



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

T E S I S

MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE PINTURAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SURTIDO.

Para obtener el grado de
INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A

Jovanny Daniel Francisco Cruz

Director

Dr. Joselito Medina Marín

Cd. Del Conocimiento, Mineral de la Reforma, Hgo., México a 09 de Junio 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Dirección

Office of the Director

Mineral de la Reforma, Hgo., a 4 de junio de 2026

Número de control: ICBI-D/1056/2026

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UA EH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Ingeniería Industrial **Jovanny Daniel Francisco Cruz**, quien presenta el trabajo de titulación **"MODELACIÓN Y SIMULACIÓN EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE PINTURAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL SURTIDO"**, ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Sergio Blas Ramírez Reyna

Secretario: Dr. Juan Carlos Seck Tuoh Mora

Vocal: Dr. Joselito Medina Marín

Suplente: Dr. Irving Barragán Vite

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo
Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México. C.P 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

GVR/MMM

"Amor, Orden y Progreso"



uaeh.edu.mx

ÍNDICE.

RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
AGRADECIMIENTOS.....	XI
DEDICATORIAS.	XII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCION.	13
1.1 Planteamiento del problema.	15
1.2 Pregunta de investigación.....	16
1.3 Objetivos.	16
1.3.1 Objetivo general.	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Justificación.....	17
1.5 Alcances y limitaciones.....	19
1.5.1 Alcances.....	19
1.5.2 Limitaciones.	19
1.6 Organización del estudio.....	19
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Centros de Distribución (CEDIS).	21
2.1.1 Funciones típicas.	22
2.1.2 Tipos de operaciones en CEDIS de pinturas.	22
2.1.3 Retos específicos de la industria de pinturas.	23
2.2 Layout de almacén.	24
2.2.1 Tipos de layout en almacenes.....	27
2.2.2 Criterios para el diseño de un layout eficiente.	28
2.2.3 Importancia del flujo continuo.	29
2.2.4 Relación del layout con los movimientos innecesarios.	30
2.2.5 Aportes contemporáneos y vacíos de investigación.	31
2.3 Modelación de procesos logísticos.....	32
2.3.1 Importancia de la modelación en sistemas logísticos.....	33
2.3.2 Tipos de modelos aplicados a la logística	34
2.3.3 Simulación de eventos discretos en centros de distribución.....	35
2.3.4 Relación entre layout y simulación logística.	35
2.3.5 Aplicación de la simulación como herramienta de mejora.....	36
2.4 Simulación de sistemas.	37

2.4.1 Definición de simulación.....	38
2.4.2 Uso de la simulación.....	39
2.4.3 Ventajas y Desventajas de la simulación.....	41
2.4.4 Tipos de modelos de simulación.	43
2.5 Simulación en logística y almacenes.....	45
2.5.1 Aplicaciones comunes de la simulación en almacenes.	47
2.6 Conceptos Lean aplicados a la logística y al almacenamiento.....	48
2.6.1 Muda (movimientos innecesarios).....	48
2.6.2 Flujo.....	49
2.6.3 Metodología 5S aplicada al almacenamiento.	49
2.6.4 Balanceo y ergonomía.	49
2.7 Indicadores logísticos.....	50
2.7.1 Indicadores relevantes para el CEDIS.	52
2.7.2 Análisis de los indicadores en relación con el diseño del layout del CEDIS.	53
2.8 Software ProModel®.	53
2.8.1 Características generales de ProModel®.....	54
2.8.2 Elementos básicos de modelación de un CEDIS en ProModel®.	55
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	58
3.1 Tipo de investigación.	58
3.2 Enfoque de la investigación.	58
3.3 Diseño de la investigación.	59
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	59
3.5 Indicadores de desempeño considerados en la simulación.	60
3.5.1 Vinculación de los indicadores con la simulación.....	62
3.6 Herramientas de análisis.....	62
3.7 Metodología.	63
CAPÍTULO 4. SITUACIÓN ACTUAL DEL CEDIS.	67
4.1 Descripción general del CEDIS de pinturas.....	67
4.2 Descripción de las áreas dentro del Centro de Distribución.	68
4.3 Diagrama general del proceso logístico del CEDIS.....	70
4.4 Descripción detallada del proceso de surtido.....	74
4.5 Layout actual del Centro de Distribución.	77
4.6 Identificación de problemáticas del layout actual.	79
4.7 Indicadores operativos considerados para el análisis.	81
4.7.1 Indicadores de recibo.....	83

4.7.2 Indicadores de surtido.....	86
4.7.2.1 Análisis general del volumen de operación del surtido.	86
4.7.2.2 Cumplimiento de pedidos en términos de cantidad.	88
4.7.2.3 Indicadores operativos asociados al tiempo de surtido.....	88
4.7.2.4 Relevancia del cumplimiento en tiempo como indicador clave.	90
4.8 Síntesis de la situación actual del CEDIS.	91
CAPITULO 5. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA	
ACTUAL.....	95
5.1 Descripción del sistema a modelar.....	95
5.2 Supuestos del modelo.....	96
5.3 Datos de entrada del modelo.	98
5.3.1 Conversión de unidades de producto a tarimas.	99
5.3.2 Lógica operativa del modelo.	100
5.4 Construcción del modelo en ProModel®.....	102
5.4.1 Representación del layout del sistema.....	103
5.4.2 Definición de locaciones.	103
5.4.3 Definición de entidades.	105
5.4.4 Definición de la red de rutas.....	106
5.4.5 Definición de recursos.	108
5.4.5.1 Programación de recursos y tiempos de operación.....	109
5.4.6 Arribo de entidades en el sistema.	110
5.4.6.1 Arribo de pedidos.....	111
5.4.6.2 Composición de los pedidos.	111
5.5 Proceso mediante el cual trabaja el layout actual.....	113
5.5.1 Proceso de recepción y asignación a almacenamiento.	113
5.5.2 Reubicación interna del almacenamiento.	114
5.5.3 Proceso de surtido de pedidos.	115
5.5.4 Salida del sistema.	116
5.5.5 Control de pedidos y medición del desempeño.	116
5.5.6 Lógica de operación para el registro de resultados.....	117
5.6 Validación del modelo.	118
CAPÍTULO 6. PROPUESTA DE MEJORA Y SIMULACIÓN.....	120
6.1 Enfoque de la propuesta de mejora.	120
6.2 Layout propuesto para mejora del CEDIS.	122
6.2.1 Desarrollo de la propuesta de mejora.	123

6.3 Modelación del layout propuesto.	126
6.3.1 Definición de locaciones del layout propuesto.....	127
6.3.2 Proceso mediante cual trabaja el layout propuesto.....	129
CAPITULO 7. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA ACTUAL Y PROPUESTO MEDIANTE SIMULACIÓN.	131
7.1 Validación de los modelos de simulación.	131
7.2 Integración y procesamiento de resultados de la simulación.	133
7.3 Resultados del sistema actual.....	134
7.4 Resultados del sistema propuesto.....	136
7.5 Comparación y análisis de resultados.	138
7.6 Viabilidad operativa de la propuesta.	142
CONCLUSIONES.	143
LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	144
RECOMENDACIONES.	145
BIBLIOGRAFÍA.	146

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ejemplo de layout de un centro de distribución con zonas funcionales y clasificación por rotación de inventarios.	26
Figura 2. Tipos de layout en almacenes.....	28
Figura 3. Comparación entre layout con flujo discontinuo y layout con flujo continuo.	30
Figura 4. Modelo de simulación en ProModel®.	55
Figura 5. Procedimiento metodológico para el análisis y mejora del layout del CEDIS mediante simulación.	64
Figura 6. Diagrama de flujo del CEDIS.	71
Figura 7. Layout actual del CEDIS de estudio.	77
Figura 8. Ejemplo de registro individual del cumplimiento en tiempo de surtido.	90
Figura 9. Modelo conceptual de relación entre layout, operación e indicadores del CEDIS.	93
Figura 10. Representación del layout del CEDIS en el modelo de simulación desarrollado en ProModel®.	96
Figura 11. Lógica del modelo de simulación del sistema logístico del CEDIS.	101
Figura 12. Definición de locaciones del layout actual.....	104
Figura 13. Definición de entidades del layout actual.....	106
Figura 14. Red de rutas del layout actual.....	107
Figura 15. Recursos del layout actual.	108
Figura 16. Configuración de tiempos para recursos.	109
Figura 17. Configuración de arribos de entidades en layout actual.....	111
Figura 18. Definición de atributos para la composición de pedidos en ProModel®.....	112
Figura 19. Enrutamiento de tarimas desde recepción hacia racks de almacenamiento.	113
Figura 20. Reubicación interna de tarimas.	114
Figura 21. Movimiento de tarimas desde racks hacia el área de embarque.....	115
Figura 22. Salida de entidades del sistema.	116
Figura 23. Visualización de variables de control.....	116
Figura 24. Lógica de operación para medición de pedidos.	117
Figura 25. Layout propuesto para el CEDIS.....	122
Figura 26. Identificación de cambios en el layout propuesto para surtido.	123
Figura 27. Identificación de cambios en el layout propuesto para almacenamiento.	124
Figura 28. Representación del layout propuesto en el modelo de simulación en ProModel®.	127

Figura 29. Definición de locaciones del layout propuesto en ProModel®.....	128
Figura 30. Ejemplo de registros operativos reales utilizados para la validación del modelo.	131
Figura 31. Registro semanal de pedidos realizados en el CEDIS.....	132
Figura 32. Resultados del modelo de simulación del sistema actual.....	135
Figura 33. Resultados del modelo de simulación del sistema propuesto.....	137
Figura 34. Comparación del tiempo promedio de surtido respecto al objetivo operativo....	140

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Principales configuraciones operativas de CEDIS de pinturas.....	22
Tabla 2. Usos de la simulación en diferentes áreas de aplicación.	40
Tabla 3. Ventajas y desventajas de la simulación de sistemas.....	42
Tabla 4. Aplicaciones de la simulación.	47
Tabla 5. Indicadores logísticos para la evaluación del desempeño del CEDIS.	52
Tabla 6. Indicadores de desempeño considerados en la simulación del CEDIS.....	61
Tabla 7. Descripción de las áreas.....	69
Tabla 8. Análisis de Indicadores de Recibo del CEDIS de Pinturas.....	83
Tabla 9. Análisis de Indicadores de Surtido del CEDIS de Pinturas.	87
Tabla 10. Tiempos objetivo de surtido por tipo de unidad de transporte.....	89
Tabla 11. Equivalencia de unidades de producto por tarima.	100
Tabla 12. Comparación de indicadores entre el sistema real, el modelo actual y la propuesta de mejora.....	139

RESUMEN.

Este trabajo tiene como objetivo analizar y mejorar el desempeño operativo de un Centro de Distribución mediante una propuesta de reorganización del layout, enfocada en el proceso de surtido de pedidos. El análisis se basa en la identificación de problemáticas en el sistema actual, como recorridos extensos, dispersión de productos, saturación de espacios y cruces operativos, las cuales afectan directamente los tiempos de surtido y el cumplimiento de los pedidos.

Para el análisis, se desarrolló un modelo de simulación del sistema actual utilizando ProModel, con el cual se evaluó el comportamiento del proceso bajo condiciones reales de operación e identificaron áreas de mejora en la eficiencia del sistema.

A partir de este diagnóstico, se planteó una propuesta de reorganización del layout orientada a optimizar la ubicación de las áreas de picking y almacenamiento. La propuesta fue evaluada mediante un segundo modelo de simulación, manteniendo las mismas condiciones operativas para asegurar la comparabilidad de los resultados.

Los resultados evidencian una mejora en el desempeño del sistema, reflejada en una mayor capacidad de atención de pedidos y una reducción en los tiempos de surtido, así como en un mejor cumplimiento de los tiempos objetivo establecidos para la operación.

Asimismo, la propuesta no requiere inversión en infraestructura ni en la adquisición de nuevos equipos, lo que la convierte en una alternativa viable y económicamente factible para su implementación.

En conclusión, la propuesta desarrollada representa una solución efectiva para mejorar la eficiencia operativa del Centro de Distribución mediante la optimización del layout.

ABSTRACT.

The objective of this study is to analyze and improve the operational performance of a Distribution Center through a proposed layout reorganization focused on the order picking process. The analysis is based on the identification of issues within the current system, such as long travel distances, product dispersion, space congestion, and operational cross-traffic, all of which directly affect picking times and order fulfillment performance.

For the analysis, a simulation model of the current system was developed using ProModel. This model was used to evaluate process behavior under real operating conditions and to identify areas for improvement in system efficiency.

Based on this diagnosis, a layout reorganization proposal was developed with the aim of optimizing the location of picking and storage areas. The proposal was evaluated through a second simulation model while maintaining the same operating conditions to ensure the comparability of results.

The results demonstrate an improvement in system performance, reflected in an increased order processing capacity and reduced picking times, as well as better compliance with the target times established for the operation.

Furthermore, the proposal does not require investment in infrastructure or the acquisition of new equipment, making it a viable and economically feasible alternative for implementation.

In conclusion, the proposed reorganization represents an effective solution for improving the operational efficiency of the Distribution Center through layout optimization.

AGRADECIMIENTOS.

Al Dr. Joselito Medina, expreso mi más sincero agradecimiento por su orientación, dedicación y apoyo durante el desarrollo de esta investigación. Gracias por compartir sus conocimientos, brindar su tiempo y ofrecer la guía necesaria para culminar esta etapa académica. Sus enseñanzas no solo contribuyeron al fortalecimiento de mis habilidades en el área de simulación, sino que también me permitieron ampliar y orientar de mejor manera mis conocimientos profesionales, dejando una valiosa huella en mi formación como ingeniero.

A mis amigos a lo largo de los años, gracias por su amistad, confianza y cariño. En ustedes encontré momentos de alegría, aprendizaje y crecimiento, así como el respaldo necesario para superar los desafíos que se presentaron en el camino.

A los amigos que conocí durante la carrera, gracias por el compañerismo y el apoyo mutuo que hicieron más enriquecedora esta etapa. Compartimos retos, aprendizajes y experiencias que nos permitieron crecer juntos, construyendo amistades que van más allá de las aulas y que conservaré con gran aprecio.

A mis suegros Antonio y Alicia, gracias por abrirme las puertas de su familia y recibirme siempre con cariño, confianza y apoyo. Agradezco profundamente cada muestra de afecto y cada momento compartido, así como el hacerme sentir parte de su familia y brindarme el trato y la confianza de un hijo más. Su generosidad y apoyo han significado mucho para mí durante esta etapa de mi vida.

DEDICATORIAS.

A el amor de vida, Ana Flores, porque este logro es tan tuyo como mío.

Gracias por estar siempre a mi lado, alentándome en cada desafío, apoyándome sin importar las circunstancias, confiando en mí incluso en los momentos más difíciles y brindándome tu amor incondicional.

Tu compañía ha sido una de las mayores fortalezas durante este camino y una parte fundamental de la persona que soy hoy. Deseo que Dios nos permita seguir construyendo juntos nuestros sueños, alcanzar cada una de nuestras metas y ver crecer día con día el amor que nos une. Así como deseo alcanzar el éxito en mi vida, anhelo que tú lo alcances aún más, porque nadie merece más felicidad y realización que tú. Te amo profundamente y por siempre.

A mi madre, Daniela, por todo el amor, cuidado y dedicación que me has brindado a lo largo de mi vida. Gracias por la confianza que siempre has depositado en mí, por tu apoyo incondicional y por ese amor fuerte y cálido que ha sido fundamental en mi formación y que ha contribuido a convertirme en la persona que soy hoy. Este logro también es resultado de todo lo que has hecho por mí y de los sacrificios que realizaste para ayudarme a alcanzar mis metas. Espero poder retribuirte, aunque sea en parte, todo lo que me has dado, y seguir llenándote de orgullo y alegría con cada paso que dé. Te amo inmensamente, mamá.

A mi padre, Raúl, porque a pesar de las diferencias y de las circunstancias que en ocasiones hemos enfrentado, siempre he reconocido todo lo que has hecho por mí. Gracias por cada esfuerzo, sacrificio y apoyo que has brindado a lo largo de mi vida. Sin tu presencia, tus enseñanzas y tu ejemplo, no sería la persona que soy hoy. Espero poder llenarte de orgullo con cada uno de mis logros, así como agradecerte con hechos todo lo que has hecho por mí. Te admiro por ser la fortaleza de nuestra familia y por nunca dejar de luchar por quienes amas. Te amo, papá.

A mis hermanos, Wendy, Jeimy, Raúl y Brandon, porque cada recuerdo, experiencia y momento compartido en nuestro hogar ocupa un lugar especial en mi corazón. Gran parte de este esfuerzo también ha sido por ustedes, ya que siempre he querido ser un ejemplo del que puedan sentirse orgullosos. Confío plenamente en que lograrán grandes cosas y alcanzarán todas las metas que se propongan. Nunca dejen de soñar en grande, de luchar por lo que desean y de creer en ustedes mismos. Recuerden que siempre podrán contar conmigo, porque más que su hermano mayor, seré siempre alguien dispuesto a apoyarlos en cada paso de su camino. Los amo, hermanos.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCION.

Los Centros de Distribución (CEDIS) cumplen un papel fundamental dentro de la cadena de suministro, al concentrar las actividades de recepción, almacenamiento, abastecimiento y surtido de productos hacia distintos puntos de venta o almacenes regionales. En la industria de pinturas, la operación logística presenta una mayor complejidad debido a la amplia variedad de productos, presentaciones y características de manejo, lo que hace necesario contar con una distribución física adecuada que favorezca procesos eficientes y continuos.

En este contexto, la eficiencia operativa del CEDIS es un factor clave para garantizar tiempos de respuesta adecuados, reducir costos operativos y mantener la competitividad de la organización. Un diseño inadecuado del layout puede generar recorridos largos, cruces innecesarios y tiempos de espera, incrementando el esfuerzo físico del personal y afectando directamente la productividad, particularmente en el proceso de surtido de pedidos.

En la operación actual del Centro de Distribución objeto de estudio se ha observado que el layout genera movimientos innecesarios y recorridos excesivos durante las actividades de surtido, principalmente debido a la ubicación poco estratégica de ciertos productos y a la ausencia de un análisis formal del flujo de materiales. Como consecuencia, los tiempos de surtido se incrementan, lo que deriva en retrasos en los embarques, inconformidades por parte de los clientes y una disminución en la productividad del personal operativo.

Esta problemática ha sido abordada previamente por diversos autores en el ámbito logístico. Gu et al. (2007) señalan que la configuración del layout influye directamente en la distancia recorrida, los tiempos de surtido y los costos operativos, destacando que un diseño deficiente incrementa los movimientos innecesarios y genera cuellos de botella en el flujo de materiales. De manera similar, Tompkins et al. (2010) indican que entre el 50 % y el 70 % del tiempo operativo en almacenes y centros de distribución se destina al desplazamiento del

personal, particularmente durante el proceso de picking, lo que convierte al layout en un factor crítico de desempeño.

Asimismo, Richards (2018) destaca que la simulación de eventos discretos se ha consolidado como una herramienta eficaz para el análisis de sistemas logísticos complejos, al permitir modelar la variabilidad operativa y evaluar distintas configuraciones de layout sin interrumpir la operación real. Estudios aplicados en contextos latinoamericanos y nacionales, como los desarrollados por Álvarez Martínez (2017), Muñoz (2018) y Báez Carrera (2016), demuestran que el rediseño del layout apoyado en técnicas de simulación puede generar reducciones significativas en distancias recorridas, tiempos de surtido y utilización de recursos.

No obstante, se identifica un vacío en estudios aplicados específicamente a centros de distribución de la industria de pinturas, sector que presenta particularidades como diversidad de presentaciones, restricciones de manejo y variabilidad en pesos y volúmenes. Esta situación refuerza la pertinencia de analizar el layout del CEDIS objeto de estudio y evaluar alternativas de mejora orientadas a la reducción de movimientos innecesarios y a la optimización del proceso de surtido.

1.1 Planteamiento del problema.

El Centro de Distribución de pinturas objeto de estudio atiende las operaciones de recepción, almacenamiento, abastecimiento y surtido de productos hacia distintos almacenes regionales. Estas actividades se realizan dentro de un layout que ha sido modificado de manera progresiva conforme a las necesidades operativas, sin un análisis integral que evalúe su impacto sobre los flujos de materiales y los recorridos del personal.

Como resultado de esta situación, el layout actual presenta deficiencias que se manifiestan en movimientos innecesarios y recorridos excesivos durante el proceso de surtido. La ubicación poco estratégica de determinados productos, la separación ineficiente de áreas operativas y la falta de una distribución orientada al flujo continuo provocan que los operadores recorran mayores distancias para completar los pedidos, incrementando los tiempos de surtido y reduciendo la productividad.

Estas ineficiencias afectan directamente el desempeño operativo del CEDIS, ya que el aumento en los tiempos de surtido genera retrasos en los embarques y, en consecuencia, inconformidades por parte de los clientes debido a entregas fuera del tiempo esperado. Asimismo, los movimientos innecesarios incrementan el esfuerzo físico del personal, elevan el riesgo de errores operativos y limitan la capacidad del Centro de Distribución para responder de manera eficiente a picos de demanda.

A pesar de que el CEDIS cuenta con información real derivada de la operación diaria, no se ha desarrollado un estudio formal que permita modelar y analizar el comportamiento del sistema bajo el layout actual, ni evaluar alternativas de mejora antes de su posible implementación. La ausencia de este tipo de análisis limita la toma de decisiones basada en datos y dificulta la identificación de un diseño de layout que optimice los recorridos y el desempeño del proceso de surtido.

Ante esta problemática, se identifica la necesidad de aplicar técnicas de modelación y simulación que permitan representar el layout actual, analizar su funcionamiento y evaluar escenarios de rediseño orientados a la reducción de movimientos innecesarios y a la mejora de la eficiencia operativa del proceso de surtido.

1.2 Pregunta de investigación.

¿Cómo puede la mejora del layout actual de un Centro de Distribución de pinturas, evaluada mediante modelación y simulación en ProModel, contribuir a la reducción de movimientos innecesarios y a la mejora de la eficiencia del proceso de surtido?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Evaluar mejoras al layout actual de un Centro de Distribución de pinturas mediante modelación y simulación, con el fin de reducir movimientos innecesarios y mejorar la eficiencia del proceso de surtido.

1.3.2 Objetivos específicos.

Levantar y analizar información real del flujo de materiales, tiempos de operación y distribución física actual del Centro de Distribución de pinturas, con énfasis en el proceso de surtido.

Desarrollar el modelo de simulación del layout actual del Centro de Distribución mediante el software ProModel®, incorporando datos reales de operación para representar fielmente el comportamiento del sistema.

Definir y medir los indicadores clave de desempeño del proceso de surtido, tales como tiempo total de surtido, tonelaje y cantidad de productos surtidos, así como el número total de pedidos atendidos.

