	3	17536.4599	3.177423224	0.000554234	0.00990708
18	474	4	22774.3003	3.449811822	0.000601746	0.08774595
19	475	4	22174.6541	3.74149758	0.000652625	0.01786009
20	476	4	21583.0078	4.053454039	0.000707039	0.00070491
21	477	4	20999.3616	4.386667926	0.000765161	0.03408329
22	478	8	40847.4306	4.742135809	0.000827165	2.2381643
23	479	5	24820.0863	5.12086041	0.000893225	0.0028525
24	480	10	48241.057	5.523846601	0.000963518	3.62717336
25	481	12	56234.3296	5.952097045	0.001038217	6.14525097
26	482	6	27301.6954	6.406607522	0.001117497	0.02580612
27	483	5	22081.855	6.888361917	0.001201528	0.5176718
28	484	4	17137.8378	7.398326894	0.001290481	1.56097802
29	485	11	45700.0266	7.937446264	0.001384519	1.18164395
30	486	11	44292.9994	8.506635058	0.001483802	0.73082584
31	487	10	39007.2474	9.106773329	0.001588483	0.08761104
32	488	11	41544.945	9.738699699	0.001698709	0.16335635
33	489	5	18274.5081	10.40320468	0.001814618	2.80631034
34	490	8	28279.9204	11.10102382	0.001936338	0.86625782
35	491	8	27336.6279	11.83283061	0.002063986	1.24151109
36	492	14	46216.3369	12.59922937	0.002197668	0.15573638
37	493	15	47808.8303	13.40074796	0.002337476	0.19085555
38	494	18	55356.1883	14.23783048	0.002483487	0.99410648
39	495	13	38550.619	15.11082995	0.002635763	0.29486157
40	496	12	34290.248	16.02000107	0.002794349	1.00876451
41	497	9	24764.4819	16.96549303	0.00295927	3.73989009
42	498	17	45010.8581	17.94734253	0.003130532	0.05000506
43	499	13	33095.2176	18.96546694	0.003308123	1.87639966
44	500	22	53809.2369	20.0196578	0.003492004	0.19589522
45	501	23	54003.1453	21.10957462	0.003682117	0.16929323
46	502	20	45041.0255	22.23473899	0.003878378	0.22460612
47	503	21	45320.9339	23.3945293	0.004080678	0.24509023
48	504	22	45457.0192	24.58817578	0.004288885	0.27243395
49	505	19	37550.015	25.81475627	0.004502836	1.79900606
50	506	37	69870.9856	27.07319245	0.004722343	3.63981855
51	507	40	72099.7381	28.36224694	0.004947191	4.7752668
52	508	36	61868.9479	29.68052095	0.005177136	1.34552273
53	509	31	50736.78	31.02645282	0.005411905	2.2553E-05
54	510	37	57600.074	32.3983174	0.005651198	0.65359823
55	511	31	45844.263	33.79422621	0.005894684	0.23103651
56	512	40	56117.4251	35.21212864	0.006142007	0.65101751
57	513	36	47844.8663	36.64981398	0.006392781	0.01152143
58	514	32	40227.6	38.1049145	0.006646592	0.97808856
59	515	44	52236.8411	39.57490948	0.006903002	0.49479396
60	516	47	52606.6004	41.05713028	0.007161544	0.8602087
61	517	45	47402.0012	42.5487664	0.007421728	0.14121552
62	518	40	39578.6496	44.04687255	0.007683041	0.37181249