Identificar los puntos críticos del sistema logístico, incluyendo recorridos excesivos, saturación de áreas, cruces innecesarios y movimientos improductivos, a partir del análisis del modelo de simulación del layout actual.

Desarrollar una alternativa de rediseño del layout orientado a la reducción de recorridos, mejora del flujo de materiales y optimización del uso del espacio dentro del Centro de Distribución.

Simular y evaluar la alternativa propuesta, comparando su desempeño con el layout actual mediante los indicadores clave de eficiencia definidos previamente.

1.4 Justificación.

La presente investigación cuenta con un fundamento práctico, ya que surge a partir de problemáticas reales identificadas en la operación diaria de un Centro de Distribución (CEDIS) de pinturas, específicamente relacionadas con el diseño del layout y los recorridos realizados durante el proceso de surtido. Dichas problemáticas impactan directamente en la eficiencia operativa, los tiempos de atención de pedidos y la productividad del personal, lo que justifica la necesidad de un análisis formal orientado a la mejora del sistema actual.

Si bien por motivos de confidencialidad no es posible divulgar información estratégica, financiera o comercial de la empresa, el estudio se sustenta en el uso de datos operativos reales, tales como tiempos de surtido, tonelaje y número de piezas surtidas, así como el volumen de pedidos atendidos. El empleo de este tipo de información permite realizar un análisis técnico

válido y representativo del funcionamiento real del CEDIS, sin comprometer la seguridad de la información organizacional.

Desde el punto de vista técnico, la investigación se justifica por la aplicación de la modelación y simulación de eventos discretos como herramienta para el análisis y mejora del layout. La simulación permite representar el comportamiento del sistema logístico actual, evaluar su desempeño mediante indicadores clave y analizar escenarios alternativos de rediseño sin necesidad de realizar modificaciones físicas inmediatas en la operación. Esto resulta especialmente relevante en entornos logísticos, donde los cambios en la distribución física suelen implicar altos costos, interrupciones operativas y riesgos asociados a su implementación directa.

Asimismo, el uso de software especializado como ProModel® posibilita la comparación objetiva entre el layout actual y las propuestas de mejora, facilitando la toma de decisiones basada en resultados cuantitativos y en evidencia analítica. De esta manera, se pueden identificar alternativas que contribuyan a la reducción de movimientos innecesarios, la optimización de recorridos y la mejora del proceso de surtido antes de su posible aplicación real.

Finalmente, desde el enfoque académico, el estudio aporta valor al documentar un caso de estudio aplicado en el área de la Ingeniería Industrial y la logística, integrando teoría, datos reales y herramientas de simulación. Los resultados obtenidos pueden servir como referencia para futuros estudios relacionados con la optimización de layouts en centros de distribución con características similares, fortaleciendo el vínculo entre la investigación académica y la práctica profesional.

1.5 Alcances y limitaciones.

1.5.1 Alcances.

Analizar el layout real del Centro de Distribución de pinturas.

Utilizar datos operativos reales relacionados con el proceso de surtido y recibo.

Desarrollar un modelo de simulación en ProModel ®.

Proponer y evaluar una alternativa de rediseño del layout.

1.5.2 Limitaciones.

No incluir información financiera, estratégica o sensible.

No revelar nombres comerciales ni planos detallados.

Limitar el análisis a datos operativos, sin evaluar costos de implementación.

1.6 Organización del estudio.

El presente trabajo se encuentra estructurado en siete capítulos, los cuales permiten desarrollar de manera ordenada el análisis, la propuesta y la evaluación del sistema estudiado.

En el Capítulo 1 se presenta la introducción, donde se describe el contexto del estudio, el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación.

El Capítulo 2 aborda el marco teórico, en el cual se exponen los conceptos fundamentales relacionados con la logística, los centros de distribución, la distribución de planta y la simulación de sistemas.

En el Capítulo 3 se describe la metodología empleada para el desarrollo del estudio, incluyendo las etapas seguidas para el análisis, modelación y evaluación del sistema.

El Capítulo 4 presenta el diagnóstico del sistema actual del Centro de Distribución, donde se identifican las problemáticas existentes en la operación, particularmente en el proceso de surtido de pedidos.

En el Capítulo 5 se desarrolla el modelo de simulación del sistema actual mediante el uso de ProModel, así como la definición de sus parámetros y validación.

El Capítulo 6 contiene la propuesta de mejora basada en la reorganización del layout del Centro de Distribución, así como su modelación dentro del entorno de simulación.

Finalmente, en el Capítulo 7 se presentan los resultados obtenidos de la simulación, el análisis comparativo entre el sistema actual y el sistema propuesto, así como las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Centros de Distribución (CEDIS).

Después de la segunda guerra mundial de acuerdo a Bowersox et al. (2007) la atención de los administradores se dirigió al almacenamiento estratégico. La administración empezó a cuestionar la necesidad de grandes redes de almacenes. El costo de transportar embarques pequeños volvió prohibitivos los pedidos directos. Esto creó la oportunidad de establecer almacenes estratégicamente ubicados para proporcionar a los minoristas un abasto oportuno y económico. Por lo tanto, la atención en el almacenamiento pasó de un almacenaje pasivo a un surtido estratégico. Es en este punto que se comienza a utilizar el nombre de centros de distribución.

Un Centro de Distribución (CEDIS) es una instalación logística diseñada para recibir, almacenar, preparar y despachar productos hacia distintos puntos de la cadena de suministro, con el objetivo de garantizar la disponibilidad oportuna de los bienes y optimizar los costos operativos (Ballou, 2004). A diferencia de un almacén tradicional, el CEDIS se caracteriza por un alto dinamismo operativo y un enfoque en el flujo continuo de materiales.

Frazelle (2002) define al centro de distribución como un nodo estratégico que integra procesos logísticos clave y cuyo desempeño impacta directamente en el nivel de servicio al cliente. Desde esta perspectiva, el CEDIS no solo almacena productos, sino que agrega valor mediante actividades como consolidación, desconsolidación y surtido.

Asimismo, Emmett (2021) menciona que un centro de distribución es una infraestructura diseñada para optimizar las operaciones de almacenamiento, preparación de pedidos y despacho de productos, contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa y el nivel de servicio dentro de la cadena de suministro.

2.1.1 Funciones típicas.

Las funciones principales de un CEDIS incluyen:

- Recepción de mercancía,
- Almacenamiento,
- Abastecimiento interno,
- Preparación de pedidos (picking o surtido),
- Embarque y despacho.

Autores como Rushton, Croucher y Baker (2017) señalan que el proceso de surtido representa la actividad más costosa y crítica dentro del CEDIS, ya que concentra la mayor parte del tiempo operativo y del esfuerzo del personal. De igual manera, Bartholdi y Hackman (2019) mencionan que la preparación de pedidos es una de las actividades con mayor impacto dentro de las operaciones de almacén debido a la cantidad de recursos, tiempo y desplazamientos que requiere.

2.1.2 Tipos de operaciones en CEDIS de pinturas.

Tabla 1. Principales configuraciones operativas de CEDIS de pinturas.

Tipo de operación	Enfoque	Ejemplos en pinturas
Almacén convencional	Stock + surtido	CEDIS regionales con inventario por familia/color
Centro de distribución multi-cluster	Cobertura geográfica y tiempo de entrega	Modelos de localización para servir clusters de tiendas de materiales
Cross-dock / pre-distribución	Paso rápido, casi sin almacenamiento	Transferencia rápida de lotes de planta a puntos de venta

Nota: Elaboración propia con base en Ballou (2004), Rushton et al. (2017) y Richards (2018).

Las configuraciones operativas presentadas en la **Tabla 1** se construyeron a partir del análisis y la integración de distintos enfoques teóricos sobre centros de distribución, estrategias de almacenamiento y modelos de operación logística. Si bien la clasificación se apoya en conceptos desarrollados por diversos autores en la literatura especializada, la estructura de la tabla y su adaptación a la industria de pinturas corresponden a una elaboración propia, con el propósito de contextualizar las operaciones del caso de estudio.

2.1.3 Retos específicos de la industria de pinturas.

La industria de pinturas presenta retos logísticos particulares que impactan directamente en la operación de almacenes y centros de distribución, especialmente en aspectos relacionados con la gestión de inventarios, el flujo de materiales y el desempeño operativo del surtido.

Uno de los principales desafíos corresponde a la alta variedad de productos y presentaciones manejadas dentro del sistema logístico. En este tipo de industria es común administrar productos en diferentes formatos, como cubetas, galones, litros, sprays y tambos, lo que incrementa la complejidad del almacenamiento y del proceso de picking. Richards (2018) señala que los almacenes con alta diversidad de productos requieren estrategias eficientes de organización y ubicación para reducir recorridos y mejorar la productividad operativa.

Asimismo, el diseño del layout representa un factor crítico para el desempeño del almacén. Una distribución física inadecuada puede generar recorridos excesivos, congestión operativa y tiempos improductivos durante el surtido de pedidos. Gu, Goetschalckx y McGinnis (2007) destacan que el diseño del layout influye directamente en la distancia recorrida, el flujo de materiales y la eficiencia de las operaciones logísticas dentro de los almacenes.

De igual manera, la gestión de productos de alta rotación constituye otro reto importante dentro de los centros de distribución. La incorrecta ubicación de productos de alta demanda incrementa los tiempos de desplazamiento y afecta el cumplimiento de pedidos. Estudios recientes sobre estrategias de picking y diseño de almacenes demuestran que la ubicación estratégica de productos de mayor rotación permite mejorar significativamente los tiempos de surtido y el desempeño operativo del sistema (Khumprom et al., 2025).

Otro desafío relevante corresponde a la coordinación entre las áreas de recepción, almacenamiento, reabastecimiento y surtido. Rushton, Croucher y Baker (2017) señalan que el proceso de picking representa una de las actividades más críticas y costosas dentro del almacén debido a la cantidad de desplazamientos y recursos involucrados.

Por otra parte, las tendencias actuales en logística muestran una creciente necesidad de optimizar los almacenes mediante layouts más eficientes que reduzcan tiempos de recorrido y mejoren el aprovechamiento del espacio disponible. Investigaciones recientes sobre diseño de layouts en almacenes indican que la optimización de las rutas y la redistribución estratégica de productos contribuyen directamente a incrementar la productividad y disminuir los tiempos de operación (Looms & Xie, 2025).

En este contexto, la presente investigación se enfoca en los retos relacionados con la eficiencia operativa del surtido, la reducción de movimientos innecesarios y la optimización del layout dentro del CEDIS, factores que guardan una relación directa con el flujo de materiales y el desempeño del sistema logístico.

2.2 Layout de almacén.

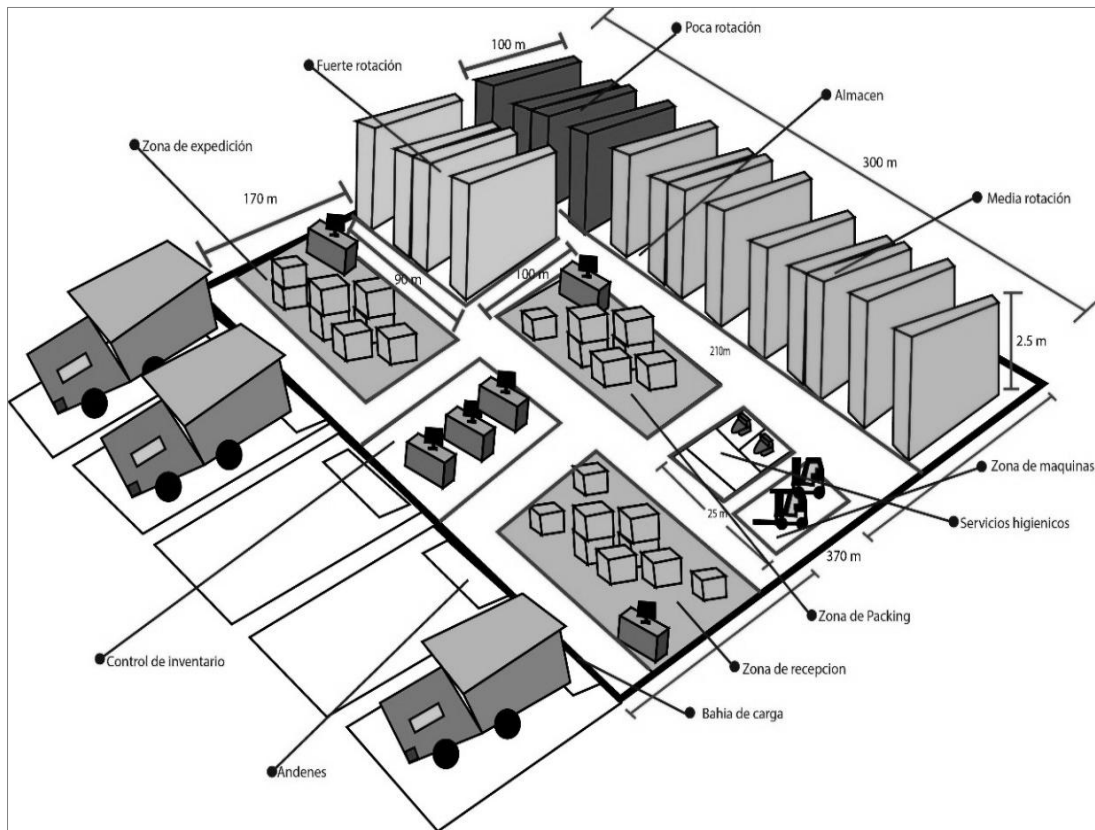
El ordenamiento y la disposición de los distintos productos y elementos que conforman un almacén resultan fundamentales para lograr una operación logística eficiente,

particularmente en centros de distribución, donde el objetivo principal es facilitar el flujo de materiales y optimizar los procesos operativos, como se ilustra en la **Figura 1**. Una planificación adecuada del espacio disponible, orientada a mejorar la accesibilidad de los productos y la organización de las áreas funcionales, permite reducir recorridos, minimizar tiempos de operación y mejorar el desempeño del sistema logístico.

En este contexto, el diseño del layout no se enfoca en la experiencia de compra del consumidor, sino en maximizar la eficiencia operativa mediante una correcta administración del inventario, el uso racional del espacio y la ubicación estratégica de los productos en función de su rotación y características de manejo. De acuerdo con Tompkins et al. (2010), una distribución eficiente de las instalaciones permite optimizar el flujo de materiales, disminuir desplazamientos innecesarios y mejorar la productividad dentro de los sistemas de almacenamiento.

Asimismo, Gu, Goetschalckx y McGinnis (2007) señalan que el diseño del layout representa uno de los factores más importantes en el desempeño operativo de un almacén, debido a su impacto directo sobre los tiempos de recorrido, la utilización del espacio y la eficiencia del proceso de surtido.

Figura 1. Ejemplo de layout de un centro de distribución con zonas funcionales y clasificación por rotación de inventarios.



Nota: Elaboración propia con base en una imagen de referencia obtenida de internet.

Como se observa en la **Figura 1**, el layout del almacén se estructura a partir de áreas funcionales claramente definidas, tales como recepción, almacenamiento, picking, packing y expedición, lo que permite un flujo ordenado de materiales dentro del centro de distribución. Asimismo, la disposición de los productos considera su nivel de rotación, ubicando los artículos de mayor movimiento en zonas más cercanas a las áreas de despacho, con el objetivo de reducir recorridos, tiempos de surtido y costos operativos. Este tipo de configuración favorece una operación más eficiente del almacén y constituye una referencia conceptual para el diseño y evaluación de layouts en centros de distribución, particularmente en industrias con alta variedad de productos, como la industria de pinturas.

2.2.1 Tipos de layout en almacenes.

La literatura especializada identifica diversos tipos de layout aplicables a almacenes y centros de distribución, cuya selección depende del tipo de producto, el volumen de operación y la estrategia logística adoptada.

Uno de los más comunes es el **layout por proceso**, en el cual las áreas se agrupan de acuerdo con funciones similares, como recepción, almacenamiento, surtido y embarque. Este tipo de layout ofrece flexibilidad ante una alta variedad de productos; sin embargo, puede generar recorridos largos y cruces frecuentes si no se diseña adecuadamente (Gu et al., 2007).

El **layout por producto** organiza las áreas siguiendo la secuencia del flujo de materiales, lo que favorece el flujo continuo y reduce tiempos de desplazamiento. No obstante, su aplicación suele ser limitada en centros de distribución con alta diversidad de productos, como es el caso de la industria de pinturas.

Otro enfoque es el **layout por zonas**, donde el almacén se divide en áreas específicas según criterios como rotación de inventarios, tipo de producto o peso. Según Richards (2018), este tipo de layout resulta especialmente útil para optimizar el proceso de picking, ya que permite reducir recorridos al ubicar los productos de mayor demanda en zonas estratégicas.

Estos tipos se representan esquemáticamente en la **Figura 2**, donde se observa la organización espacial y flujo predominante de cada enfoque.

Figura 2. Tipos de layout en almacenes.



Nota: Elaboración propia con base en Tompkins et al. (2010), Gu, Goetschalckx y McGinnis (2007) y Richards (2018).

Como se observa en la **Figura 2**, aunque los tipos de layout presentan diferencias en su enfoque y organización espacial, todos comparten una estructura operativa básica compuesta por las actividades de recepción, almacenamiento, surtido y embarque. La principal diferencia entre ellos radica en la forma en que los productos son ubicados, resguardados y trasladados dentro del almacén, lo cual influye directamente en los recorridos del personal, el flujo de materiales y la eficiencia del proceso de surtido.

2.2.2 Criterios para el diseño de un layout eficiente.

El diseño del layout debe responder a criterios técnicos que permitan asegurar no solo la eficiencia operativa, sino también la escalabilidad y adaptabilidad del sistema logístico. Entre los criterios más citados en la literatura se incluyen:

- Minimización de distancias recorridas: reducir la longitud de desplazamientos entre actividades clave, lo cual contribuye a la disminución de tiempos de operación y esfuerzo físico del personal operativo (Tompkins et al., 2010).
- Adecuación al flujo de materiales: organizar las áreas de modo que los productos sigan una secuencia lógica desde la recepción hasta el despacho, facilitando un flujo continuo y reduciendo interrupciones operativas. De acuerdo con Bartholdi y Hackman

(2019), un flujo eficiente de materiales dentro del almacén permite disminuir recorridos innecesarios y mejorar el desempeño de las operaciones logísticas.

- Flexibilidad y adaptación a la demanda: permitir ajustes operativos en respuesta a cambios en la demanda, rotación de inventarios o incorporación de nuevas líneas de producto. Según Frazelle (2002), los layouts de almacén deben diseñarse considerando la capacidad de adaptación ante variaciones operativas y cambios en los patrones de demanda.

La literatura reciente también destaca que la integración de tecnologías de apoyo, como sistemas de gestión de almacenes (WMS) y herramientas de simulación, contribuye significativamente a mejorar el diseño y evaluación de layouts al proporcionar información dinámica sobre flujos, utilización de espacios y desempeño operativo. En este sentido, Boysen, de Koster y Weidinger (2019) señalan que el uso de tecnologías aplicadas al almacenamiento permite optimizar las operaciones logísticas y mejorar la toma de decisiones dentro de los centros de distribución.

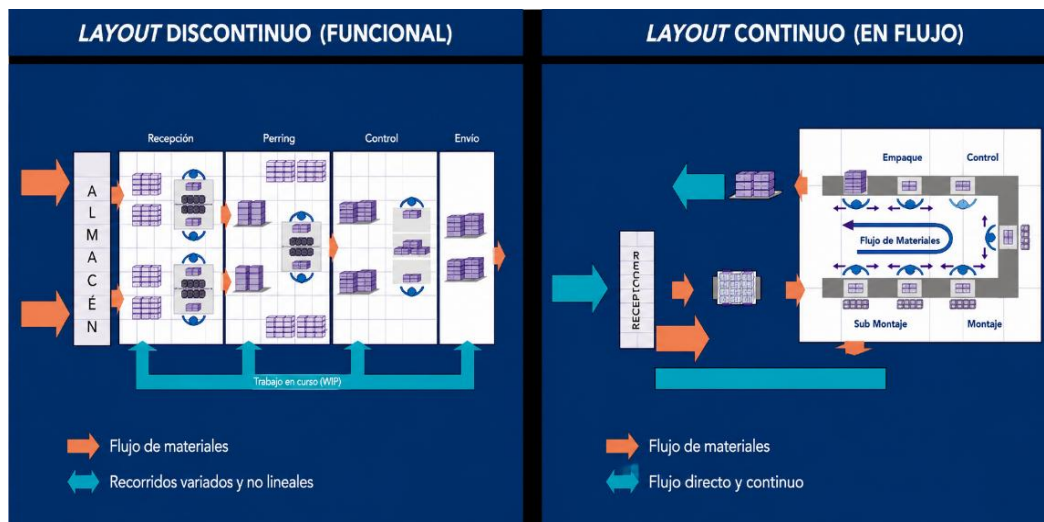
2.2.3 Importancia del flujo continuo.

El concepto de flujo continuo se refiere a la capacidad de un sistema para desplazar materiales de manera constante, ordenada y sin interrupciones innecesarias a lo largo del proceso. En almacenes y centros de distribución, un flujo continuo contribuye a la reducción de tiempos muertos, evita cruces innecesarios de trayectorias y disminuye el esfuerzo físico del personal operativo.

De acuerdo con Ohno (1988), las interrupciones en el flujo representan una fuente significativa de desperdicio, principalmente en forma de movimientos y transportes innecesarios. Cuando el layout no se encuentra alineado con la secuencia real de los procesos, se generan recorridos redundantes que afectan negativamente la eficiencia operativa del sistema.

En la industria de pinturas, donde los productos presentan distintos pesos, volúmenes y condiciones de manejo, la ausencia de un flujo continuo puede incrementar los riesgos ergonómicos y los tiempos de surtido. Esto refuerza la necesidad de diseñar layouts basados en el análisis del flujo de materiales, con el objetivo de mejorar la seguridad y el desempeño operativo del almacén.

Figura 3. Comparación entre layout con flujo discontinuo y layout con flujo continuo.



Nota: Tomado de Kaizen Institute (s. f.).

Como se muestra en la **Figura 3**, el layout funcional agrupa los recursos y actividades de acuerdo con su tipo de operación, lo que puede generar recorridos largos, acumulación de trabajo en proceso y flujos poco continuos. En contraste, el layout en flujo organiza las áreas de trabajo siguiendo la secuencia del proceso, favoreciendo un desplazamiento más lineal de los materiales y una mayor eficiencia operativa. Esta comparación permite identificar cómo la selección del tipo de layout influye directamente en el flujo de materiales, los tiempos de operación y el desempeño general del sistema, aspectos clave en el diseño de almacenes y centros de distribución.

2.2.4 Relación del layout con los movimientos innecesarios.

Diversos estudios coinciden en que existe una relación directa entre el diseño del layout y la generación de movimientos innecesarios durante el proceso de surtido. Richards (2018)

indica que una parte significativa de las ineficiencias en almacenes se debe a layouts heredados que no han sido rediseñados conforme al crecimiento de la operación.

Desde un enfoque Lean, los movimientos innecesarios se consideran una forma de muda que no agrega valor al proceso. Por ello, el rediseño del layout orientado a la reducción de recorridos representa una estrategia clave para mejorar la eficiencia del sistema logístico.

En este contexto, la simulación permite cuantificar el impacto del layout sobre indicadores como la distancia recorrida y el tiempo de surtido, proporcionando una base objetiva para la toma de decisiones.

2.2.5 Aportes contemporáneos y vacíos de investigación.

Los estudios recientes han ampliado la comprensión del diseño de layouts desde enfoques tradicionales hacia soluciones más dinámicas basadas en optimización y simulación computacional. Actualmente, diversas investigaciones analizan el uso de algoritmos y modelos inteligentes para mejorar la eficiencia operativa dentro de almacenes y centros de distribución. Zhang et al. (2018) señalan que los diseños tradicionales de layout pueden generar congestión y recorridos innecesarios, por lo que proponen métodos evolutivos automatizados capaces de generar configuraciones más eficientes para operaciones logísticas complejas.

Asimismo, investigaciones contemporáneas resaltan la importancia de integrar herramientas de simulación y optimización para evaluar previamente distintas configuraciones operativas antes de implementar cambios físicos dentro del almacén. Díaz et al. (2024) destacan que los métodos de optimización aplicados al diseño de layouts permiten reducir tiempos de operación y mejorar la eficiencia del flujo de materiales dentro de sistemas logísticos con alta variabilidad operativa.

Por otra parte, las tendencias recientes en almacenamiento también enfatizan la necesidad de layouts flexibles y adaptables ante cambios en la demanda y en los patrones de

surtido. Hu et al. (2023) indican que la optimización de layouts en centros de distribución contribuye significativamente a mejorar la eficiencia del picking y el aprovechamiento del espacio disponible.

Sin embargo, la revisión de literatura evidencia una limitada cantidad de investigaciones enfocadas específicamente en centros de distribución de pinturas o sistemas logísticos con características similares, como alta variedad de presentaciones, diferentes unidades de manejo y productos de rotación variable. Esta situación representa un área de oportunidad para desarrollar estudios aplicados al rediseño de layouts mediante simulación en este tipo de operaciones.

En este contexto, la presente investigación propone evaluar una mejora del layout mediante simulación en ProModel®, permitiendo analizar el comportamiento operativo del sistema antes de implementar cambios físicos dentro del CEDIS. Este enfoque contribuye a disminuir riesgos operativos y facilita la toma de decisiones basada en evidencia cuantitativa.

2.3 Modelación de procesos logísticos.

La modelación de procesos logísticos constituye una herramienta fundamental para el análisis y mejora de la operación en centros de distribución, ya que permite representar de manera estructurada el flujo de materiales, información y recursos que intervienen en el sistema. A través de la modelación, es posible comprender el comportamiento del sistema logístico, identificar ineficiencias operativas y evaluar alternativas de mejora antes de su implementación física.

De acuerdo con Ballou (2004), los procesos logísticos integran actividades interrelacionadas que deben analizarse de manera sistémica, ya que una modificación en alguno de sus componentes impacta directamente en el desempeño global del sistema. En centros de

distribución, estos procesos incluyen la recepción, el almacenamiento, el abastecimiento interno, el surtido de pedidos y el despacho, cuya interacción define el nivel de servicio y los costos operativos.

En este contexto, la modelación permite abstraer la realidad operativa conservando sus características esenciales, tales como tiempos de proceso, recorridos, capacidades y restricciones físicas, lo que facilita el análisis técnico y la toma de decisiones fundamentadas (Rushton, Croucher y Baker, 2017).

2.3.1 Importancia de la modelación en sistemas logísticos

La creciente complejidad de las operaciones logísticas ha incrementado la necesidad de utilizar herramientas analíticas que apoyen la toma de decisiones, particularmente en centros de distribución con alta variedad de productos y demanda variable. En este sentido, la modelación de procesos logísticos se ha consolidado como un enfoque clave para evaluar el desempeño operativo sin afectar la operación real.

Autores como Richards (2018) señalan que una parte significativa de las ineficiencias en almacenes proviene de decisiones de diseño basadas únicamente en experiencia empírica, sin un análisis cuantitativo del flujo real de materiales. La modelación permite visualizar estos flujos, identificar cuellos de botella y cuantificar los movimientos innecesarios asociados al layout.

Estudios recientes confirman que el uso de modelos logísticos contribuye significativamente a mejorar indicadores operativos como la distancia recorrida, los tiempos de surtido y la utilización de recursos dentro de los almacenes. En este sentido, Boysen, de Koster y Weidinger (2019) señalan que la aplicación de herramientas analíticas y modelos de optimización permite evaluar configuraciones operativas y mejorar el desempeño de los sistemas logísticos, especialmente en procesos relacionados con almacenamiento y picking.

2.3.2 Tipos de modelos aplicados a la logística

En el ámbito logístico, los modelos pueden clasificarse de acuerdo con su nivel de abstracción y su enfoque analítico. Entre los principales se encuentran:

- **Modelos conceptuales**, que describen de manera general la secuencia de procesos y su interacción.
- **Modelos analíticos o matemáticos**, orientados a la optimización de variables específicas como costos, inventarios o niveles de servicio.
- **Modelos de simulación**, que representan el comportamiento dinámico del sistema a lo largo del tiempo.

Para el análisis de centros de distribución, los modelos de simulación resultan especialmente adecuados, ya que permiten incorporar la variabilidad inherente a las operaciones logísticas, como tiempos de llegada, tamaños de pedido y comportamiento del personal operativo. Law (2015) señala que la simulación constituye una herramienta fundamental para representar sistemas complejos y analizar escenarios operativos sin intervenir directamente en el sistema real.

Asimismo, Shannon (2009) menciona que los modelos de simulación permiten evaluar el comportamiento dinámico de los sistemas logísticos considerando variables aleatorias y restricciones operativas que difícilmente pueden analizarse mediante modelos estáticos tradicionales.

Investigaciones recientes también destacan que la integración de simulación y modelos de optimización contribuye significativamente a mejorar la toma de decisiones en sistemas logísticos complejos. En este sentido, Ivanov (2020) señala que el uso combinado de herramientas analíticas y simulación permite evaluar distintos escenarios operativos y fortalecer la capacidad de respuesta de las cadenas de suministro ante condiciones variables.

2.3.3 Simulación de eventos discretos en centros de distribución.

La simulación de eventos discretos es una técnica ampliamente utilizada para modelar sistemas en los que el estado cambia en momentos específicos, como la llegada de un pedido, el inicio del proceso de surtido o la salida de un embarque. En los centros de distribución, la mayoría de las actividades operativas pueden representarse mediante este enfoque.

De acuerdo con Law (2015), la simulación de eventos discretos permite analizar sistemas complejos considerando la interacción entre procesos, recursos y restricciones, lo que resulta especialmente útil para evaluar alternativas de layout y políticas operativas sin intervenir directamente en el sistema real.

Asimismo, Shannon (2009) señala que este tipo de simulación facilita el análisis del comportamiento dinámico de los sistemas logísticos, permitiendo representar variaciones operativas, restricciones de capacidad y tiempos de proceso dentro de ambientes complejos.

2.3.4 Relación entre layout y simulación logística.

El diseño del layout y la simulación logística se encuentran estrechamente relacionados, ya que el layout define la estructura física del sistema, mientras que la simulación permite evaluar su desempeño dinámico. Un layout que parece adecuado desde un punto de vista estático puede presentar ineficiencias significativas cuando se analizan los flujos reales de operación.

Tompkins et al. (2010) destacan que la simulación permite cuantificar el impacto del layout sobre indicadores clave como la distancia recorrida, el tiempo total de surtido y la congestión en áreas críticas. Asimismo, Law (2015) señala que la simulación constituye una herramienta fundamental para validar propuestas de mejora y analizar el comportamiento operativo de sistemas complejos antes de realizar cambios físicos dentro del sistema real.

Esta relación resulta especialmente relevante en centros de distribución de pinturas, donde el manejo de productos con diferentes pesos, volúmenes y restricciones de seguridad exige un análisis detallado del flujo de materiales.

2.3.5 Aplicación de la simulación como herramienta de mejora.

La principal ventaja de la simulación en el contexto logístico radica en su capacidad para evaluar mejoras operativas sin realizar cambios físicos inmediatos. Esto resulta particularmente valioso en empresas donde el rediseño del layout implica inversiones significativas, paros operativos o riesgos asociados a la seguridad.

De acuerdo con Law (2015), la simulación permite analizar diferentes escenarios operativos y evaluar el impacto de las decisiones sobre el desempeño del sistema antes de implementar modificaciones dentro de la operación real. Por su parte, Shannon (2009) menciona que esta herramienta facilita la comparación objetiva entre alternativas operativas mediante indicadores cuantitativos relacionados con tiempos, utilización de recursos y flujo de materiales.

En el marco de la presente investigación, la simulación se emplea como una herramienta de análisis que permite evaluar el desempeño del layout actual del CEDIS de pinturas y compararlo con escenarios de mejora, utilizando datos reales de operación.

La modelación de procesos logísticos, apoyada en la simulación de eventos discretos, constituye una herramienta esencial para el análisis y mejora de centros de distribución. Su integración con el diseño del layout permite evaluar de manera objetiva el impacto de distintas configuraciones operativas, reduciendo la incertidumbre en la toma de decisiones. Este enfoque resulta particularmente pertinente para la industria de pinturas, donde la complejidad operativa y las restricciones de manejo exigen soluciones basadas en análisis cuantitativos y evidencia técnica.

2.4 Simulación de sistemas.

Como se ha expuesto en los apartados anteriores, el diseño y análisis del layout en centros de distribución constituye un problema complejo y de naturaleza estocástica, debido a la interacción simultánea de múltiples elementos del sistema, tales como el personal operativo, los productos, los equipos de manejo de materiales, el espacio físico y los flujos de información, los cuales además evolucionan a lo largo del tiempo. Esta complejidad se ve acentuada en entornos logísticos caracterizados por alta variabilidad en la demanda, diversidad de productos y restricciones operativas, como es el caso de los centros de distribución de pinturas.

Si bien existen técnicas analíticas y métodos tradicionales para el diseño de layouts y el análisis de procesos logísticos, estas herramientas presentan limitaciones cuando se trata de evaluar sistemas dinámicos con múltiples interacciones y variabilidad operativa. En este contexto, la simulación de sistemas se posiciona como una herramienta adecuada para el estudio y mejora de la distribución física y del desempeño operativo de centros de distribución, al permitir la representación del sistema real mediante modelos computacionales.

La simulación posibilita la creación de un modelo que reproduce el comportamiento del sistema bajo el layout actual, incorporando datos reales de operación, con el fin de analizar su desempeño y evaluar escenarios alternativos de mejora sin necesidad de realizar cambios físicos inmediatos en la operación. De acuerdo con Law (2015), esta metodología resulta especialmente útil cuando no es factible o conveniente experimentar directamente con el sistema real, ya sea por costos, riesgos operativos o posibles afectaciones al nivel de servicio.

En el ámbito logístico, la simulación se ha utilizado ampliamente para analizar procesos como el surtido de pedidos, la asignación de recursos, los recorridos del personal y la utilización del espacio en almacenes y centros de distribución. Banks et al. (2010) señalan que, mediante la simulación, es posible realizar experimentos controlados sobre el modelo del

sistema, evaluar diferentes configuraciones de layout y comparar su desempeño a través de indicadores cuantitativos, apoyando la toma de decisiones basada en datos.

Ante este panorama, la simulación se adopta en el presente estudio como la herramienta metodológica principal para evaluar el layout actual del Centro de Distribución de pinturas y analizar propuestas de rediseño orientadas a la reducción de movimientos innecesarios y a la mejora de la eficiencia del proceso de surtido. Para ello, resulta necesario identificar los tipos de simulación existentes y seleccionar aquel que se adapte mejor a las características del sistema logístico analizado, lo cual se desarrolla en los apartados siguientes.

2.4.1 Definición de simulación.

El concepto de simulación ha sido expuesto por distintos autores, a continuación, se citan algunos:

En el libro de Azarang y García; "Simulación y Análisis de Modelos Estocásticos" (1996), define la simulación como:

"El desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo. Sea realizado a mano o en una computadora, e involucra la generación de una historia artificial de un sistema; la observación de esta historia mediante la manipulación experimental, nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema..."

Para Robert Shannon (2009):

"La simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema y/o evaluar nuevas estrategias con las cuales se puede operar el sistema"

De manera más reciente, Law (2015) define la simulación como:

“El proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con dicho modelo, con el propósito de comprender el comportamiento del sistema y/o evaluar diversas estrategias para la operación del sistema” (traducción propia).

De manera más reciente, investigaciones contemporáneas destacan el papel de la simulación como herramienta clave en el análisis de sistemas logísticos. Boysen, de Koster y Weidinger (2019) señalan que la simulación de eventos discretos permite representar de manera realista los flujos de materiales, recursos y operaciones en almacenes y centros de distribución, facilitando la identificación de ineficiencias y la evaluación cuantitativa de propuestas de mejora en el diseño del layout.

En conjunto, estas definiciones coinciden en que la simulación constituye una metodología poderosa para el análisis de sistemas complejos, al permitir la experimentación controlada sobre modelos que representan la realidad operativa. En el contexto del presente estudio, la simulación se adopta como una herramienta fundamental para analizar el layout de un Centro de Distribución de pinturas y evaluar alternativas de rediseño orientadas a la reducción de movimientos innecesarios y a la mejora de la eficiencia del proceso de surtido.

2.4.2 Uso de la simulación.

La simulación se ha consolidado como una herramienta metodológica de amplio uso en diversas disciplinas, debido a su capacidad para representar sistemas complejos, analizar su comportamiento y evaluar escenarios alternativos sin intervenir directamente en el sistema real. De acuerdo con Coss Bu (2003), la simulación puede aplicarse en distintos ámbitos, abarcando desde procesos formativos hasta sistemas logísticos y redes de distribución, permitiendo la toma de decisiones informadas en contextos de alta incertidumbre.

En la **Tabla 2** se presentan algunos de los principales usos de la simulación y su finalidad dentro de diferentes áreas de aplicación.

Tabla 2. Usos de la simulación en diferentes áreas de aplicación.

Área de aplicación	Uso de la simulación	Relación con sistemas logísticos
Enseñanza y capacitación	Simuladores de vuelo, entrenamiento militar, juegos de negocios orientados a la toma de decisiones	Desarrollo de habilidades para la gestión de operaciones y análisis de escenarios
Redes de distribución	Evaluación del desempeño de cadenas de suministro, interacción entre proveedores, almacenes y transporte	Optimización de flujos de materiales e información
Transporte	Simulación de sistemas de transporte aéreo, marítimo y terrestre	Análisis de tiempos, rutas, congestión y capacidad
Logística	Análisis de colas, inventarios, confiabilidad, mantenimiento, planeación y control	Mejora del desempeño operativo en almacenes y CEDIS
Fabricación	Evaluación de procesos productivos y sistemas de manejo de materiales	Integración entre producción y almacenamiento
Predicción	Evaluación del comportamiento del sistema bajo distintos escenarios	Comparación de alternativas antes de su implementación

Nota: Elaboración propia con base en Coss Bu (2003).

Como se muestra en la **Tabla 2**, la simulación es una herramienta eficaz para analizar sistemas logísticos donde la experimentación directa resulta costosa o impracticable, permitiendo evaluar fenómenos como tiempos de espera, recorridos, utilización de recursos y desempeño del layout. En los centros de distribución, su aplicación facilita la comparación de distintas configuraciones espaciales, la identificación de cuellos de botella y la medición del impacto de las mejoras propuestas mediante indicadores como el tiempo de surtido, la distancia

recorrida y la productividad del personal, sin afectar la operación real. Por ello, en esta investigación la simulación se adopta como una estrategia metodológica que permite evaluar de manera objetiva alternativas de rediseño del layout de un CEDIS, apoyando la toma de decisiones basada en datos cuantitativos y escenarios controlados.

2.4.3 Ventajas y Desventajas de la simulación.

La simulación de sistemas se ha consolidado como una herramienta ampliamente utilizada en el análisis y mejora de procesos logísticos y productivos, particularmente en aquellos entornos caracterizados por la complejidad, la variabilidad y la interacción de múltiples elementos, como los centros de distribución. Su aplicación permite evaluar el comportamiento de un sistema bajo diferentes escenarios sin necesidad de intervenir directamente en la operación real, lo que resulta especialmente relevante cuando los cambios físicos implican altos costos o riesgos operativos.

No obstante, a pesar de los beneficios que ofrece la simulación para la toma de decisiones, esta metodología también presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas durante su aplicación. Entre ellas destacan la dependencia de la calidad de los datos de entrada y la necesidad de una correcta validación del modelo para asegurar resultados confiables. En este sentido, resulta pertinente analizar de manera comparativa las principales ventajas y desventajas asociadas al uso de la simulación, tal como se presenta en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la simulación de sistemas.

Aspecto	Ventajas	Desventajas
Intervención en la operación real	Permite analizar sistemas sin afectar la operación del CEDIS, evitando interrupciones, riesgos operativos y costos derivados de cambios físicos prematuros.	No sustituye completamente la experimentación real; los resultados dependen de la fidelidad del modelo.
Análisis de sistemas complejos	Facilita la representación de sistemas con múltiples interacciones entre recursos, flujos de materiales y variabilidad en los procesos logísticos.	El modelado de sistemas complejos puede requerir mayor tiempo y experiencia técnica.
Evaluación de escenarios	Permite comparar alternativas de layout, políticas operativas y volúmenes de demanda mediante indicadores cuantitativos.	No genera soluciones óptimas de forma automática; requiere análisis e interpretación del analista.
Uso de datos reales	Integra información operativa real, aumentando la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.	Resultados sensibles a errores o supuestos incorrectos en los datos de entrada.
Flexibilidad del modelo	Posibilita realizar ajustes iterativos al modelo para evaluar mejoras progresivas sin afectar el sistema real.	El proceso de validación y verificación puede ser extenso.
Apoyo a la toma de decisiones	Reduce la incertidumbre en la planeación de cambios logísticos y de layout.	Una interpretación inadecuada puede conducir a decisiones erróneas.

Nota: Elaboración propia, con base en Shannon (2009) y Law (2015).

Posteriormente, es importante señalar que, en el contexto de los centros de distribución, las ventajas de la simulación superan sus limitaciones cuando se cuenta con información operativa confiable y una adecuada estructuración del modelo. En particular, su capacidad para evaluar alternativas de rediseño del layout, identificar cuellos de botella y cuantificar el

impacto de los cambios en indicadores como el tiempo de surtido, la distancia recorrida y la productividad del personal, la convierten en una herramienta idónea para estudios orientados a la mejora de la eficiencia logística.

En consecuencia, la simulación se justifica en la presente investigación como un soporte metodológico fundamental para el análisis del layout del CEDIS de pinturas, permitiendo evaluar escenarios de mejora de manera objetiva y controlada, sin comprometer la continuidad de la operación real.

2.4.4 Tipos de modelos de simulación.

Los modelos de simulación pueden clasificarse de acuerdo con la forma en que representan el comportamiento del sistema, el tratamiento del tiempo y el grado de incertidumbre involucrado. Esta clasificación permite seleccionar el tipo de modelo más adecuado en función de las características del sistema a analizar y de los objetivos del estudio. Diversos autores coinciden en que la correcta elección del tipo de simulación es un factor crítico para obtener resultados confiables y útiles en la toma de decisiones (Shannon, 2009; Law, 2015).

Desde una primera aproximación, los modelos de simulación pueden clasificarse en **determinísticos** y **estocásticos**. Los modelos determinísticos asumen que todas las variables del sistema son conocidas y constantes, por lo que, ante las mismas condiciones iniciales, el resultado del modelo siempre será el mismo. En contraste, los modelos estocásticos incorporan variabilidad e incertidumbre mediante distribuciones de probabilidad, lo que permite representar de manera más realista sistemas donde intervienen factores aleatorios, como tiempos de llegada, tiempos de servicio o demanda, situación común en los sistemas logísticos.

Otra clasificación relevante se basa en el **manejo del tiempo**, distinguiéndose entre modelos **estáticos** y **dinámicos**. Los modelos estáticos representan el sistema en un solo punto

del tiempo y no consideran su evolución temporal, mientras que los modelos dinámicos analizan el comportamiento del sistema a lo largo de un periodo determinado. En el contexto de almacenes y centros de distribución, los modelos dinámicos resultan más apropiados, ya que permiten analizar flujos de materiales, utilización de recursos y acumulación de pedidos a lo largo del tiempo.

Adicionalmente, los modelos dinámicos pueden dividirse en simulación **de eventos discretos, continua e híbrida**. La simulación continua describe sistemas cuyo estado cambia de manera constante en el tiempo, comúnmente mediante ecuaciones diferenciales, mientras que la simulación de eventos discretos representa sistemas donde los cambios ocurren en instantes específicos provocados por eventos, como la llegada de un pedido, el inicio del surtido o la salida de un embarque. De acuerdo con Shannon (2009), la simulación de eventos discretos es una de las técnicas más utilizadas en el análisis de sistemas logísticos, debido a que los procesos operativos se desarrollan mediante eventos claramente identificables que ocurren en momentos específicos del tiempo.

Finalmente, existen modelos híbridos que combinan elementos de simulación continua y discreta, utilizados principalmente en sistemas altamente complejos. Sin embargo, para el análisis de centros de distribución y el rediseño de layouts, la literatura especializada señala que la simulación de eventos discretos ofrece un balance adecuado entre nivel de detalle, flexibilidad y facilidad de interpretación de resultados en sistemas logísticos complejos (Law, 2015).

En conclusión, la simulación de eventos discretos, de naturaleza estocástica y dinámica, resulta especialmente adecuada para modelar procesos logísticos en CEDIS, ya que permite representar la variabilidad operativa, analizar el flujo de materiales y evaluar el impacto de diferentes configuraciones de layout sobre indicadores clave de desempeño. Este enfoque

constituye la base metodológica para el desarrollo del modelo de simulación empleado en la presente investigación.

2.5 Simulación en logística y almacenes.

La simulación se ha consolidado como una herramienta importante para el análisis y mejora de operaciones logísticas, especialmente en almacenes y centros de distribución, donde la complejidad operativa dificulta la experimentación directa sobre el sistema real. Su aplicación permite representar procesos mediante modelos computacionales capaces de analizar distintos escenarios sin afectar la operación física del sistema.

En logística, la simulación de eventos discretos es una de las técnicas más utilizadas, debido a que las operaciones dentro de un almacén ocurren a partir de eventos específicos, como la llegada de pedidos, el surtido de productos y la salida de embarques. Law (2015) señala que este tipo de simulación permite analizar sistemas complejos considerando restricciones operativas, utilización de recursos y variabilidad en los procesos.