Datos número de cajas (continúa)						
Clases	No. Pallets	Fri	(Xi-X)^2	Fti	Fi	Mi
64	520	55	47720.3711	47.05008932	0.008206888	1.34327226
65	521	44	35628.1881	48.5487131	0.008468291	0.42618619
66	522	68	51259.7588	50.04085419	0.008728563	6.44535198
67	523	41	28696.2451	51.52303391	0.008987098	2.14921821
68	524	49	31751.8458	52.99170147	0.009243276	0.30068256
69	525	51	30502.3497	54.44324741	0.009496467	0.21776718
70	526	52	28609.0336	55.87401777	0.009746035	0.26860452
71	527	56	28238.6809	57.28032892	0.009991336	0.02861789
72	528	56	25779.6333	58.65848291	0.010231726	0.12048609
73	529	61	25524.7808	60.00478334	0.010466559	0.01650629
74	530	53	20061.9557	61.31555156	0.010695195	1.12774648
75	531	62	21118.1858	62.58714319	0.010916997	0.00550811
76	532	62	18891.6688	63.81596481	0.011131339	0.0516756
77	533	64	17330.7374	64.99849075	0.011337605	0.01533857
78	534	80	19110.4966	66.1312798	0.011535196	2.90847842
79	535	67	14000.966	67.21099182	0.011723529	0.00066236
80	536	59	10682.4266	68.23440407	0.011902042	1.24972468
81	537	66	10239.6699	69.19842721	0.012070195	0.14783481
82	538	89	11679.9104	70.10012076	0.012227476	5.0956465
83	539	67	7324.66671	70.93670808	0.012373401	0.2184718
84	540	72	6437.65098	71.70559055	0.012507516	0.00120879
85	541	61	4361.51553	72.40436101	0.012629402	1.79629304
86	542	68	3780.03091	73.03081635	0.012738674	0.34655388
87	543	81	3375.84715	73.58296902	0.012834985	0.74762339
88	544	71	2113.35481	74.05905759	0.012918029	0.12635636
89	545	73	1449.34171	74.45755606	0.012987538	0.02853263
90	546	71	847.912629	74.77718205	0.01304329	0.19079489
91	547	63	379.944606	75.01690366	0.013085104	1.92497913
92	548	77	163.186265	75.17594501	0.013112846	0.04425853
93	549	75	15.5803138	75.25379043	0.013126424	0.0008559
94	550	75	22.2129668	75.25018726	0.013125796	0.00083181
95	551	75	178.84562	75.1651472	0.013110962	0.00036285
96	552	71	459.586098	74.99894625	0.013081972	0.21322394
97	553	76	954.672405	74.75212322	0.013038919	0.02083147
98	554	76	1569.39349	74.42547681	0.012981943	0.03331014
99	555	87	2674.23643	74.02006133	0.012911226	2.27612359
100	556	86	3683.10352	73.53718099	0.012826998	2.11215409
101	557	56	3187.25235	72.97838296	0.012729528	3.95001199
102	558	71	5183.25957	72.34544907	0.012619126	0.02502207
103	559	70	6376.44639	71.64038635	0.012496143	0.03756076
104	560	72	8004.99792	70.86541646	0.012360966	0.01816513
105	561	63	8395.94461	70.02296401	0.012214018	0.70436926
106	562	73	11487.09	69.1156439	0.012055755	0.21830401
107	563	69	12657.7625	68.14624786	0.011886665	0.01069601
108	564	65	13749.7274	67.11773013	0.011707261	0.06681962
109	565	72	17396.8347	66.0331925	0.011518087	0.53916508
110	566	58	15875.2461	64.89586872	0.011319705	0.73275859
111	567	56	17236.7762	63.70910854	0.01111127	0.93283921
112	568	77	26479.3767	62.47636132	0.010897673	3.37625425
113	569	67	25592.4218	61.2011594	0.010675241	0.54944306
114	570	71	29966.6065	59.88710136	0.010446032	2.06215551
115	571	54	25064.2791	58.5378353	0.010210681	0.35177162
116	572	62	31510.9886	57.15704209	0.009969831	0.41034736
117	573	57	31596.8206	55.74841893	0.009724127	0.02809865
118	574	58	34940.2801	54.31566312	0.009474213	0.24991572
119	575	57	37192.9023	52.86245629	0.009220732	0.32384549
120	576	41	28888.4152	51.39244905	0.00896432	2.10153436
121	577	48	36416.8285	49.90924623	0.008705607	0.07303699
122	578	57	46442.0247	48.41639278	0.008445211	1.52176378
123	579	40	34914.4319	46.91736038	0.008183736	1.01987568
124	580	37	34519.1217	45.41553481	0.007921775	1.55940531
125	581	41	40796.5444	43.91420423	0.0076599	0.19339042
126	582	43	45542.4225	42.41654823	0.007398665	0.00802555