La simulación aplicada a almacenes permite evaluar aspectos relacionados con el diseño del layout, el flujo de materiales y los tiempos de recorrido. Richards (2018) destaca que las actividades de picking y desplazamiento representan una parte importante de los costos operativos dentro de un centro de distribución, por lo que la optimización de recorridos y ubicaciones contribuye directamente a mejorar la eficiencia del sistema.

Por su parte, Tompkins et al. (2010) señalan que la simulación facilita la evaluación de distintas configuraciones de layout antes de implementar cambios físicos, permitiendo identificar cuellos de botella, áreas de congestión y movimientos innecesarios dentro del almacén.

Además, Shannon (2009) menciona que la simulación permite representar condiciones dinámicas y escenarios cercanos al comportamiento real del sistema, incrementando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

En el caso específico de los centros de distribución de pinturas, la simulación resulta especialmente útil debido a la alta variedad de productos y a la complejidad operativa asociada al surtido y manejo de materiales. En este contexto, la simulación constituye una herramienta clave para evaluar propuestas de mejora relacionadas con el layout y el desempeño operativo del CEDIS.

2.5.1 Aplicaciones comunes de la simulación en almacenes.

Tabla 4. *Aplicaciones de la simulación.*

Área de aplicación	Descripción	Variables analizadas	Autores de referencia
Proceso de surtido (picking)	Evaluación de recorridos, secuencia de preparación de pedidos y tiempos de operación	Distancia recorrida, tiempo de surtido, productividad	Tompkins et al. (2010); Richards (2018)
Diseño y rediseño de layout	Análisis de la distribución física y del flujo de materiales dentro del almacén	Flujo, cruces, cuellos de botella, utilización del espacio	Gu et al. (2007); Law (2015)
Asignación de recursos	Evaluación del uso de personal y equipos de manejo de materiales	Saturación, tiempos de espera, balanceo	Law (2015)
Planeación operativa	Análisis de escenarios ante variaciones en la demanda	Capacidad, tiempos de respuesta	Shannon (2009); Richards (2018)
Ergonomía y seguridad	Evaluación de movimientos repetitivos y esfuerzo físico	Frecuencia de movimientos, carga de trabajo	Ohno (1988)

Nota: Elaboración propia con base en Law (2015), Tompkins et al. (2010), Richards (2018), Gu et al. (2007), Shannon (2009) y Ohno (1988).

Como se observa en la **Tabla 4**, la simulación se aplica en diversas áreas clave de la operación de almacenes, destacando su utilidad en el análisis del proceso de surtido y el diseño del layout. En particular, permite evaluar recorridos, tiempos de operación y utilización de recursos, variables directamente relacionadas con la eficiencia operativa del CEDIS. En el contexto de esta investigación, la simulación se emplea como una herramienta para analizar y mejorar el layout actual, orientando las propuestas de rediseño a la reducción de movimientos innecesarios y a la optimización del proceso de surtido.

2.6 Conceptos Lean aplicados a la logística y al almacenamiento.

El enfoque Lean se fundamenta en la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor al proceso, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa, reducir desperdicios y optimizar el uso de recursos. Este enfoque tiene su origen en el Sistema de Producción de Toyota y ha sido ampliamente aplicado en entornos industriales y logísticos para mejorar el flujo operativo y la productividad (Ohno, 1988).

En el contexto de los centros de distribución, la filosofía Lean se utiliza para reducir recorridos innecesarios, minimizar tiempos de surtido y mejorar el flujo de materiales dentro del almacén. Richards (2018) señala que la correcta organización de las operaciones y de las ubicaciones de almacenamiento contribuye directamente a disminuir movimientos improductivos y aumentar la eficiencia del sistema logístico.

De igual manera, Frazelle (2002) destaca que la optimización de recorridos y la reducción de actividades sin valor agregado representan factores clave para mejorar el desempeño operativo dentro de almacenes y centros de distribución, particularmente en procesos relacionados con picking, almacenamiento y manejo de materiales.

2.6.1 Muda (movimientos innecesarios).

Ohno (1988) define la muda como:

“Cualquier actividad que consume recursos, pero no crea valor para el cliente”.

Dentro de los siete desperdicios identificados por Taiichi Ohno, el desperdicio por movimiento innecesario se refiere a desplazamientos que no contribuyen al proceso productivo, como caminar, girar, buscar o transportar materiales sin necesidad.

En el contexto de los CEDIS, este tipo de muda se manifiesta principalmente en recorridos excesivos durante el surtido de pedidos, reubicaciones frecuentes de producto y trayectorias mal definidas ocasionadas por layouts ineficientes. La identificación y reducción

de estos movimientos es fundamental para disminuir la distancia recorrida por operador y el tiempo total de surtido, variables que pueden evaluarse mediante modelos de simulación.

2.6.2 Flujo.

Según Jeffrey K. Liker (2004), el flujo se define como:

“Crear un flujo continuo para hacer visibles los problemas”.

Aplicado a los centros de distribución, el concepto de flujo implica que los materiales se desplacen de manera ordenada y continua desde la recepción hasta el embarque. Un layout que favorece el flujo reduce cuellos de botella, tiempos de espera y acumulaciones innecesarias de inventario. La simulación de sistemas permite analizar el comportamiento del flujo bajo diferentes configuraciones espaciales y validar mejoras antes de su implementación física.

2.6.3 Metodología 5S aplicada al almacenamiento.

Jeffrey Liker (2004) define la metodología 5S como:

“Un sistema para organizar y gestionar el lugar de trabajo que mejora la eficiencia eliminando desperdicios, desorden y variabilidad”.

Las cinco etapas —clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y mantener— permiten crear espacios de trabajo funcionales y visualmente controlados.

En los CEDIS, la aplicación de las 5S contribuye a una mejor organización de las ubicaciones, reducción de tiempos de búsqueda, disminución de errores en el picking y mayor aprovechamiento del espacio de almacenamiento. Estos beneficios impactan directamente en indicadores logísticos como la productividad por operador y la eficiencia del surtido.

2.6.4 Balanceo y ergonomía.

De acuerdo con Heizer, Render y Munson (2017), el balanceo de operaciones consiste en:

“La distribución de tareas entre estaciones o recursos de trabajo con el propósito de lograr una carga equilibrada y mejorar la eficiencia del sistema”.

Por otra parte, Kroemer y Grandjean (2001) definen la ergonomía como:

“La adaptación del trabajo, equipos y entorno a las capacidades y limitaciones del ser humano”.

Para el presente estudio, el balanceo adecuado de las actividades de surtido y la consideración de criterios ergonómicos dentro del layout permiten reducir la fatiga del personal, mejorar la productividad y mantener un desempeño operativo más eficiente. Estos aspectos pueden analizarse mediante simulación al evaluar la utilización de recursos y los tiempos de operación bajo distintos escenarios.

2.7 Indicadores logísticos.

Diversos autores coinciden en que los indicadores logísticos son herramientas fundamentales para medir, analizar y mejorar el desempeño de los procesos operativos dentro de los centros de distribución. De acuerdo con Gu, Goetschalckx y McGinnis (2021), los indicadores logísticos permiten evaluar de forma objetiva la eficiencia del flujo de materiales, el uso de los recursos y el nivel de servicio, facilitando la identificación de ineficiencias asociadas al diseño del layout y a la gestión de operaciones internas.

En este mismo sentido, Richards (2018) señala que la medición del desempeño logístico en almacenes debe enfocarse en indicadores relacionados con tiempos de operación, productividad y utilización de recursos, debido a que estos reflejan directamente la eficiencia operativa del sistema y su capacidad para responder a las necesidades del servicio. La correcta selección de indicadores permite vincular los resultados operativos con decisiones estratégicas, como la redistribución de áreas, la asignación de personal y la optimización de rutas de picking.

En el contexto de los centros de distribución industriales, como los pertenecientes a la industria de pinturas, estos indicadores adquieren mayor relevancia debido a la diversidad de productos, variabilidad en la demanda y condiciones específicas de manejo de materiales.

2.7.1 Indicadores relevantes para el CEDIS.

Tabla 5. *Indicadores logísticos para la evaluación del desempeño del CEDIS.*

Indicador	Definición	Fórmula general	Aplicación en el CEDIS
Tiempo de surtido	Tiempo total requerido para preparar un pedido desde su liberación hasta que queda listo para despacho.	$TS = t_{fin} - t_{inicio}$	Permite evaluar la rapidez del proceso de picking y su impacto en el nivel de servicio.
Productividad por operador	Cantidad de pedidos o volumen de producto preparado por cada operador en un periodo determinado.	$PO = \frac{\text{Pedidos o toneladas surtidas}}{\text{Numero de operadores}}$	Evalúa el aprovechamiento del recurso humano y la carga de trabajo asignada.
Eficiencia del picking	Relación entre el volumen de producto recolectado y el tiempo invertido en el proceso de picking.	$EP = \frac{\text{Unidades o ton surtidas}}{\text{Tiempo total de surtido}}$	Permite identificar recorridos innecesarios y problemas en el diseño del layout.
Cantidad de producto manejado (ton)	Volumen total de mercancía recibida y despachada durante un periodo específico.	$Q = \sum \text{Toneladas recibidas y despachadas}$	Evalúa la capacidad operativa del CEDIS y su relación con los recursos disponibles.

Nota: Elaboración propia con base en Gu et al. (2021).

2.7.2 Análisis de los indicadores en relación con el diseño del layout del CEDIS.

Los indicadores presentados en la **Tabla 5** permiten evaluar de manera integral el desempeño logístico del centro de distribución objeto de estudio. En particular, el **tiempo de surtido** y la **eficiencia del picking** se encuentran estrechamente relacionados con el diseño del layout, ya que recorridos largos, cruces innecesarios y una distribución inadecuada de las zonas de almacenamiento incrementan los tiempos de preparación de pedidos.

Por otro lado, la **productividad por operador** refleja el impacto del layout sobre el desempeño del recurso humano, considerando que una mala organización espacial puede generar esfuerzos adicionales, fatiga y desequilibrios en la carga de trabajo. Finalmente, la **cantidad de producto manejado**, expresada en toneladas, permite analizar si la capacidad operativa del CEDIS es congruente con la demanda atendida y con la infraestructura disponible.

En el caso del CEDIS de la industria de pinturas, donde los productos presentan diferentes pesos, volúmenes y condiciones de manejo, el análisis de estos indicadores resulta clave para evaluar el efecto del diseño del layout sobre la eficiencia operativa. Asimismo, estos indicadores sirven como base para la simulación de escenarios y la comparación del desempeño antes y después de una propuesta de mejora, permitiendo sustentar de manera cuantitativa las decisiones de rediseño del almacén.

2.8 Software ProModel®.

El uso de software especializado en simulación de eventos discretos se ha consolidado como una herramienta fundamental para el análisis y mejora de sistemas logísticos complejos, particularmente en almacenes y centros de distribución. Entre las herramientas disponibles, ProModel® destaca por su capacidad para modelar procesos operativos reales, integrar variabilidad y evaluar escenarios alternativos sin intervenir directamente la operación.

ProModel® es un software de simulación orientado a la representación gráfica y lógica de sistemas productivos y logísticos, permitiendo analizar el comportamiento dinámico de procesos que involucran flujos de materiales, recursos humanos y equipos de manejo. Su enfoque en eventos discretos lo hace especialmente adecuado para modelar operaciones de almacén, donde las actividades ocurren en secuencias definidas y están sujetas a variabilidad en tiempos, volúmenes y rutas.

Diversos autores coinciden en que ProModel® es una de las herramientas más utilizadas en el ámbito académico e industrial para el análisis de layouts, procesos de surtido y utilización de recursos, debido a su flexibilidad, potencia analítica y facilidad de interpretación de resultados (Law, 2015; Richards, 2018).

2.8.1 Características generales de ProModel®.

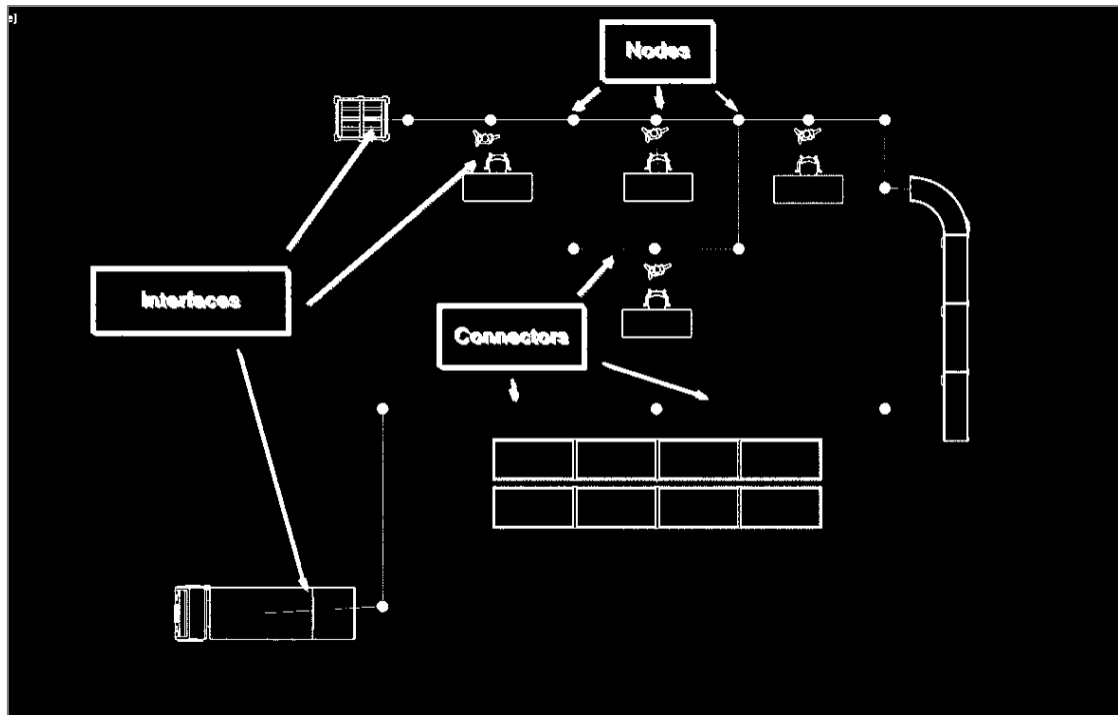
ProModel® se caracteriza por ofrecer un entorno gráfico que facilita la construcción de modelos de simulación a partir de la representación del layout físico y de la lógica operativa del sistema. Entre sus principales características se encuentran:

- Modelación de sistemas de eventos discretos, adecuada para procesos logísticos y de almacén.
- Representación gráfica del layout, incluyendo áreas, pasillos, ubicaciones y estaciones de trabajo.
- Definición de rutas y flujos de materiales, permitiendo analizar recorridos y cruces.
- Incorporación de variabilidad estocástica en tiempos de operación, arribos y procesos.
- Generación automática de estadísticos e indicadores de desempeño.
- Capacidad para evaluar múltiples escenarios sin modificar el sistema real.

Estas características permiten que el software represente de manera fiel el comportamiento operativo de un CEDIS, facilitando el análisis de su desempeño bajo distintas configuraciones espaciales.

2.8.2 Elementos básicos de modelación de un CEDIS en ProModel®.

Figura 4. Modelo de simulación en ProModel®.



Nota: Tomado de ProModel® Corporation (s. f.).

La **Figura 4** presenta de manera esquemática los elementos fundamentales que integran un modelo de simulación de eventos discretos, tal como se implementan en el software ProModel® para el análisis de sistemas logísticos. Este tipo de representación permite visualizar la interacción entre el layout físico, el flujo de materiales y el uso de recursos dentro de un Centro de Distribución.

En el modelo se identifican las **localizaciones (locations)**, que corresponden a las áreas físicas donde se desarrollan las actividades logísticas, tales como recepción, almacenamiento, zonas de surtido y embarque. Estas áreas delimitan el espacio operativo y permiten analizar cómo el diseño del layout influye en los recorridos y en la eficiencia del proceso.

Las **entidades (entities)** representan los productos, pedidos o unidades de carga que fluyen a través del sistema siguiendo la secuencia del proceso logístico. El desplazamiento de las entidades entre las distintas localizaciones hace posible evaluar tiempos de operación, acumulaciones y desplazamientos internos.

Asimismo, los **recursos (resources)** incluyen al personal operativo y a los equipos de manejo de materiales necesarios para ejecutar las actividades del sistema. La asignación y disponibilidad de estos recursos influyen directamente en la generación de esperas, la productividad del personal y el desempeño general del CEDIS.

Finalmente, las **rutras o redes de recorrido (paths)** definen los trayectos por los cuales se desplazan tanto las entidades como los recursos dentro del layout. El análisis de estas rutas permite cuantificar la distancia recorrida, identificar cruces innecesarios y evaluar el impacto del diseño espacial sobre los movimientos durante el proceso de surtido.

La integración de estos elementos genera el comportamiento dinámico del sistema simulado, permitiendo analizar indicadores clave como el tiempo de surtido, la distancia recorrida y la utilización de recursos. De esta forma, el modelo desarrollado en ProModel® se convierte en una herramienta fundamental para evaluar el layout actual del Centro de Distribución y comparar alternativas de rediseño orientadas a la reducción de movimientos innecesarios y a la mejora de la eficiencia operativa.

En este sentido, el uso de ProModel® como herramienta de simulación de eventos discretos se alinea directamente con los objetivos de la presente investigación, al permitir representar el comportamiento real del sistema logístico sin intervenir físicamente la operación. El marco teórico desarrollado proporciona los fundamentos conceptuales necesarios para comprender la importancia del layout, el flujo de materiales, los indicadores logísticos y la eliminación de movimientos innecesarios en centros de distribución. Con base en estos

fundamentos, en el siguiente capítulo se describe la metodología empleada para modelar el proceso del CEDIS, validar el modelo de simulación y evaluar alternativas de rediseño del layout orientadas a la mejora de la eficiencia operativa.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

3.1 Tipo de investigación.

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que se orienta a la solución de un problema real identificado en la operación de un Centro de Distribución (CEDIS) de pinturas. El estudio busca optimizar el proceso de surtido mediante la mejora del layout actual, con el objetivo de reducir tiempos de preparación de pedidos, disminuir movimientos innecesarios y aumentar el porcentaje de cumplimiento de pedidos dentro del tiempo establecido.

Asimismo, la investigación tiene un alcance descriptivo y analítico, dado que, en una primera etapa, se describe y analiza el funcionamiento actual del sistema logístico, particularmente el proceso de surtido y la distribución física del almacén. Posteriormente, se desarrolla y evalúa una propuesta de mejora del layout con el fin de analizar su impacto en el desempeño operativo del CEDIS mediante simulación.

3.2 Enfoque de la investigación.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se basa en el análisis de datos numéricos reales obtenidos de la operación del Centro de Distribución. Entre los principales datos analizados se encuentran los tiempos de surtido, tonelaje y cantidad de productos surtidos, así como el número total de pedidos atendidos.

Este enfoque permite evaluar de manera objetiva el desempeño del layout actual y comparar cuantitativamente los resultados obtenidos a partir de distintas propuestas de rediseño, utilizando indicadores clave de eficiencia logística. El uso de datos numéricos facilita la medición del impacto de las mejoras propuestas y respalda la toma de decisiones basada en evidencia.

3.3 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación corresponde a un estudio de caso, ya que el análisis se realiza en un solo Centro de Distribución de pinturas, seleccionado por presentar problemáticas reales relacionadas con el diseño del layout y el proceso de surtido. Este enfoque permite un análisis detallado y profundo del sistema bajo estudio, considerando sus características operativas específicas.

El estudio se desarrolla bajo un diseño no experimental, debido a que no se realizan modificaciones físicas directas en la operación real del CEDIS. En su lugar, se emplea la modelación y simulación de eventos discretos como herramienta principal de análisis, lo que permite evaluar diferentes escenarios de layout sin intervenir el sistema real.

La simulación se utiliza para representar el comportamiento actual del proceso de surtido y para analizar alternativas de redistribución del layout, enfocadas en incrementar la capacidad del área de picking, facilitar la toma de productos y reducir la dependencia de reabastecimientos frecuentes por parte de otras áreas operativas. De esta manera, es posible analizar el impacto de las mejoras propuestas sobre el desempeño del sistema antes de su posible implementación.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La recolección de datos para el desarrollo de la presente investigación se realiza a partir de **registros operativos reales** generados de manera cotidiana en el Centro de Distribución de pinturas. La principal fuente de información corresponde a los **indicadores clave de desempeño (KPIs)** utilizados en la operación diaria del CEDIS, los cuales se encuentran registrados en **tablas de Excel** empleadas para el control y seguimiento del proceso de surtido.

Estos registros contienen información relacionada con los tiempos de surtido, número de pedidos atendidos, volumen de producto surtido y otros indicadores operativos relevantes. No obstante, debido a que los KPIs operativos incluyen variables que no resultan pertinentes para los objetivos específicos de la investigación, se realiza un **proceso de depuración y selección de datos**, con el fin de conservar únicamente aquellos indicadores directamente relacionados con el desempeño del layout y del proceso de surtido.

Adicionalmente, se elaboran **tablas de registro específicas** a partir de los KPIs existentes, en las cuales se concentra la información necesaria para el análisis del flujo de materiales, la medición de distancias recorridas y la evaluación de la productividad del personal operativo. Este procedimiento permite asegurar la coherencia, confiabilidad y trazabilidad de los datos utilizados en la modelación y simulación del sistema.

La utilización de datos reales provenientes de la operación diaria garantiza que el modelo de simulación represente de manera fiel el comportamiento actual del Centro de Distribución, sin comprometer información sensible o confidencial de la empresa, ya que el análisis se limita exclusivamente a variables operativas.

3.5 Indicadores de desempeño considerados en la simulación.

Para evaluar el impacto del rediseño del layout sobre la eficiencia operativa del Centro de Distribución (CEDIS), se definieron indicadores clave de desempeño (KPIs) que permiten medir de manera objetiva el comportamiento del sistema logístico bajo condiciones reales y simuladas. Estos indicadores se enfocan principalmente en el **proceso de surtido**, al ser el objeto central de la investigación, e incluyen de manera complementaria indicadores del **proceso de recibo**, debido a la estrecha relación operativa entre ambos procesos.

El proceso de recibo se considera un proceso previo y habilitador del surtido, ya que influye directamente en la disponibilidad de producto en las ubicaciones de picking, en la frecuencia de reabastos internos y en la interacción entre áreas operativas dentro del CEDIS. Por ello, su inclusión en el modelo de simulación permite representar de forma más fiel el flujo de materiales y analizar cómo la entrada de producto impacta en el desempeño del surtido.

La **Tabla 6** presenta el resumen de los indicadores utilizados en el estudio, así como su relación con los procesos analizados.

Tabla 6. *Indicadores de desempeño considerados en la simulación del CEDIS.*

Proceso	Indicador	Descripción	Unidad de medida
Surtido	Tiempo total de surtido por pedido	Tiempo transcurrido desde el inicio hasta la finalización del surtido de un pedido	Minutos
	Número de pedidos surtidos	Cantidad total de pedidos completados durante el periodo analizado	Pedidos
	Tonelaje surtido	Volumen total de producto surtido	Toneladas
	Porcentaje de cumplimiento de pedidos (on-time)	Proporción de pedidos surtidos dentro del tiempo establecido	Porcentaje (%)
Recibo	Número de unidades descargadas	Cantidad de unidades de producto ingresadas al CEDIS	Unidades
	Tiempo de descarga	Tiempo requerido para realizar la descarga de producto	Minutos
	Toneladas descargadas	Cantidad total de producto recibido en el almacén	Toneladas

Nota: Elaboración propia con base en los KPIs operativos del CEDIS.

Los indicadores descritos en la **Tabla 6**, además de servir como métricas de comparación dentro de la simulación, fueron utilizados como base para el ingreso de datos al modelo desarrollado en ProModel®. El análisis de los indicadores históricos del CEDIS permitió identificar las principales problemáticas operativas del sistema actual, entre ellas tiempos elevados de surtido y un bajo porcentaje de cumplimiento en tiempo de los pedidos, particularmente en operaciones de alta carga y múltiples recorridos de picking. Estos resultados evidenciaron áreas de oportunidad relacionadas con la distribución física del almacén y el flujo de materiales, justificando la necesidad de evaluar una propuesta de mejora mediante simulación. En este sentido, los indicadores no solo funcionaron como variables de medición del desempeño, sino también como elementos de diagnóstico para identificar las condiciones operativas que afectan la eficiencia del sistema logístico.

3.5.1 Vinculación de los indicadores con la simulación.

Los indicadores del proceso de surtido se utilizan como métricas principales para comparar el desempeño del layout actual con las alternativas de rediseño propuestas. Por su parte, los indicadores del proceso de recibo se incorporan como variables de entrada al modelo de simulación, permitiendo analizar la interacción entre la entrada de producto y las actividades de surtido, sin ampliar el alcance del estudio más allá de los objetivos establecidos.

La medición conjunta de estos indicadores facilita la evaluación integral del sistema logístico, contribuye a la identificación de mejoras en la eficiencia operativa y respalda la toma de decisiones basada en resultados cuantitativos obtenidos mediante simulación.

3.6 Herramientas de análisis.

Para el análisis del sistema logístico del Centro de Distribución de pinturas se emplean diversas herramientas de análisis de procesos y de apoyo cuantitativo, orientadas a comprender

el funcionamiento actual del proceso de surtido y a evaluar el impacto de las propuestas de mejora.

Como herramienta inicial, se utilizan **diagramas de flujo**, los cuales permiten representar de manera secuencial y estructurada las actividades que conforman la operación del CEDIS. En una primera instancia, se elabora un **diagrama de flujo general** que describe el proceso completo, desde la recepción de la mercancía hasta el embarque. Posteriormente, se desarrolla un **diagrama de flujo específico del proceso de surtido**, con el fin de identificar con mayor detalle las actividades críticas, los puntos de espera y los posibles movimientos innecesarios.

Adicionalmente, se emplean **tablas comparativas elaboradas en hojas de cálculo**, a partir de los datos operativos reales obtenidos de los KPIs del CEDIS. Estas tablas permiten organizar, depurar y analizar la información relacionada con los indicadores de desempeño definidos, así como comparar los resultados del layout actual con los escenarios de mejora simulados.

Finalmente, la herramienta principal de análisis corresponde a la **simulación de eventos discretos mediante el software ProModel®**, a través del cual se modela el comportamiento del sistema logístico bajo el layout actual y las propuestas de rediseño. La simulación permite integrar los datos operativos reales, analizar el desempeño del proceso de surtido y evaluar de manera cuantitativa el impacto de los cambios propuestos antes de su posible implementación física.

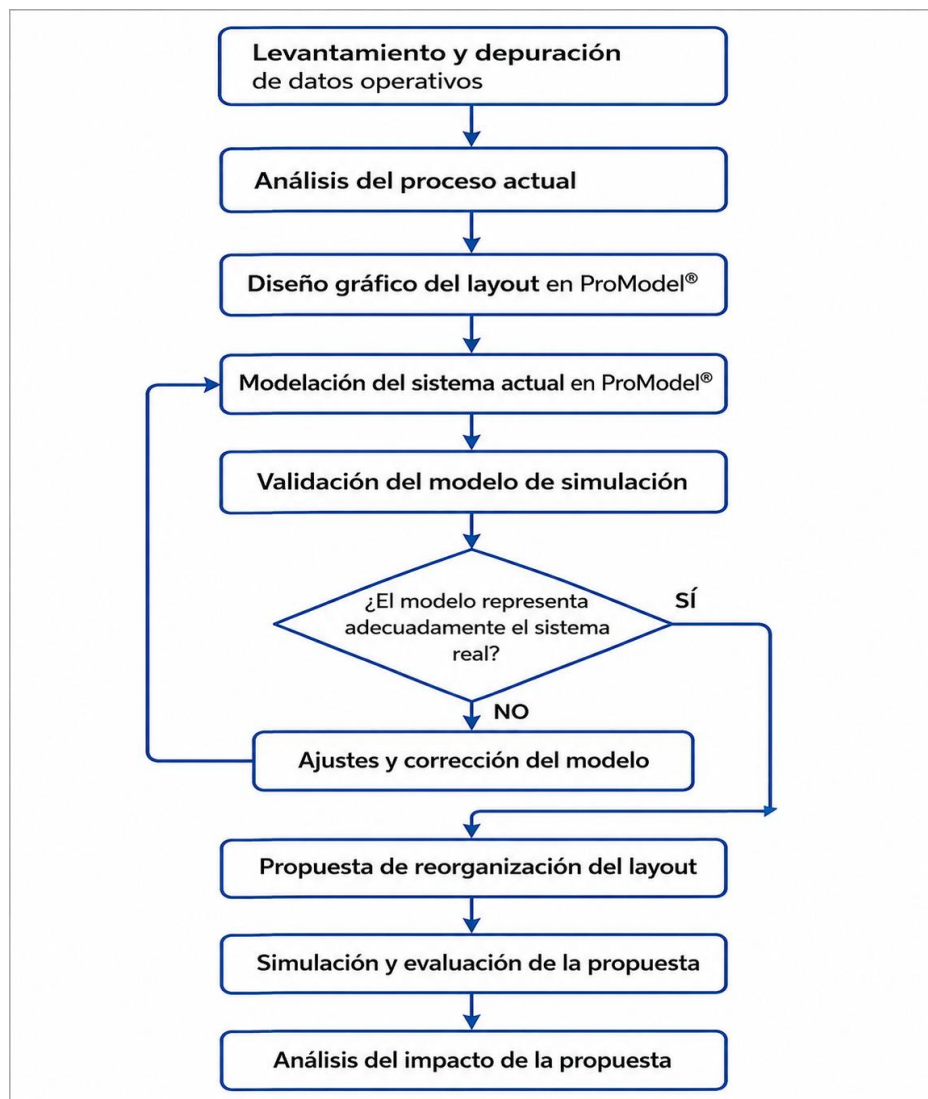
3.7 Metodología.

La metodología empleada en la presente investigación se estructura bajo un enfoque sistemático de modelación y simulación de eventos discretos, orientado al análisis y mejora del

proceso de surtido dentro del Centro de Distribución (CEDIS) de pinturas. Este enfoque permite representar el comportamiento del sistema logístico real, evaluar su desempeño mediante indicadores clave y analizar escenarios alternativos de rediseño del layout sin intervenir físicamente la operación.

El procedimiento metodológico seguido se compone de una secuencia lógica de etapas interrelacionadas, las cuales se ilustran en la **Figura 5**. Dichas etapas permiten garantizar que el modelo de simulación sea representativo, confiable y útil para la toma de decisiones.

Figura 5. *Procedimiento metodológico para el análisis y mejora del layout del CEDIS mediante simulación.*



Nota: Elaboración propia.

Como se observa en la **Figura 5**, la metodología inicia con el **levantamiento y depuración de datos operativos**, a partir de los indicadores clave de desempeño (KPIs) utilizados en la operación diaria del CEDIS. En esta etapa se selecciona únicamente la información relevante para el análisis del proceso de surtido y su interacción con el proceso de recibo, tales como tiempos de operación, volúmenes manejados y niveles de cumplimiento.

Posteriormente, se realiza el **análisis del proceso actual de surtido** mediante la elaboración de diagramas de flujo generales y específicos, con el objetivo de identificar la secuencia de actividades, puntos de espera, cruces innecesarios y posibles movimientos improductivos. Este análisis permite comprender el funcionamiento real del sistema y detectar áreas de oportunidad previas a la modelación.

En la siguiente etapa se desarrolla el **diseño gráfico del layout actual dentro del software ProModel®**, incorporando la distribución física de las áreas operativas y las principales zonas funcionales del almacén. Posteriormente, se lleva a cabo la **modelación del sistema actual**, integrando los datos operativos reales y la lógica de funcionamiento del proceso de surtido. El propósito de esta fase es construir un modelo que represente de manera fiel el comportamiento del sistema logístico bajo las condiciones actuales de operación.

Una vez desarrollado el modelo, se procede a su **validación** mediante la comparación entre los resultados obtenidos en la simulación y los indicadores reales del CEDIS. En caso de que el modelo no represente adecuadamente el comportamiento del sistema, se realizan **ajustes y correcciones** hasta obtener una representación confiable de la operación real. Este proceso permite asegurar que el modelo pueda utilizarse como base para la evaluación de la propuesta de mejora.

Con el modelo validado, se desarrolla una **propuesta de reorganización del layout** orientada a mejorar la capacidad del área de picking, reducir recorridos, facilitar la toma de

producto y disminuir la interferencia entre procesos. Dicha propuesta se incorpora al modelo de simulación para analizar su comportamiento operativo bajo las condiciones establecidas en el estudio.

Posteriormente, se realiza la **simulación y evaluación de la propuesta** desarrollada, comparando su desempeño con el layout actual mediante los indicadores definidos previamente. Finalmente, se **analiza el impacto de la propuesta** sobre el proceso de surtido, priorizando mejoras relacionadas con la reducción de movimientos innecesarios, el cumplimiento en tiempo y la eficiencia operativa del sistema logístico.

CAPÍTULO 4. SITUACIÓN ACTUAL DEL CEDIS.

4.1 Descripción general del CEDIS de pinturas.

El Centro de Distribución (CEDIS) objeto de estudio opera a nivel nacional, fungiendo como un nodo logístico clave para el abastecimiento de almacenes propios ubicados en distintos estados de la República, así como para la atención de clientes industriales. Su función principal es garantizar la disponibilidad oportuna de los productos, asegurando el cumplimiento de los pedidos en tiempo y forma dentro de la red de distribución.

El CEDIS maneja una amplia variedad de productos pertenecientes a la industria de pinturas, incluyendo pinturas arquitectónicas, industriales, recubrimientos especializados y productos complementarios. Estos productos se comercializan en diversas presentaciones, tales como cubetas, galones, cajas y tambos. Esta diversidad de formatos, volúmenes y pesos incrementa la complejidad de las operaciones logísticas, particularmente en los procesos de almacenamiento, manejo de materiales y surtido de pedidos.

Las operaciones logísticas del Centro de Distribución se estructuran en cuatro áreas operativas: recepción, abastecimiento, acomodo y surtido, las cuales intervienen directamente en el movimiento físico de los materiales. De manera complementaria, el CEDIS cuenta con dos áreas administrativas y de control, correspondientes a administración de inventarios e inspección de salida, cuya función no implica la manipulación directa del producto, pero resulta fundamental para asegurar la correcta gestión, control y verificación de las operaciones.

Las áreas operativas funcionan de manera secuencial e interdependiente, conformando el flujo logístico desde la entrada del producto al CEDIS hasta la preparación de los pedidos. El desempeño de cada una de estas áreas impacta directamente en la eficiencia del proceso de surtido, ya que una recepción o un abastecimiento ineficiente puede generar faltantes, tiempos de espera o reprocesos en etapas posteriores.

La operación del Centro de Distribución se caracteriza por ser semimecanizada, ya que en todas las áreas se hace uso de equipos de manejo de materiales, tales como montacargas y patines hidráulicos. No obstante, una parte significativa de las actividades continúa realizándose de forma manual, especialmente aquellas relacionadas con el desplazamiento interno, la manipulación directa de los productos y la preparación de pedidos, lo que convierte al diseño del layout y a la organización del flujo de materiales en factores críticos para el desempeño operativo.

El CEDIS opera bajo un esquema de tres turnos, lo que permite atender de manera continua la demanda. El volumen de operación se clasifica como alto, ya que en promedio se surten entre siete y ocho pedidos por turno, aunque esta cifra puede variar en función del tamaño, la complejidad y la categoría operativa de cada pedido.

La combinación de una cobertura nacional, una alta diversidad de productos y presentaciones, múltiples áreas operativas y un elevado nivel de actividad convierte al CEDIS en un sistema logístico complejo, donde la eficiencia del layout y del proceso de surtido desempeñan un papel fundamental para el cumplimiento de los niveles de servicio establecidos.

4.2 Descripción de las áreas dentro del Centro de Distribución.

La **Tabla 7** presenta la descripción de las áreas que conforman el Centro de Distribución, detallando su función principal, relación con otras áreas, el personal que las integra y su impacto en el proceso de surtido.

Tabla 7. Descripción de las áreas.

Área	Tipo de área	Función principal	Áreas con las que se relaciona directamente	Personal que la conforma	Impacto en el proceso de surtido
Recepción	Operativa	Recibir, descargar, distribuir, armar y separar el producto proveniente de planta, verificando cantidad y calidad.	Abastecimiento, Acomodo; recibe pautas de Administración de inventarios	2 supervisores y 6 almacenistas	Un desempeño eficiente garantiza la disponibilidad inicial del producto y evita retrasos posteriores en el abastecimiento y surtido.
Abastecimiento	Operativa	Trasladar y resguardar el producto en las áreas de almacenamiento, así como suministrar producto desde almacenamiento hacia las áreas de acomodo y surtido.	Recepción, Acomodo; recibe pautas de Administración de inventarios	1 supervisor, 2 montacarguistas y 3 almacenistas	Es clave para mantener la continuidad del surtido; fallas generan esperas por falta de producto en picking.
Acomodo	Operativa	Reabastecer los productos en sus ubicaciones de picking, asegurando la correcta rotación del inventario conforme al principio PEPS.	Recepción, Abastecimiento, Surtido; recibe pautas de Administración de inventarios	1 supervisor y 10 almacenistas	Impacta directamente en la rapidez del surtido al asegurar producto disponible y bien ubicado.
Surtido	Operativa	Preparar y despachar los pedidos conforme a la demanda de los almacenes y clientes, seleccionando los productos requeridos.	Acomodo, Inspección de salida	1 supervisor y 10 surtidores	Es el proceso crítico del CEDIS; concentra la mayor parte de los tiempos, recorridos y movimientos innecesarios.
Administración de inventarios	Administrativa	Gestionar, analizar y controlar los niveles de inventario, además de establecer las pautas operacionales para las áreas operativas.	Recepción, Abastecimiento, Acomodo	3 administrativos	Asegura la correcta planeación operativa y la confiabilidad de la información utilizada en el surtido.
Inspección de salida	Administrativa / Control	Verificar que los pedidos surtidos correspondan en cantidad y tipo de producto con lo solicitado antes del embarque.	Surtido	4 inspectores	Reduce errores de entrega y contribuye al cumplimiento de pedidos completos y correctos.

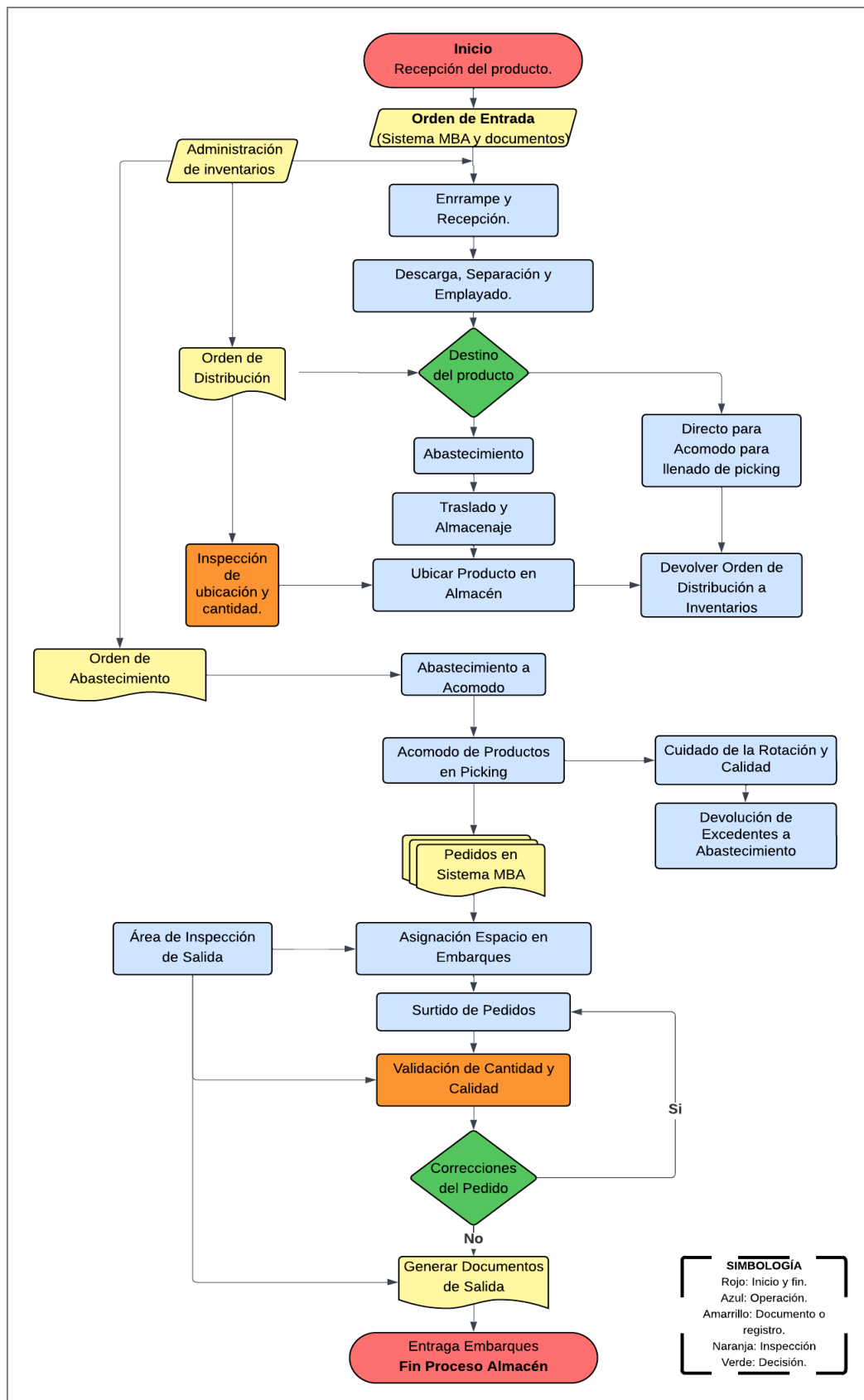
Nota: Elaboración propia en base al CEDIS de estudio.

Como se observa en la **Tabla 7**, las áreas operativas del CEDIS presentan una alta interdependencia, donde el desempeño de recepción, abastecimiento y acomodo influye directamente en la eficiencia del proceso de surtido. Asimismo, las áreas administrativas de inventarios e inspección de salida, aunque no participan en el movimiento físico del producto, desempeñan un papel fundamental en la planeación, control y aseguramiento de la calidad de las operaciones. Esta estructura justifica la inclusión de los procesos previos al surtido dentro del modelo de simulación, debido a su impacto directo en los tiempos, recorridos y nivel de servicio del CEDIS.

4.3 Diagrama general del proceso logístico del CEDIS.

El proceso logístico del Centro de Distribución (CEDIS) se compone de una serie de actividades secuenciales e interdependientes que permiten el flujo del producto desde su ingreso a la instalación hasta su despacho final hacia los distintos almacenes o clientes. Dicho proceso integra las áreas operativas de recepción, abastecimiento, acomodo y surtido, así como las áreas administrativas y de control de administración de inventarios e inspección de salida, las cuales aseguran la correcta gestión, control y verificación de la operación. Para una mejor comprensión de este flujo, en la **Figura 6** se presenta el diagrama general del proceso logístico del CEDIS.

Figura 6. Diagrama de flujo del CEDIS.



Nota: Elaboración propia.

La **Figura 6** se presenta mediante un diagrama de flujo debido a que su objetivo es representar de manera general la secuencia operativa y el flujo de materiales dentro del CEDIS, facilitando la comprensión del proceso previo a su modelación en ProModel®.

El diagrama presentado ilustra de manera sistémica el proceso operativo del Centro de Distribución, destacando la interacción coordinada de las áreas de recepción, administración de inventarios, abastecimiento, acomodo, surtido, inspección de salida y embarques. Este enfoque permite visualizar que las actividades no se desarrollan de forma estrictamente lineal, sino que operan de manera paralela y continua, conforme a la dinámica de la operación diaria.

El proceso inicia con la **recepción del producto**, cuando la planta de producción genera una orden de entrada a través del sistema MBA, la cual es enviada electrónicamente al CEDIS y respaldada con documentación física que acompaña al transporte. Al arribo de la unidad, se realiza la maniobra de descarga y la documentación es entregada al responsable del área de recibo, quien verifica la información antes de autorizar el inicio de la operación.

De manera paralela, el área de **administración de inventarios** analiza la orden de entrada previamente registrada en el sistema, verificando claves, cantidades y condiciones del producto. A partir de esta revisión, se genera una **orden de distribución**, documento que define el destino del producto una vez descargado, ya sea su permanencia temporal en el área de recibo para su preparación, su traslado directo a las áreas de almacenamiento o su asignación inmediata a ubicaciones de picking en caso de ausencia de stock.

El área de **recepción** es responsable de ejecutar las actividades de descarga, separación, distribución y empaque del producto conforme a los estándares definidos para cada tipo de mercancía. Una vez concluida la descarga, se realiza una inspección de cantidad y calidad con el objetivo de asegurar la conformidad del producto recibido. Posteriormente, la

documentación correspondiente es enviada al área de administración de inventarios para la aceptación formal del producto dentro del sistema.

Posterior al proceso de recibo, el flujo del producto se dirige al área de **abastecimiento**, donde se desarrollan dos actividades principales. La primera consiste en el traslado del producto hacia sus ubicaciones de almacenamiento mediante montacargas o patines hidráulicos, siguiendo las indicaciones establecidas en la orden de distribución. Durante esta etapa se verifica que el producto sea colocado en la ubicación asignada, garantizando la trazabilidad del inventario. Al finalizar el almacenamiento, la orden de distribución es regresada al área de inventarios para su validación y cierre en el sistema.