Datos número de cajas (continúa)						
Clases	No. Pallets	Fri	(Xi-X)^2	Fti	Fi	Mi
127	583	50	56260.727	40.92562796	0.007138606	2.01204556
128	584	29	34605.7863	39.4443771	0.006880233	2.76554026
129	585	42	53062.4393	37.97559387	0.006624035	0.42648035
130	586	43	57425.6334	36.52193407	0.006370475	1.14904479
131	587	32	45106.185	35.08590508	0.00611999	0.27141412
132	588	26	38627.0746	33.66986087	0.005872992	1.74716391
133	589	39	60986.0609	32.27599813	0.005629862	1.40079947
134	590	27	44383.5069	30.90635318	0.005390956	0.49373652
135	591	29	50051.7387	29.5628001	0.005156602	0.01071427
136	592	26	47060.2719	28.24704957	0.004927097	0.17875254
137	593	25	47402.4723	26.96064882	0.004702712	0.1425835
138	594	26	51588.8706	25.70498227	0.004483688	0.00338594
139	595	32	66376.8245	24.48127316	0.004270238	2.30916312
140	596	22	47660.0124	23.29058585	0.004062548	0.07151438
141	597	24	54250.8633	22.13382887	0.003860776	0.15734262
142	598	23	54200.4446	21.0117587	0.003665055	0.18813768
143	599	23	56456.4786	19.9249841	0.00347549	0.47456614
144	600	18	45984.9229	18.87397103	0.003292163	0.04046978
145	601	23	61106.5467	17.85904809	0.003115131	1.47988775
146	602	14	38652.5274	16.88041235	0.002944429	0.49150312
147	603	16	45871.732	15.9381356	0.002780069	0.00024013
148	604	14	41651.0036	15.03217094	0.002622043	0.07087312
149	605	13	40107.0815	14.16235955	0.002470323	0.09539934
150	606	10	31972.4855	13.32843775	0.002324863	0.83119253
151	607	16	52981.3918	12.53004418	0.0021856	0.96093783
152	608	12	41129.1051	11.76672701	0.002052455	0.00462459
153	609	15	53182.7079	11.03795136	0.001925336	1.42216875
154	610	15	54984.0344	10.34310648	0.001804135	2.09672571
155	611	8	30301.5258	9.681513095	0.001688734	0.29205004
156	612	6	23470.675	9.052430532	0.001579004	1.02926304
157	613	7	28265.0732	8.455063744	0.001474806	0.2504074
158	614	9	37493.6043	7.88857018	0.001375993	0.15659064
159	615	14	60144.6226	7.352066435	0.001282412	6.01123794
160	616	7	30996.9304	6.844634688	0.001193901	0.00352661
161	617	9	41059.9921	6.365328873	0.001110296	1.09051584
162	618	4	18793.2391	5.91318058	0.001031429	0.6190002
163	619	4	19345.5929	5.487204662	0.000957126	0.40307913
164	620	4	19905.9466	5.086404533	0.000887215	0.23204501
165	621	3	15355.7253	4.709777149	0.000821521	0.62069559
166	622	1	5262.66352	4.356317662	0.000759867	2.58586933
167	623	2	10817.5039	4.025023732	0.00070208	1.01880669
168	624	1	5556.84039	3.714899522	0.000647985	1.98408581
169	625	3	17120.7865	3.42495934	0.000597411	0.05272776
170	626	2	11718.0345	3.154230961	0.000550189	0.42236892
171	628	5	30845.9707	2.666605659	0.000465133	2.04182014
172	629	3	18981.8477	2.447856938	0.000426977	0.12454239
173	630	3	19462.113	2.244620837	0.000391526	0.25420671
174	632	4	27254.1915	1.881248088	0.000328144	2.38624012
175	633	2	13959.2726	1.719460467	0.000299923	0.04577158
176	634	1	7147.72474	1.569885726	0.000273833	0.20687476
177	636	2	14979.8032	1.304394315	0.000227524	0.37095169
178	637	1	7663.99005	1.187063382	0.000207058	0.02947838
179	638	1	7840.07849	1.079117266	0.000188229	0.00580061
180	639	1	8018.16692	0.979925584	0.000170927	0.00041124
181	640	2	16396.5107	0.888888471	0.000155048	1.38889059
182	641	2	16760.6876	0.80543625	0.000140491	1.77168901
183	642	3	25693.2967	0.72902898	0.000127164	7.07421723
184	649	1	9909.05127	0.352024063	6.14031E-05	1.19273896
185	652	1	10515.3166	0.253522031	4.42215E-05	2.19795241
186	661	1	12442.1125	0.089320418	1.558E-05	9.28496884

El factor χ^2_o calculado tiene un valor de 181.6122 que se comparará con el valor teórico χ^2 para una confianza de 0.95 determinado con 7 grados de libertad, el cual es de 217.7349

Según nuestra prueba si el valor calculado χ^2_o observado es mayor al valor χ^2 teórico no se puede aceptar la hipótesis nula pero dado que χ^2_o observado es menor que χ^2 se acepta la hipótesis nula; no se encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que el conjunto de datos no sigue una distribución normal.

Bibliografía:

- Arnout G., Rodriguez-Velasquez E., Robadi G., Musa R., Modeling Cross-Docking Operations using discrete event Simulation, 8 (1-4).
- Adewunmi A., Alckelin U. Optimisation of a Cross-Docking Distribution Center Simulation Model 6 (2-5).
- Banks J., Carson J.S. (1984), Discrete-Event System Simulation, EUA, Prentice-Hall, Inc.
- Banks, J. (1998). Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. Wiley and Sons.
- Bowersox J. Donals, Closs J. David, Cooper Bixby M. (2007), Administración y Logística en la cadena de suministros. México, Mc Graw Hill.
- Canavos G., (1988) Probabilidad y estadística Aplicación de métodos, México, McGraw Hill/Interamericana de México
- Heizer,J., Render B., (2009) Principios de Administración de Operaciones, México, Pearson Education.
- Liu Y. Takawa S. (2009) Simulation_Based Personnel Planning for material handling at a Cross-Docking center under retaildistribution environment. M. D. Rossetti, R.R. Hill, B. Johansson, A. Dunking y R.G.Ingalls, (Eds.), Proceedings of the Winter Simulation Conference (pp. 1-4).
- Niegel B., Freivalds A. (2004) Ingeniería Industrial, EUA, Alfaomega.
- Shakeri M., Yoke Hean Low M. , Li Z. A Generic Model of Cross-Docking Truck Scheduling and Truck-to-Door Assignment Problems. 8(1-4).
- Sipper D., Bulffin R. (1998) Planeación y Control de la producción, México, McGraw Hill/Interamericana Editores.
- Thaja A. (2004) Investigación de operaciones, EUA, Pearson education