La segunda actividad del área de abastecimiento corresponde al **abastecimiento del área de acomodo**, el cual se activa mediante solicitudes generadas por esta última a través del sistema. Una vez emitida la orden de abastecimiento, el producto es trasladado al área de espera, donde el supervisor de acomodo verifica la recepción en términos de cantidad y calidad antes de continuar con el proceso.

El área de **acomodo** tiene como función principal asegurar la disponibilidad de producto en las ubicaciones de picking, respetando los niveles máximos establecidos y aplicando criterios de rotación de inventarios bajo el principio PEPS. El personal traslada el producto desde el área de espera hacia las ubicaciones asignadas y, en caso de existir excedentes, estos son retornados al área de almacenamiento para su resguardo hasta ser requeridos nuevamente.

El proceso de **surtido** se activa a partir de la recepción de pedidos generados en el sistema MBA. El supervisor de surtido coordina con el área de inspección de salida la asignación de espacios en el área de embarques, donde los surtidores depositan el producto conforme a la orden de surtimiento. Durante esta etapa, el área de inspección de salida verifica

la cantidad y calidad del producto surtido, asegurando la conformidad con el pedido. Una vez validado, se genera la documentación de salida correspondiente, la cual es entregada al área de embarques para concluir el proceso.

Finalmente, el área de **administración de inventarios** interviene de manera transversal en todas las etapas del proceso, siendo responsable del registro, control y actualización de las entradas y salidas del producto. Esta función resulta fundamental para mantener la exactitud del inventario, asegurar la trazabilidad de los productos y dar soporte a la toma de decisiones operativas dentro del CEDIS.

4.4 Descripción detallada del proceso de surtido.

El proceso de surtido constituye la actividad central del Centro de Distribución (CEDIS), ya que a través de este se materializa la atención de pedidos hacia los distintos almacenes y clientes industriales. Dicho proceso concentra una proporción significativa de los movimientos, recorridos y tiempos operativos, por lo que su eficiencia resulta determinante para el cumplimiento de los niveles de servicio establecidos.

El surtido se activa a partir de la generación de pedidos en el sistema MBA, los cuales se emiten en función de la demanda proveniente de los almacenes propios y de los clientes. Una vez liberados los pedidos en el sistema, el supervisor de surtido es responsable de planificar la operación, asignando recursos humanos, priorizando órdenes y coordinando con las áreas de acomodo e inspección de salida la disponibilidad de producto y de espacios en el área de embarques.

Previo al inicio del surtido, el área de acomodo asegura que las ubicaciones de picking cuenten con producto suficiente, conforme a los niveles máximos definidos y bajo el principio de rotación PEPS. No obstante, cuando las ubicaciones de picking presentan faltantes, el proceso

de surtido se ve interrumpido, generando tiempos de espera mientras se solicita el reabastecimiento desde el área de almacenamiento, situación que impacta directamente en el tiempo total de surtido.

Durante la ejecución del surtido, los surtidores recorren el almacén siguiendo la secuencia definida por cada pedido, desplazándose entre distintas ubicaciones para recolectar los productos requeridos. Esta actividad se realiza principalmente de forma manual, con apoyo de patines hidráulicos y diablos, dependiendo del tipo de producto y su presentación. La diversidad de formatos, pesos y volúmenes —como cubetas, galones, cajas y tambos— incrementa la complejidad del proceso y exige una mayor coordinación operativa.

Una vez recolectados los productos, estos son trasladados al área de embarques, donde se asigna un espacio específico para cada pedido. En esta etapa, el área de inspección de salida interviene verificando que el surtido corresponda, en cantidad y tipo de producto, con lo solicitado en el pedido. En caso de detectar discrepancias, se realizan las correcciones necesarias antes de continuar con el proceso.

Concluida la inspección, el área de inspección de salida valida el pedido y entrega la documentación correspondiente, momento en el cual se considera finalizado el proceso de surtido dentro del alcance del presente estudio. Las actividades posteriores relacionadas con el registro de salida en el sistema y el despacho físico del producto son responsabilidad del área de embarques, la cual no forma parte del análisis de esta investigación.

Desde una perspectiva operativa, el proceso de surtido presenta una alta dependencia de las actividades previas de recepción, abastecimiento y acomodo, así como del diseño del layout del almacén. Recorridos largos, ubicaciones poco estratégicas y faltantes en picking constituyen factores que generan movimientos innecesarios y afectan negativamente el tiempo total de surtido. Por ello, el análisis detallado de este proceso resulta fundamental para

identificar oportunidades de mejora y justificar el uso de herramientas de modelación y simulación como apoyo a la toma de decisiones.

Figura 7. *Layout actual del CEDIS de estudio.*

[illegible]

Nota: Tomada del CEDIS de pinturas. Los recuadros en color rojizo y azul representan racks estructurales del 1 al 32; los recuadros con símbolo amarillo corresponden a almacenamiento en piso, y los recuadros con símbolo circular indican áreas de almacenamiento de tambos.

El layout actual de la **Figura 7** del Centro de Distribución define la disposición física de las áreas operativas y de almacenamiento que soportan los procesos descritos en los apartados anteriores. Esta distribución establece el flujo general de materiales desde el ingreso del producto hasta su liberación hacia el área de embarques, permitiendo la operación conjunta de recepción, abastecimiento, acomodo, surtido e inspección de salida.

El ingreso del producto al CEDIS se realiza a través del área de recepción, ubicada en el extremo izquierdo del layout. Desde esta zona, el producto es distribuido hacia las áreas internas conforme a las instrucciones operativas emitidas por el área de administración de inventarios, ya sea para su resguardo en almacenamiento o para su posterior preparación dentro del flujo operativo.

El área de almacenamiento ocupa la mayor parte de la superficie del CEDIS y se compone de distintos tipos de zonas, claramente identificables en el layout mediante colores y símbolos. Los recuadros de color rojizo y azul corresponden a **racks estructurales**, los cuales cuentan con diferentes niveles y concentran tanto inventario de almacenamiento como las ubicaciones definidas de picking para los distintos productos.

De manera complementaria, el layout incluye áreas de almacenamiento que no corresponden a racks estructurales. Los recuadros identificados con una figura amarilla representan **espacios de almacenamiento en piso**, delimitados para el resguardo de productos que, por sus características de manejo, peso o presentación, no se colocan en estructuras metálicas. Asimismo, los recuadros que contienen un símbolo circular identifican **áreas específicas destinadas al almacenamiento de tambos**, las cuales tampoco corresponden a racks estructurales y requieren condiciones particulares de acomodo.

Las actividades de **acomodo y surtido** se desarrollan sobre las mismas ubicaciones físicas de picking, distribuidas a lo largo del almacén. En este sentido, el acomodo se encarga

de reabastecer dichas ubicaciones desde los puntos de almacenamiento, mientras que el surtido retira el producto directamente desde estas ubicaciones para su traslado hacia el área de embarques. Esta interacción se realiza en un mismo espacio físico, diferenciándose únicamente por el sentido del flujo del material.

El proceso de abastecimiento se apoya en la configuración del layout para realizar los traslados de producto hacia las zonas de almacenamiento y hacia las ubicaciones de picking, siendo el único proceso que utiliza montacargas como equipo principal de manejo de materiales. Por su parte, las actividades de acomodo y surtido se realizan de forma predominantemente manual, utilizando patines hidráulicos y diablos, lo que incrementa la relevancia del diseño del layout y de la ubicación estratégica de los productos.

Adicionalmente, el CEDIS cuenta con un área de recuperación destinada al resguardo temporal de producto con incidencias operativas, así como con pasillos principales que facilitan la circulación del personal y el movimiento interno de materiales entre las distintas zonas.

Finalmente, los pedidos preparados durante el proceso de surtido son trasladados hacia el área de embarques, donde interviene el área de inspección de salida para la verificación de cantidad y calidad del producto. Con la validación del pedido y la entrega de la documentación correspondiente por parte de inspección de salida, se considera concluido el proceso operativo dentro del alcance del presente estudio.

4.6 Identificación de problemáticas del layout actual.

A partir del análisis del layout actual del Centro de Distribución (CEDIS) y de la experiencia operativa acumulada en las actividades diarias, se identifican diversas problemáticas que impactan de manera directa el desempeño del sistema logístico, particularmente en el proceso de surtido.

Una de las principales problemáticas del layout actual radica en la **distribución de los racks estructurales**, los cuales cumplen una doble función dentro del almacén. Por un lado, estos racks son utilizados como espacios de almacenamiento para productos entarimados y empleados que permanecen resguardados hasta ser requeridos, siendo manipulados exclusivamente por el área de abastecimiento bajo las indicaciones del sistema de inventarios. Por otro lado, en estos mismos racks se encuentran las ubicaciones de picking de los productos que son utilizados tanto por el área de acomodo como por el área de surtido. Esta combinación provoca que los productos destinados al surtido se encuentren distribuidos a lo largo de todo el almacén, generando **recorridos extensos**, especialmente para aquellos ubicados en zonas alejadas del área de embarques, lo que incrementa de manera significativa la distancia recorrida y el tiempo total de surtido.

Adicionalmente, la **alta proporción de productos en presentación de cubetas**, las cuales requieren un espacio considerable para su almacenamiento, genera una constante saturación en las áreas destinadas al resguardo de tarimas. Esta situación se agrava con la llegada simultánea de tarimas correspondientes a distintas presentaciones de producto, lo que ocasiona que, durante el flujo operativo, se presenten **sobrestocks temporales en pasillos y áreas de circulación**, mientras se espera la liberación de espacios en racks estructurales o zonas de almacenamiento. Dicha condición no solo afecta el orden del almacén, sino que también dificulta la movilidad del personal y de los equipos de manejo de materiales.

A pesar de la saturación observada en determinadas zonas del CEDIS, se identifica la existencia de **espacios que no están siendo aprovechados de manera óptima**, lo que evidencia una falta de balance en la distribución del layout y en la asignación de áreas de almacenamiento y picking. Esta subutilización del espacio contribuye indirectamente a la congestión de otras áreas y a la generación de movimientos innecesarios.

Otra problemática relevante corresponde a la **frecuencia de cruces entre el personal operativo**, ya que las actividades de recepción, abastecimiento, acomodo y surtido se desarrollan en zonas compartidas del almacén. Al no existir una delimitación clara de flujos, el personal de distintas áreas debe desplazarse por los mismos pasillos y espacios, incrementando la interferencia operativa, los tiempos de espera y el riesgo de reprocesos.

Finalmente, se presentan **tiempos muertos asociados a la espera de reabastecimiento**, tanto para el área de acomodo como para el área de surtido. Cuando las ubicaciones de picking no cuentan con producto suficiente, el proceso de surtido se ve interrumpido hasta que el área de acomodo recibe el material desde almacenamiento y logra reabastecer dichas ubicaciones. Estos retrasos afectan directamente la continuidad del proceso y el cumplimiento de los tiempos establecidos.

Si bien las problemáticas identificadas impactan a todas las áreas operativas del CEDIS, el **proceso de surtido es el más afectado**, ya que concentra los efectos acumulados de los recorridos largos, la saturación de espacios, los cruces de personal y los tiempos de espera por reabastecimiento. Como consecuencia, se generan retrasos en la preparación de pedidos y una disminución en la eficiencia operativa, lo que refuerza la necesidad de analizar el layout actual mediante herramientas de modelación y simulación que permitan evaluar alternativas de mejora sin afectar la operación real.

4.7 Indicadores operativos considerados para el análisis.

El Centro de Distribución cuenta con diversos indicadores operativos que se registran de manera sistemática como parte del control cotidiano de la operación. Estos indicadores abarcan información correspondiente a los procesos de recepción, abastecimiento, acomodo y

surtido, los cuales se encuentran interrelacionados y tienen un impacto directo en el desempeño global del sistema logístico.

Para efectos de la presente investigación, se realiza una selección y organización de los indicadores operativos disponibles, priorizando aquellos que guardan una relación directa con el análisis del layout y con el comportamiento del proceso de surtido, sin excluir los indicadores asociados al proceso de recepción, debido a su influencia en la disponibilidad de producto y en la continuidad del flujo operativo, tal como se estableció en el Capítulo 3.

Los indicadores seleccionados se presentan mediante tablas resumen, permitiendo realizar un análisis descriptivo del comportamiento del CEDIS en términos de volumen de operación, tiempos y nivel de cumplimiento. En primer lugar, se analizan los indicadores correspondientes al proceso de recibo, con el fin de contextualizar las condiciones de entrada del producto al sistema. Posteriormente, se abordan los indicadores del proceso de surtido, los cuales constituyen el foco principal de la investigación.

A partir del análisis conjunto de estos indicadores, se identifican patrones operativos y condiciones relevantes que sirven como base para la construcción, calibración y validación del modelo de simulación en ProModel®, así como para la evaluación de los escenarios de mejora propuestos.

4.7.1 Indicadores de recibo.

Tabla 8. *Análisis de Indicadores de Recibo del CEDIS de Pinturas.*

GENERALIDADES DEL PROCESO DE RECIBO EN 2025												
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Total unidades recibidas	135	127	130	144	126	140	134	142	143	141	140	123
Camionetas	40	20	33	38	29	51	35	51	47	13	21	18
Tortos	90	106	97	101	74	59	66	65	62	92	75	70
Trairles	5	1	0	5	23	30	33	26	34	36	44	35
Promedio de unidades x día	5	5	6	7	5	6	5	6	6	5	6	6
Tiempo total en descarga (h)	125:40	114:30	105:52	137:06	107:48	116:07	120:20	111:50	124:51	129:01	123:19	129:28
Total piezas recibidas	380,681	378,179	346,929	361,875	360,585	401,414	384,928	328,503	353,043	430,552	440,429	397,231
Promedio de piezas recibidas x unidad	2,852	2,932	2,669	2,513	2,862	2,867	2,873	2,313	2,469	3,053	3,146	3,229
Total de tonelaje recibido	1,345,898	1,319,021	1,222,825	1,447,724	1,394,166	1,449,680	1,562,507	1,492,138	1,662,721	1,789,123	1,858,780	1,708,451
Promedio de tonelaje recibido x unidad	11,563	10,225	9,406	10,054	11,065	10,354	11,660	10,508	11,627	12,689	13,277	13,890

Nota: Elaboración propia en base a los KPI's del CEDIS.

Del análisis de los indicadores correspondientes al proceso de recibo durante el año 2025 se observa que el Centro de Distribución presenta un flujo constante y sostenido de entrada de producto a lo largo del periodo analizado. El número total de unidades recibidas por mes oscila entre 123 y 144, lo que evidencia que el recibo no responde a eventos aislados, sino que constituye una actividad recurrente y estructural dentro de la operación del CEDIS.

En cuanto al tipo de unidades, se identifica que la mayor parte de los ingresos corresponde a tortons, seguidos por camionetas, mientras que los tráilers, aunque menos frecuentes, incrementan su participación a partir del segundo trimestre del año. Este comportamiento resulta relevante, ya que las unidades de mayor capacidad concentran un volumen significativamente superior de piezas y tonelaje, generando picos operativos que impactan directamente en la ocupación del almacén y en la capacidad de respuesta de las áreas de almacenamiento y abastecimiento.

El promedio de unidades recibidas por día se mantiene entre cinco y siete, lo cual confirma que el proceso de recibo opera de manera continua y con una carga de trabajo estable. No obstante, al analizar el tiempo total destinado a la descarga, se observa que este supera las 100 horas mensuales en todos los periodos, alcanzando valores cercanos a las 130 horas en meses como abril, octubre, noviembre y diciembre. Este indicador pone de manifiesto que el recibo representa una actividad intensiva en tiempo y recursos, con una influencia directa sobre la disponibilidad operativa del personal y de los equipos de manejo de materiales.

Respecto al volumen físico del producto, los resultados muestran que el número de piezas recibidas mensualmente se sitúa en rangos elevados, con valores que superan las 400 mil piezas en algunos meses del último trimestre del año. De manera similar, el tonelaje recibido presenta una tendencia creciente conforme avanza el año, alcanzando sus valores más altos entre septiembre y diciembre. Este incremento en el volumen y peso del producto recibido

coincide con periodos de mayor actividad logística, lo cual contribuye a la saturación temporal de los espacios de almacenamiento.

El análisis del promedio de piezas y tonelaje por unidad permite identificar que, hacia la segunda mitad del año, se reciben unidades con mayor densidad de carga, lo que incrementa la demanda de espacio y dificulta la asignación inmediata de ubicaciones dentro del almacén. Esta situación favorece la aparición de acumulaciones temporales de producto en áreas de tránsito o pasillos, en tanto se liberan espacios en los racks o zonas de almacenamiento definidas.

En conjunto, estos resultados evidencian que el proceso de recibo no solo representa la etapa inicial del flujo logístico, sino que condiciona de manera directa el desempeño de los procesos subsecuentes, particularmente el abastecimiento, el acomodo y, de forma indirecta, el surtido. La combinación de altos volúmenes de entrada, variabilidad en el tipo de unidades y limitaciones de espacio genera presiones operativas que se reflejan en retrasos, movimientos innecesarios y mayor complejidad en la gestión del layout.

Por lo anterior, el análisis detallado de los indicadores de recibo resulta fundamental para comprender el comportamiento global del sistema logístico del CEDIS y para sustentar, desde una perspectiva cuantitativa, la necesidad de evaluar el layout actual mediante herramientas de modelación y simulación. Aunque el enfoque principal de la investigación se centra en el proceso de surtido, los resultados del proceso de recibo permiten contextualizar las condiciones operativas bajo las cuales dicho proceso se desarrolla y justifican su inclusión dentro del análisis integral del sistema.

4.7.2 Indicadores de surtido.

El proceso de surtido constituye la actividad central del Centro de Distribución (CEDIS), ya que a través de este se materializa la atención de pedidos hacia los distintos almacenes y clientes industriales. Debido a su carácter intensivo en movimientos, recorridos y manipulación de producto, su desempeño se evalúa mediante indicadores operativos que permiten analizar tanto el volumen de operación como el nivel de cumplimiento del servicio.

Para el análisis del proceso de surtido, se organizaron y consolidaron los indicadores operativos registrados de manera sistemática durante el año 2025. Estos indicadores permiten caracterizar el comportamiento del proceso en términos de cantidad de pedidos atendidos, volumen de piezas y toneladas surtidas, así como el nivel de cumplimiento en cantidad y en tiempo.

4.7.2.1 Análisis general del volumen de operación del surtido.

En la **Tabla 9** se presentan las generalidades del proceso de surtido correspondientes al año 2025, las cuales incluyen el total de pedidos atendidos, las piezas solicitadas y surtidas, el tonelaje despachado y los porcentajes de cumplimiento.

Tabla 9. *Análisis de Indicadores de Surtido del CEDIS de Pinturas.*

GENERALIDADES DEL PROCESO DE SURTIDO EN 2025												
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Total de pedidos	329	345	403	396	416	415	393	380	343	384	371	351
Piezas solicitadas reales	426,059	413,453	448,211	395,323	428,181	365,602	441,896	483,707	499,003	521,941	504,903	434,954
Piezas surtidas reales	399,667	398,497	426,363	383,696	417,361	359,119	438,505	477,210	491,789	512,295	486,993	420,865
% de cumplimiento	93.81%	96.38%	95.13%	97.06%	97.47%	98.23%	99.23%	98.66%	98.55%	98.15%	96.45%	96.76%
Total de toneladas surtidas	1,558,091	1,438,638	1,547,576	1,385,778	1,430,924	1,406,597	1,565,426	1,686,077	1,739,184	1,873,491	1,964,449	1,721,521
Promedio toneladas x día	67,489	60,322	76,571	64,391	61,879	51,802	73,329	75,912	70,666	72,902	81,852	71,486
% de cumplimiento en tiempo	75%	76%	80%	76%	75%	73%	78%	83%	86%	78%	86%	76%

Nota: Elaboración propia en base a los KPI's del CEDIS.

Del análisis de la **Tabla 9** se observa que el número de pedidos atendidos mensualmente presenta variaciones asociadas directamente a la demanda de los almacenes y clientes, lo cual repercute en el volumen total de piezas y toneladas surtidas. Estos valores reflejan una operación de alta intensidad, donde los pedidos pueden agruparse o consolidarse para completar la capacidad de las unidades de transporte asignadas.

Es importante destacar que tanto el número de pedidos como el volumen total surtido no constituyen variables directamente controlables por el CEDIS, ya que dependen de requerimientos externos. No obstante, su análisis resulta relevante para contextualizar la carga operativa bajo la cual se desarrolla el proceso de surtido y para dimensionar el impacto de cualquier mejora en la eficiencia del sistema.

4.7.2.2 Cumplimiento de pedidos en términos de cantidad.

La **Tabla 9** también muestra el porcentaje de cumplimiento entre las piezas solicitadas y las piezas efectivamente surtidas. Si bien este indicador refleja el nivel de atención a la demanda, su comportamiento se encuentra influenciado por factores externos al proceso de surtido, tales como variaciones en la disponibilidad de inventario o incumplimientos en el suministro por parte de planta.

Por esta razón, aunque el cumplimiento en cantidad se considera como un indicador de referencia operativa, no se adopta como la variable principal para evaluar las propuestas de mejora del layout, ya que no depende exclusivamente del desempeño del proceso de surtido ni de la distribución física del almacén.

4.7.2.3 Indicadores operativos asociados al tiempo de surtido.

Además de los indicadores agregados presentados anteriormente, el proceso de surtido se evalúa mediante indicadores específicos relacionados con el cumplimiento en tiempo de cada pedido. Dichos indicadores se calculan de manera individual, considerando el tiempo

objetivo establecido según el tipo de unidad de transporte asignada y el tiempo real empleado para completar el surtido.

En la **Tabla 10** se presentan los tiempos objetivo de surtido definidos operativamente para cada tipo de pedido, de acuerdo con la capacidad máxima de carga de las unidades de transporte.

Tabla 10. *Tiempos objetivo de surtido por tipo de unidad de transporte.*

Tipo de unidad	Capacidad máxima (ton)	Tiempo objetivo de surtido
Camioneta	Hasta 5	5 horas
Torton	Hasta 16	9 horas
Tráiler	Hasta 25	16 horas

Nota: Elaboración propia con base en lineamientos operativos del CEDIS.

Los tiempos objetivo presentados en la **Tabla 10** corresponden a criterios operativos establecidos por el CEDIS con base en el tipo de vehículo y el peso total del pedido a surtir. En este sentido, los pedidos no se conforman únicamente por un solo tipo de producto, sino por combinaciones de distintas referencias y presentaciones, dependiendo de los requerimientos de cada cliente.

Por esta razón, el tiempo de surtido no depende exclusivamente de un producto específico, sino del volumen general del pedido, la cantidad de materiales involucrados, los recorridos requeridos y las operaciones necesarias para completar el surtido. Bajo este enfoque, los tiempos objetivo se utilizan como parámetros operativos generales asociados a la capacidad de carga del vehículo y al comportamiento real de la operación dentro del CEDIS.

Estos tiempos objetivo sirven como referencia para evaluar el desempeño de cada pedido de manera individual. El cumplimiento en tiempo se determina comparando el tiempo

real de surtido contra la meta establecida, obteniendo un porcentaje de cumplimiento por pedido, el cual posteriormente se consolida para generar un indicador global mensual.

La **Figura 8** muestra un extracto del registro operativo utilizado para el cálculo del cumplimiento en tiempo, donde se documentan los datos de inicio, término, tiempo real y porcentaje de cumplimiento por pedido.

Figura 8. Ejemplo de registro individual del cumplimiento en tiempo de surtido.

ALMACENES									
DIA	CEDIS	TONELAJE	PEDIDO (S)	FECHA / HORA DE INICIO	FECHA / HORA DE TERMINO	TIEMPO TRANSCURRIDO	% REAL	META	STATUS
EJEMPLO	TOLUCA	26000	254789	22/02/2024 10:23	23/02/2024 13:15:00	11:52	101%	12:00	EJEMPLO
lunes, abril 28, 2025	ALMACEN CENTRAL	3149	423311	28/04/25 8:40	28/04/25 10:45	2:05	96%	2:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	4026	423298	28/04/25 8:40	28/04/25 11:00	2:20	86%	2:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	298	423514	28/04/25 11:40	28/04/25 11:56	0:16	375%	1:00	TERMINADO
	JUAN ANTONIO ESQUIVEL SOTO	10	423614	28/04/25 11:40	28/04/25 11:56	0:16	375%	1:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	10036	423269	28/04/25 10:45	28/04/25 15:10	4:25	113%	5:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	9406	423320	28/04/25 10:45	28/04/25 15:35	4:50	103%	5:00	TERMINADO
	VIA MORELOS	54	423767	28/04/25 14:00	28/04/25 15:10	1:10	86%	1:00	TERMINADO
	MA. EVA ESPINOZA VELAZQUEZ	12	423799	28/04/25 14:00	28/04/25 15:10	1:10	86%	1:00	TERMINADO
	MA. EVA ESPINOZA VELAZQUEZ	24	423797	28/04/25 14:00	28/04/25 15:10	1:10	86%	1:00	TERMINADO
	NOE RODRIGUEZ ISLAS	0	423763	28/04/25 14:00	28/04/25 15:10	1:10	86%	1:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	564	423885	28/04/25 14:00	28/04/25 15:35	1:35	126%	2:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	3261	423577	28/04/25 15:05	28/04/25 17:38	2:33	78%	2:00	TERMINADO

Nota: Captura de Indicadores – Reporte de Tiempos Logísticos del CEDIS.

4.7.2.4 Relevancia del cumplimiento en tiempo como indicador clave.

El análisis del porcentaje de cumplimiento en tiempo evidencia que, aun cuando el volumen de pedidos y toneladas surtidas varía mes a mes, este indicador presenta las principales áreas de oportunidad dentro del sistema actual. Los resultados históricos muestran que una parte importante de los pedidos no logra atenderse dentro del tiempo objetivo establecido, reflejando limitaciones operativas relacionadas con el layout y el flujo de materiales dentro del CEDIS.

Las desviaciones observadas se relacionan principalmente con factores internos del sistema, tales como recorridos extensos dentro del almacén, tiempos de espera por reabastecimiento de ubicaciones de picking, saturación de áreas operativas y cruces constantes del personal durante la ejecución simultánea de actividades. Estas condiciones generan

incrementos en el tiempo total de surtido y afectan directamente el nivel de cumplimiento de pedidos.

A diferencia de otros indicadores, el cumplimiento en tiempo puede ser impactado directamente mediante mejoras en el layout, ya que una reducción en las distancias recorridas y una mejor organización espacial del picking contribuyen a disminuir los tiempos operativos del proceso de surtido. Por esta razón, el comportamiento esperado dentro de la presente investigación consiste en **incrementar el porcentaje de cumplimiento de pedidos** mediante la reducción de tiempos y movimientos innecesarios dentro del almacén.

En consecuencia, el porcentaje de cumplimiento en tiempo se adopta como el principal indicador de evaluación para la calibración y validación del modelo de simulación en ProModel®, así como para la comparación objetiva entre el layout actual y la propuesta de mejora, permitiendo medir cuantitativamente el impacto del rediseño sobre la eficiencia operativa del sistema logístico.

4.8 Síntesis de la situación actual del CEDIS.

El análisis desarrollado a lo largo del presente capítulo permitió caracterizar de manera integral la operación actual del Centro de Distribución, considerando su estructura organizacional, las áreas que intervienen en el flujo logístico, el proceso operativo general, el proceso detallado de surtido, la distribución física del almacén y los principales indicadores operativos utilizados para el control de la operación.

A partir de la descripción del layout actual y del funcionamiento de las distintas áreas operativas, se identificó que la distribución física del almacén presenta ciertas condiciones que influyen directamente en el desempeño del proceso de surtido. En particular, la ubicación de los productos dentro de los racks estructurales y de las áreas de almacenamiento distribuidas a

lo largo del almacén genera recorridos variables para el personal operativo, lo que incrementa la distancia recorrida durante la preparación de pedidos. Esta situación se vuelve más evidente en los productos ubicados en zonas alejadas del área de embarques, donde los operadores deben realizar desplazamientos más largos para completar el surtido.

De igual manera, la operación diaria del CEDIS muestra una interacción constante entre los procesos de recibo, abastecimiento, acomodo y surtido, lo que ocasiona cruces frecuentes de personal y equipos dentro del almacén. Esta dinámica operativa, combinada con la alta variedad de presentaciones de producto y con la ocupación de espacios de almacenamiento, puede generar condiciones de saturación temporal en pasillos y áreas de trabajo, afectando la fluidez del movimiento interno.

El análisis de los indicadores operativos permitió observar el comportamiento real de la operación, particularmente en lo relacionado con el volumen de unidades recibidas, el número de pedidos surtidos, el tonelaje manejado y el porcentaje de cumplimiento en los tiempos de preparación de pedidos. Entre estos indicadores, el cumplimiento en tiempo del surtido se identifica como una de las variables más representativas para evaluar el desempeño operativo del sistema, ya que refleja de manera directa la eficiencia del proceso de preparación de pedidos.

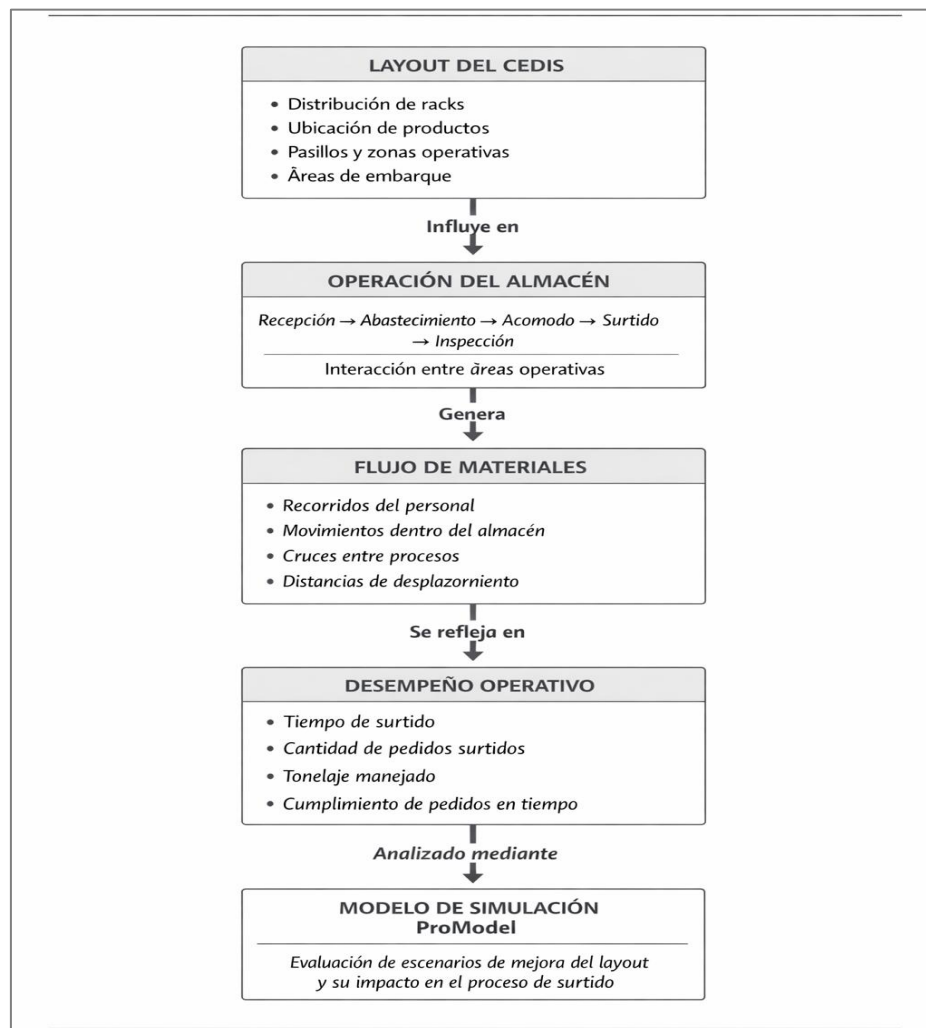
En conjunto, los elementos analizados permiten establecer una base clara para comprender el funcionamiento actual del CEDIS y las condiciones bajo las cuales se desarrolla el proceso de surtido. Asimismo, proporcionan la información necesaria para construir el modelo de simulación que represente el comportamiento del sistema bajo el layout actual.

Con base en esta caracterización del sistema, en el siguiente capítulo se desarrolla el modelo de simulación del Centro de Distribución utilizando el software ProModel®. Dicho modelo permitirá representar el comportamiento operativo del layout actual y evaluar distintos

escenarios de rediseño orientados a la reducción de recorridos, la mejora del flujo de materiales y el incremento en el cumplimiento de los tiempos de surtido.

Con el objetivo de integrar los elementos analizados en el presente capítulo, la **Figura 9** presenta el modelo conceptual que describe la relación entre el layout del CEDIS, la operación logística, el flujo de materiales y los indicadores utilizados para evaluar el desempeño del sistema. Este modelo permite visualizar cómo la distribución física del almacén influye directamente en los recorridos del personal y en los movimientos internos, lo que finalmente impacta en el desempeño del proceso de surtido.

Figura 9. Modelo conceptual de relación entre layout, operación e indicadores del CEDIS.



Nota: Elaboración propia.

A partir de esta relación conceptual, se establece la base para el desarrollo del modelo de simulación del sistema logístico. En el siguiente capítulo se describe la construcción del modelo en el software ProModel®, el cual permitirá representar el comportamiento del layout actual y evaluar distintos escenarios de mejora orientados a la reducción de recorridos y al incremento del cumplimiento en los tiempos de surtido.

CAPITULO 5. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.

5.1 Descripción del sistema a modelar.

Con el propósito de analizar el desempeño operativo del Centro de Distribución y evaluar posibles mejoras en el proceso de surtido, se desarrolló un modelo de simulación del sistema actual utilizando el software ProModel®. El modelo representa el comportamiento del flujo logístico dentro del CEDIS, considerando las principales áreas operativas involucradas en el movimiento de los productos.

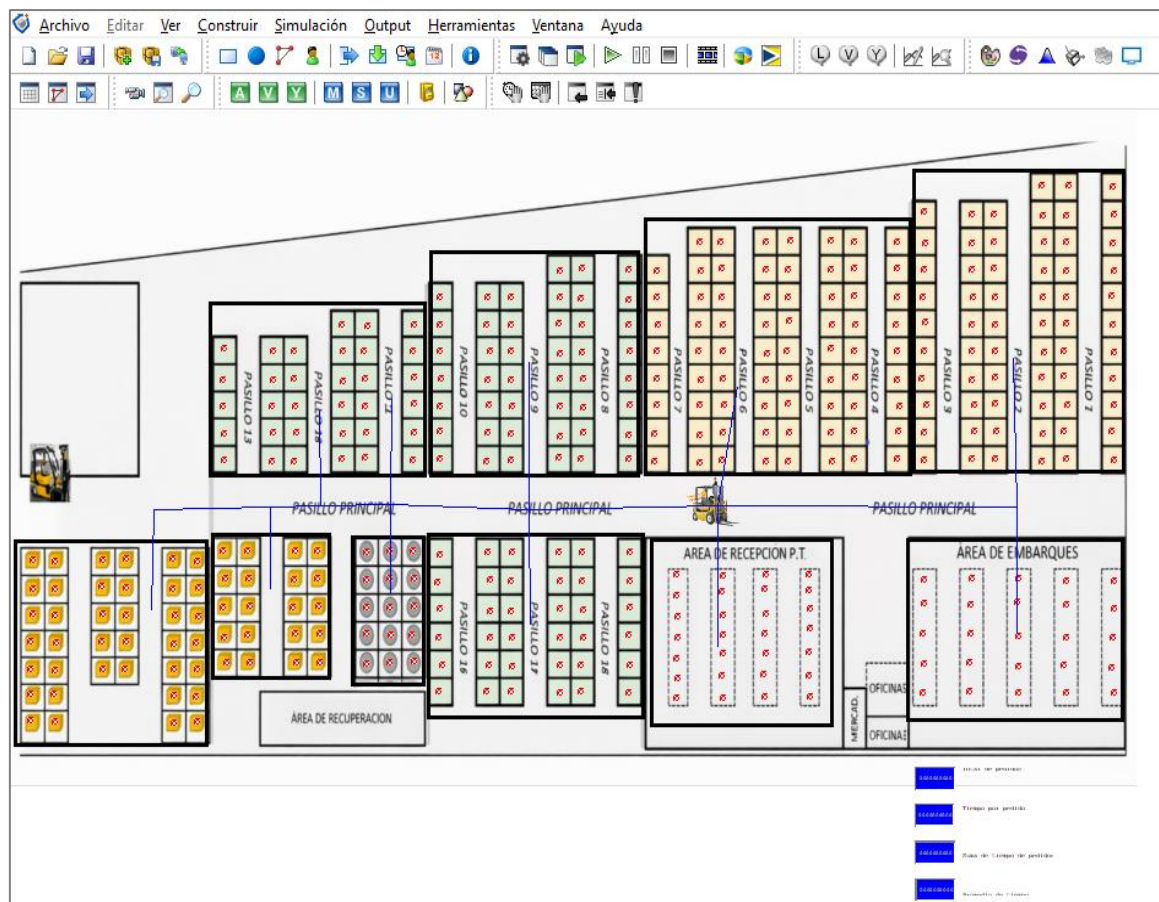
El sistema modelado integra las actividades de recepción, almacenamiento, abastecimiento, acomodo y surtido, así como su interacción dentro del layout actual del almacén. Estas áreas forman parte del flujo operativo descrito en el Capítulo 4 y presentan una relación directa con la disponibilidad de producto, el desplazamiento del personal y la preparación de pedidos.

Dentro del modelo se representa la distribución física del Centro de Distribución, incluyendo las áreas de recepción, almacenamiento en racks estructurales, zonas de almacenamiento en piso, área de recuperación, pasillos de circulación y área de embarques. Asimismo, se consideran los recorridos realizados por el personal operativo durante las actividades de abastecimiento y surtido, los cuales constituyen uno de los factores más relevantes en el análisis del desempeño del sistema.

El modelo tiene como objetivo reproducir de manera aproximada el comportamiento real de la operación logística del CEDIS, utilizando datos operativos históricos y parámetros obtenidos a partir de los indicadores analizados en el capítulo anterior. De esta forma, la simulación permite representar el funcionamiento actual del sistema y establecer una base de comparación para la evaluación de posibles escenarios de mejora en el layout.

La **Figura 10** muestra la representación del layout del Centro de Distribución dentro del entorno de simulación de ProModel®, donde se identifican las principales áreas operativas y las locaciones utilizadas para representar las posiciones de almacenamiento y las zonas de trabajo del sistema.

Figura 10. Representación del layout del CEDIS en el modelo de simulación desarrollado en ProModel®.



Nota: Elaboración propia.

5.2 Supuestos del modelo.

Para el desarrollo del modelo de simulación fue necesario establecer una serie de supuestos que permitieran representar el comportamiento del sistema logístico del Centro de

Distribución de manera simplificada, sin perder la coherencia con la operación real del almacén.

En primer lugar, el horizonte de simulación se definió considerando **una semana laboral completa**, con el objetivo de representar el comportamiento típico de la operación dentro del Centro de Distribución. El periodo de simulación inicia el **lunes a las 8:00 horas y finaliza el sábado a las 13:00 horas**, lo cual corresponde al esquema operativo habitual del CEDIS.

En cuanto a los horarios de trabajo, el modelo incorpora los turnos de operación correspondientes a cada una de las áreas involucradas en el flujo logístico. Las áreas internas del almacén, como **recepción, abastecimiento y acomodo**, operan en un horario de **8:00 a 20:00 horas de lunes a viernes**, mientras que el área de **surtido** trabaja en un horario de **8:00 a 17:00 horas durante los mismos días**. Para el día sábado, todas las áreas operativas consideradas en el modelo trabajan en un horario de **8:00 a 13:00 horas**.

Un supuesto importante dentro del modelo corresponde a la unidad de manejo utilizada para representar el movimiento de productos dentro del sistema. Debido al alto volumen de piezas manejadas en la operación real del CEDIS, el modelo no representa los productos de manera individual. En su lugar, se definió la **tarima** como la unidad de manejo dentro del modelo, representando cada entidad una tarima de producto.

Esta decisión permite simplificar la simulación y representar de manera más eficiente el flujo de materiales dentro del almacén, considerando que en la operación real gran parte del movimiento de productos se realiza mediante tarimas completas tanto en las actividades de recepción como en las de surtido.

Finalmente, el modelo considera velocidades de desplazamiento definidas para los recursos operativos, las cuales permiten calcular los tiempos de recorrido entre las distintas

locaciones del sistema. Estas velocidades, combinadas con las distancias reales del layout, permiten estimar el tiempo requerido para completar las actividades de movimiento dentro del almacén.

5.3 Datos de entrada del modelo.

La construcción del modelo de simulación requirió la definición de diversos datos de entrada que permiten representar el comportamiento operativo del sistema logístico del Centro de Distribución. Estos datos fueron obtenidos a partir de los indicadores operativos analizados en el Capítulo 4 y de los registros históricos de la operación.

Uno de los principales elementos considerados en el modelo corresponde al **flujo de tarimas** que ingresan al sistema a través del proceso de recepción. Para representar este comportamiento, se utilizaron los registros históricos de entrada de producto al almacén, los cuales fueron transformados a unidades de tarimas de acuerdo con las características de manejo de cada producto.

Con base en estos datos, la llegada de tarimas al sistema fue modelada mediante una **distribución de probabilidad uniforme continua**, la cual permite representar la variabilidad observada en los volúmenes de producto recibidos dentro del Centro de Distribución.

De manera similar, el comportamiento de los pedidos dentro del sistema también fue representado mediante el uso de **distribuciones de probabilidad uniforme continua**. En este caso, la distribución se utilizó para determinar la frecuencia con la que las tarimas son solicitadas dentro de los pedidos generados en el sistema, permitiendo simular la variabilidad en la demanda de producto observada en la operación real.

Adicionalmente, el modelo incorpora la representación del layout real del Centro de Distribución, incluyendo las áreas de recepción, almacenamiento en racks estructurales,

almacenamiento en piso, pasillos de circulación y área de embarques. Las distancias entre locaciones fueron ajustadas de acuerdo con las dimensiones reales del almacén, permitiendo que los tiempos de desplazamiento dentro del modelo correspondan de manera aproximada a los recorridos observados en la operación real.

Finalmente, el modelo considera los recursos operativos utilizados en el movimiento de materiales, los cuales incluyen **operadores de surtido y montacargas**. A cada uno de estos recursos se le asignó una velocidad de desplazamiento dentro del sistema, permitiendo calcular los tiempos de recorrido entre las diferentes locaciones del almacén.

En conjunto, estos datos de entrada permiten representar el flujo de materiales dentro del Centro de Distribución y constituyen la base para la ejecución de la simulación del sistema actual.

5.3.1 Conversión de unidades de producto a tarimas.

Debido al alto volumen de piezas manejadas dentro de la operación del Centro de Distribución, la simulación del sistema no se realizó a nivel de piezas individuales. En su lugar, se definió la tarima como unidad de manejo dentro del modelo, permitiendo representar de manera más eficiente el flujo de materiales y reducir la complejidad computacional de la simulación.

Para realizar esta representación, fue necesario establecer una relación entre las unidades individuales de producto y la cantidad de piezas contenidas en cada tarima. Estas cantidades corresponden a estándares logísticos utilizados dentro del propio Centro de Distribución, los cuales definen la capacidad máxima de cada tipo de producto por tarima.

Tabla 11. *Equivalencia de unidades de producto por tarima.*

Tipo de producto	Unidades por tarima
Cubeta	36 unidades
Galón	150 unidades
Litro	624 unidades
Spray	1500 unidades
Tambo	1 unidad

Nota: Elaboración propia con base en estándares operativos del Centro de Distribución.

La utilización de estas equivalencias permitió transformar los registros históricos de movimiento de producto en unidades de tarimas, las cuales fueron utilizadas como entidades dentro del modelo de simulación. De esta manera, el flujo de entrada y salida de materiales dentro del sistema se representa mediante el movimiento de tarimas entre las distintas locaciones del almacén.

Cabe señalar que la utilización de tarimas dentro del modelo no implica que todos los pedidos reales correspondan necesariamente a tarimas completas. En la operación real, los pedidos pueden incluir cantidades menores o combinaciones de distintos productos; sin embargo, para efectos de la simulación, las tarimas se emplearon como una unidad de referencia operativa que permite representar de manera simplificada el comportamiento general del flujo de materiales dentro del CEDIS.

Bajo este enfoque, las equivalencias utilizadas representan volúmenes promedio de manejo y capacidad operativa, permitiendo analizar el impacto del layout sobre el proceso de surtido sin necesidad de modelar individualmente cada pieza o referencia de producto.

5.3.2 Lógica operativa del modelo.

El modelo de simulación desarrollado en el software ProModel® representa el funcionamiento del Centro de Distribución bajo condiciones normales de operación, donde los procesos logísticos ocurren de manera simultánea. A diferencia de un sistema estático, la simulación reproduce la dinámica real del almacén, en la cual la recepción de productos, el

almacenamiento y el proceso de surtido de pedidos se desarrollan de forma paralela dentro del sistema.

En este contexto, el modelo considera la entrada de productos al almacén mediante tarimas que ingresan a través del área de recepción, su posterior almacenamiento dentro de las ubicaciones disponibles y la preparación de pedidos mediante el proceso de surtido. De esta forma, el sistema mantiene un flujo continuo de materiales, donde la disponibilidad de inventario permite atender los pedidos generados dentro del modelo.

La **Figura 11** presenta la lógica general del modelo de simulación utilizado en la investigación, mostrando las principales etapas del flujo de materiales dentro del sistema.

Figura 11. *Lógica del modelo de simulación del sistema logístico del CEDIS.*



Nota: Elaboración propia

De acuerdo a la **Figura 11**, las tarimas que ingresan al sistema son trasladadas hacia las áreas de almacenamiento correspondientes, donde permanecen disponibles como parte del

inventario del Centro de Distribución. Estas tarimas representan el producto que puede ser utilizado para atender los pedidos generados dentro del sistema.

De manera paralela, el modelo genera entidades que representan los pedidos del sistema, los cuales activan el proceso de surtido. Durante esta etapa, los operadores de surtido recorren las diferentes ubicaciones del almacén para recolectar las tarimas necesarias y trasladarlas hacia el área de embarques.

Finalmente, una vez completado el surtido de las tarimas correspondientes a cada pedido, estas son enviadas al área de embarques, donde concluye el flujo operativo representado dentro del modelo de simulación.

Esta lógica permite representar de manera aproximada el comportamiento real del Centro de Distribución, considerando de forma simultánea la entrada de productos al sistema, el flujo interno de inventario y la salida de pedidos hacia los destinos correspondientes.

5.4 Construcción del modelo en ProModel®.

La construcción del modelo de simulación del Centro de Distribución se llevó a cabo utilizando el software ProModel®, con el objetivo de representar de manera estructurada el flujo de materiales, los recursos operativos y la interacción entre las distintas áreas del sistema logístico.

El desarrollo del modelo se realizó a partir de la información obtenida en el análisis del sistema actual, integrando la distribución física del almacén, los datos operativos y la lógica del proceso de surtido. Para ello, se definieron los principales elementos del modelo, tales como el layout, las locaciones, las entidades, los recursos y las rutas de desplazamiento.

A continuación, se describen los componentes utilizados para la construcción del modelo.

5.4.1 Representación del layout del sistema.

La construcción del modelo de simulación inició con la incorporación del layout real del Centro de Distribución dentro del entorno de ProModel®, el cual sirvió como base para el desarrollo del modelo.

Para ello, se utilizó el plano existente del almacén, el cual fue trasladado al entorno del software con el propósito de reproducir la distribución física del sistema. A partir de este layout, se definieron las distintas áreas operativas del CEDIS, permitiendo trabajar sobre una representación fiel del entorno real.

Sobre esta base, se identificaron e integraron las principales zonas del almacén, tales como el área de recepción, almacenamiento en racks estructurales, zonas de almacenamiento en piso, área de recuperación y área de embarques. Esta configuración permitió establecer el espacio físico donde se desarrollan las actividades del sistema logístico dentro del modelo.

La representación del layout dentro de ProModel® constituye el elemento fundamental del modelo, ya que define la estructura espacial sobre la cual se desarrollan los movimientos de los recursos y el flujo de materiales dentro del sistema.

5.4.2 Definición de locaciones.

Una vez incorporado el layout dentro del entorno de ProModel®, se procedió a la definición de las locaciones del modelo, las cuales representan los puntos específicos donde se llevan a cabo las actividades logísticas dentro del Centro de Distribución.

Las locaciones fueron definidas con base en la distribución real del almacén, agrupando las distintas zonas de almacenamiento y operación en conjuntos que permiten representar de manera estructurada el flujo de materiales dentro del sistema. Cada locación cuenta con una capacidad definida, lo que permite controlar la cantidad de tarimas que pueden almacenarse o procesarse en cada área.

En total, se definieron locaciones correspondientes a las áreas de recepción, almacenamiento en racks estructurales, almacenamiento de tambos, área de embarques y generación de pedidos. Esta configuración permite representar tanto la entrada de producto al sistema como su almacenamiento y posterior salida mediante el proceso de surtido.

A continuación, se describen las locaciones utilizadas dentro del modelo.

Figura 12. Definición de locaciones del layout actual.

Icono	Nombre	Cap.	Unidades	TMs...	Estadist	Reglas...
	Recepcion	inf	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	Embarque	5	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_1a6	414	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_7a14	414	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_15a20	408	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_21a26	312	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_27a32	336	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	AREA_TAMBOS	54	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_39a42	60	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_33a38	114	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	Requisiciones	INF	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo

Nota: Elaboración propia

- **Recepción:** Área donde ingresan las tarimas al sistema, representando la entrada de producto al Centro de Distribución. Se define con capacidad infinita, ya que todo el producto enviado por planta debe ser descargado sin restricción dentro del modelo.
- **Embarque:** Zona donde se concentran los pedidos surtidos, representando la salida del sistema. Cuenta con una capacidad de 5 pedidos simultáneos, en correspondencia con las cinco parejas de surtidores que operan de manera concurrente.
- **RACK_1a6:** Zona de almacenamiento en racks estructurales correspondiente a los pasillos 1 a 6, con una capacidad de 414 tarimas. Esta área se utiliza tanto para almacenamiento como para actividades de picking.
- **RACK_7a14:** Conjunto de racks estructurales que abarca los pasillos 7 a 14, con una capacidad de 414 tarimas, utilizado para almacenamiento y picking.

- RACK_15a20: Área de racks estructurales correspondiente a los pasillos 15 a 20, con una capacidad de 408 tarimas, destinada a almacenamiento y picking.
- RACK_21a26: Zona de racks estructurales que comprende los pasillos 21 a 26, con una capacidad de 312 tarimas, utilizada para almacenamiento y picking.
- RACK_27a32: Zona de racks estructurales correspondiente a los pasillos 27 a 32, con una capacidad de 336 tarimas, utilizada para almacenamiento y picking.
- AREA_TAMBOS: Área de almacenamiento en piso destinada al resguardo de tambos, los cuales no se almacenan en racks estructurales. Cuenta con una capacidad de 54 tambos, y desde esta misma zona se realiza el surtido directo.
- RACK_39a42: Zona de almacenamiento en piso correspondiente a los pasillos 39 a 42 del almacén, con una capacidad de 60 tarimas.
- RACK_33a38: Zona de almacenamiento en piso correspondiente a los pasillos 33 a 38 del almacén, con una capacidad de 114 tarimas.
- Requisiciones: Locación utilizada para la generación de pedidos dentro del modelo, activando el proceso de surtido.

5.4.3 Definición de entidades.

En el modelo de simulación desarrollado en ProModel®, las entidades representan los elementos que fluyen a través del sistema logístico, permitiendo simular el comportamiento dinámico del Centro de Distribución.

Para efectos de la presente investigación, se definieron como entidades los distintos tipos de tarimas manejadas en la operación, correspondientes a las diferentes presentaciones de producto dentro del CEDIS, tales como cubetas, galones, litros, spray y tambos. Estas entidades representan el flujo físico del sistema, desplazándose a través de las distintas locaciones desde

su ingreso en recepción, su almacenamiento y su posterior salida mediante el proceso de surtido.

Adicionalmente, se incorporó la entidad “pedido”, la cual cumple una función lógica dentro del modelo, permitiendo agrupar la salida de tarimas conforme a la demanda. De esta manera, el pedido actúa como elemento detonador del proceso de surtido, mientras que las tarimas representan el movimiento físico del producto dentro del sistema.

La **Figura 13** muestra la definición de las entidades dentro del entorno de ProModel®, donde se identifican los distintos tipos de tarimas y la entidad de pedido utilizadas en el modelo.

Figura 13. Definición de entidades del layout actual.

Icono	Nombre	Velocidad (mpm)	Estadist
	TarimaCubeta	150	Series de tiempo
	TarimaGalon	150	Series de tiempo
	TarimaLitro	150	Series de tiempo
	TarimaSpray	150	Series de tiempo
	Tambo	150	Series de tiempo
	Pedido	150	Series de tiempo

Nota: Elaboración propia.

Como se observa en la **Figura 13**, cada tipo de entidad fue definido con base en las características reales de operación del sistema, permitiendo representar de manera adecuada el flujo de materiales. Esta estructura facilita el análisis de los tiempos de traslado, la interacción con las locaciones y la utilización de recursos dentro del modelo.

5.4.4 Definición de la red de rutas.

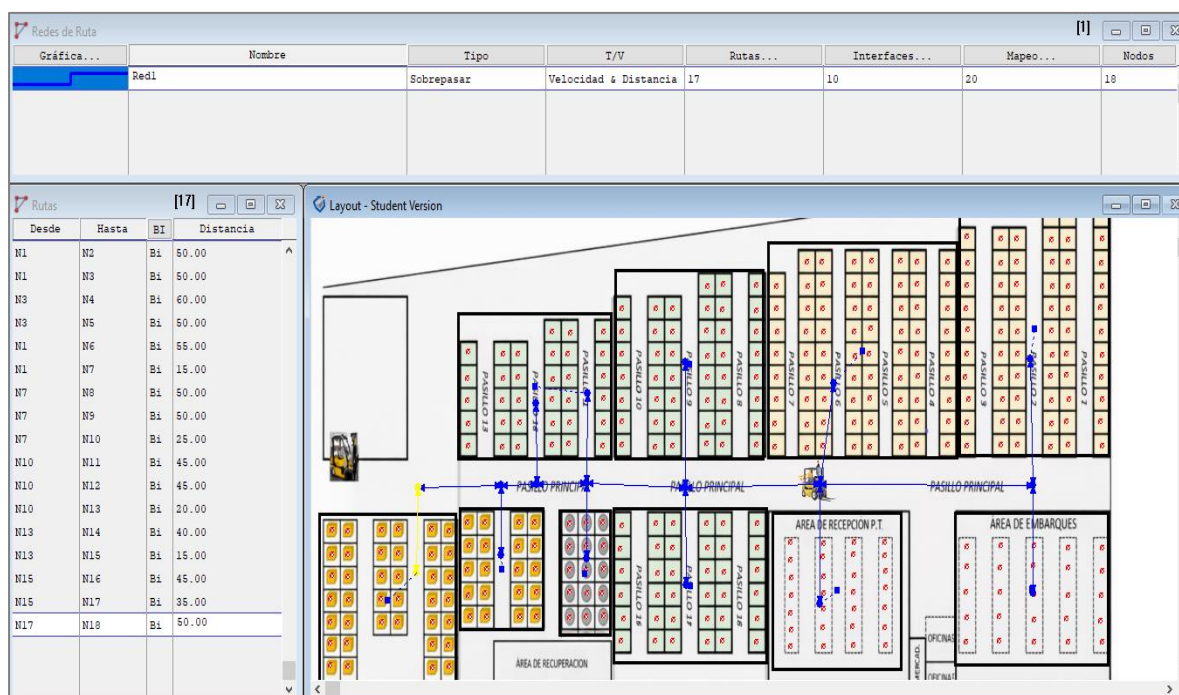
La red de rutas constituye un elemento fundamental dentro del modelo de simulación, ya que define los caminos a través de los cuales se desplazan las entidades y los recursos dentro del sistema logístico. En el presente modelo, la red de rutas representa los pasillos y áreas de circulación del Centro de Distribución, utilizados para el traslado de tarimas entre las distintas locaciones.

Para su construcción en ProModel®, se tomó como base el layout real del almacén, considerando los pasillos principales y secundarios como referencia para definir las trayectorias de movimiento. La red fue diseñada de manera que reproduzca de forma fiel los recorridos reales del personal operativo, permitiendo modelar adecuadamente el flujo de materiales dentro del sistema.

Las rutas fueron definidas mediante nodos y conexiones, asignando distancias específicas entre cada punto con base en medidas aproximadas a las reales. Esto permite que los tiempos de traslado dentro del modelo se calculen en función de la distancia recorrida y de la velocidad asignada a los recursos, generando resultados representativos del comportamiento operativo del CEDIS.

La **Figura 14** muestra la red de rutas implementada en el modelo de simulación, representada por líneas azules que conectan las diferentes áreas del almacén.

Figura 14. Red de rutas del layout actual.



Nota: Elaboración propia.

La **Figura 14** muestra, la red de rutas conecta las áreas de recepción, almacenamiento en racks estructurales, zonas de almacenamiento en piso y el área de embarques, permitiendo representar el flujo continuo de materiales dentro del sistema. Esta estructura resulta esencial para el análisis de recorridos, ya que permite identificar distancias, tiempos de desplazamiento y posibles ineficiencias asociadas al layout.

5.4.5 Definición de recursos.

Los recursos dentro del modelo de simulación representan los elementos encargados de ejecutar las actividades de traslado y surtido de materiales dentro del Centro de Distribución. Su correcta definición resulta fundamental, ya que influyen directamente en los tiempos de operación, la capacidad del sistema y el cumplimiento de los pedidos.

En el modelo desarrollado se consideraron dos tipos principales de recursos: montacargas y surtidores, los cuales fueron definidos con base en la operación real del CEDIS.

Los montacargas cumplen la función de trasladar las tarimas dentro del sistema, participando en las actividades de recepción, almacenamiento, acomodo y abastecimiento. Por su parte, los surtidores, representados mediante patines hidráulicos, son los encargados de realizar el proceso de surtido, trasladando las tarimas desde las ubicaciones de picking hasta el área de embarques.

La configuración de los recursos dentro de ProModel® se muestra en la **Figura 15**, donde se especifica la cantidad de unidades disponibles para cada tipo de recurso.

Figura 15. Recursos del layout actual.

Recursos								
Icono	Nombre	Unidades	TMs...	Estadíst	Especif. ...	Buscar...	Lógica...	Pts...
	Patini	5	Reloj	Por Unidad, Serie:Redl, Wl	Ninguna	0		1
	Monta	3	Reloj	Por Unidad, Serie:Redl, Wl	Ninguna	0		1

Nota: Elaboración propia.

En total, se definieron tres montacargas, los cuales operan en las actividades internas del almacén, y cinco patines hidráulicos, que representan a cinco parejas de surtidores trabajando de manera simultánea en el proceso de surtido. Esta configuración permite representar la capacidad operativa real del sistema en términos de recursos disponibles.

5.4.5.1 Programación de recursos y tiempos de operación.

Los recursos fueron configurados para operar bajo un esquema de tiempo controlado mediante reloj, lo que permite definir periodos de actividad e inactividad dentro del modelo. Esta programación se estableció con base en los horarios reales de operación del Centro de Distribución.

En el caso de los surtidores, estos operan durante 8 horas dentro de un periodo de 24 horas, permaneciendo inactivos durante las 16 horas restantes. Esta lógica se implementó mediante la asignación de tiempos muertos dentro del modelo, como se muestra en la **Figura 16**.

Por otro lado, los montacargas fueron configurados para operar durante 12 horas dentro del mismo periodo de 24 horas, permaneciendo inactivos durante las 12 horas restantes, tal como se muestra en la **Figura 16**.

Figura 16. Configuración de tiempos para recursos.

Tiempos Muertos por Reloj Patin1						
Frecuencia	Primera Vez	Prioridad	Programado ...	Lista	Nodo	Lógica...
24 hr	8 hr		No			Wait 16 hr

Tiempos Muertos por Reloj Monta						
Frecuencia	Primera Vez	Prioridad	Programado ...	Lista	Nodo	Lógica...
24 hr	12 hr		No			Wait 12 hr

Nota: Elaboración propia.

La simulación del sistema se ejecuta considerando una semana laboral de lunes a sábado, donde el sábado corresponde a una jornada de medio día. Esta condición se encuentra

integrada dentro de la lógica general del modelo, permitiendo representar de manera adecuada los periodos reales de operación.

Tanto los montacargas como los surtidores fueron conectados a la red de rutas definida previamente en el modelo, lo que permite que sus desplazamientos se realicen a través de los pasillos del almacén.

Esta integración es fundamental, ya que los tiempos de traslado dependen directamente de la distancia recorrida y de la velocidad asignada a cada recurso. De esta manera, el modelo logra representar de forma realista los movimientos dentro del sistema, permitiendo analizar el impacto del layout sobre los recorridos y el tiempo de surtido.

5.4.6 Arribo de entidades en el sistema.

El arribo de producto al sistema se modeló a través de las entidades correspondientes a las tarimas de las distintas presentaciones manejadas en el CEDIS, incluyendo cubetas, galones, litros, spray y tambos. Todas estas entidades ingresan al sistema a través de la locación de recepción, representando el flujo real de entrada de mercancía proveniente de planta.

La cantidad de tarimas por arribo fue definida mediante distribuciones de probabilidad uniforme, con base en los datos históricos analizados, lo que permite representar la variabilidad en la cantidad de producto recibido. Asimismo, se establecieron diferentes frecuencias de arribo dependiendo del tipo de producto, reflejando las condiciones reales de operación del sistema.

Esta configuración permite simular un flujo continuo de entrada de producto, asegurando la disponibilidad de inventario dentro del modelo para el desarrollo de las actividades de almacenamiento y surtido.

Figura 17. Configuración de arribos de entidades en layout actual.

Entidad...	Locación...	Cant. por Arribo...	Primera Vez...	Ocurrencias	Frecuencia	Lógica...
TarimaCubeta	Recepcion	U(13,3)	0	INF	2 hr	
TarimaGalon	Recepcion	U(7,2)	0	INF	2 hr	
TarimaLitro	Recepcion	U(6,1)	0	INF	2 hr	
TarimaSpray	Recepcion	U(3,1)	0	INF	3.5 hr	
Tambo	Recepcion	U(1,1)	0	INF	5 hr	
Pedido	Requisiciones	50	0	1	24 hr	CTC=U(11,2)CTC=U(7,2)C

Nota: Elaboración propia.

La **Figura 17** muestra la configuración general de los arribos en el modelo, donde se especifican las entidades, su locación de entrada, la cantidad por arribo y la frecuencia de ocurrencia.

5.4.6.1 Arribo de pedidos.

Los pedidos se modelaron como una demanda inicial acumulada, estableciendo un total de 50 pedidos al inicio de la simulación, valor obtenido del promedio semanal de operación. Estos ingresan a través de la locación de requisiciones y son atendidos conforme existe disponibilidad de recursos.

De esta manera, el modelo reproduce el comportamiento real del sistema, donde existe una cartera de pedidos que se van atendiendo progresivamente.

5.4.6.2 Composición de los pedidos.

Para la definición de la composición de los pedidos, fue necesario establecer previamente atributos asociados a las entidades, los cuales permiten representar la cantidad de tarimas de cada tipo de producto contenidas en un pedido.

Los atributos definidos corresponden a la cantidad de tarimas por tipo de producto, siendo: CTC (tarimas de cubeta), CTG (tarimas de galón), CTL (tarimas de litro), CTS (tarimas de spray) y CT (tambos). Todos estos atributos fueron definidos como variables enteras y clasificados a nivel de entidad, lo que permite asignar valores específicos a cada pedido dentro del modelo. La **Figura 18** muestra la definición de estos atributos en el entorno de ProModel®.

Figura 18. Definición de atributos para la composición de pedidos en ProModel®.

Atributos		
ID	Tipo	Clasificación
CTC	Integer	Ent
CTG	Integer	Ent
CTL	Integer	Ent
CTS	Integer	Ent
CT	Integer	Ent

Nota: Elaboración propia.

Una vez definidos los atributos, se estableció la lógica de asignación mediante distribuciones de probabilidad uniforme, permitiendo que cada pedido contenga una cantidad variable de tarimas por tipo de producto. Esta configuración permite representar de manera más realista la variabilidad de la demanda dentro del sistema.

En este caso, los parámetros utilizados en ProModel® para la distribución uniforme se definen mediante la expresión **U(media, semirango)**, donde la media corresponde al valor promedio esperado y el semirango representa la distancia entre dicho promedio y los valores mínimo y máximo posibles. De esta manera, la distribución genera valores dentro de un intervalo definido alrededor del promedio, permitiendo simular la variabilidad observada en la composición de los pedidos.

La lógica de asignación de dichos atributos se definió de la siguiente manera:

1. CTC=U(13,2)
2. CTG=U(8,3)

3. CTL=U(4,3)
4. CTS=U(3,1)
5. CT=U(1,1)

Donde cada expresión representa la variabilidad en la cantidad de tarimas por tipo de producto contenidas en un pedido. Esta parametrización permite que cada entidad “pedido” se genere con una composición distinta, reflejando el comportamiento real de la demanda y su impacto en el proceso de surtido.

5.5 Proceso mediante el cual trabaja el layout actual.

El proceso del modelo de simulación representa el flujo operativo del Centro de Distribución, integrando las actividades de recepción, almacenamiento, reubicación interna y surtido de pedidos. Este fue desarrollado en el módulo Proceso del software ProModel®, donde se define la lógica que siguen las entidades dentro del sistema.

En términos generales, el modelo reproduce el comportamiento real del CEDIS, donde el producto ingresa por recepción, es distribuido en las distintas zonas de almacenamiento y posteriormente es tomado para surtido en función de los pedidos generados.

5.5.1 Proceso de recepción y asignación a almacenamiento.

Figura 19. Enrutamiento de tarimas desde recepción hacia racks de almacenamiento.

Blk	Salida...	Destino...	Regla...	Lógica de Movimiento...
1	TarimaCubeta	RACK_27a32	RANDOM 1	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_39a42	RANDOM	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_33a38	RANDOM	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_21a26	RANDOM	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_15a20	RANDOM	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_7a14	RANDOM	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_1a6	RANDOM	Move With Monta Then Free

Nota: Elaboración propia.

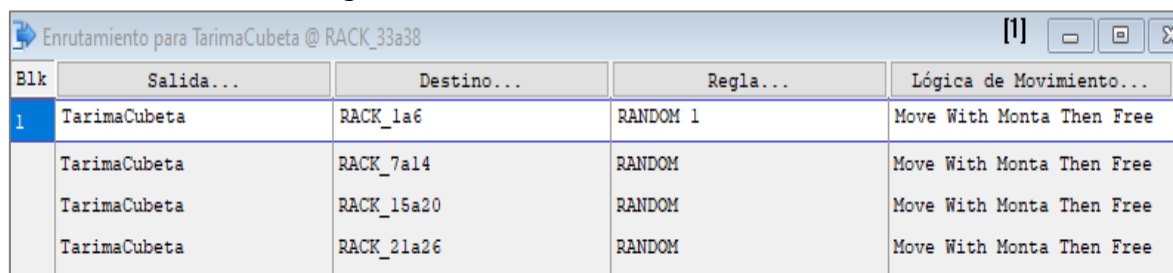
Las entidades correspondientes a tarimas de producto arriban inicialmente a la locación de recepción. Una vez disponibles, son trasladadas mediante el recurso de montacargas hacia las diferentes zonas de almacenamiento como se puede visualizar en la **Figura 19**.

La asignación del destino se realiza mediante una lógica de tipo aleatoria (**RANDOM**), permitiendo distribuir las tarimas entre los distintos racks estructurales del almacén. Este comportamiento representa la variabilidad operativa del sistema real, donde la ubicación depende de la disponibilidad de espacio.

El movimiento se define mediante la instrucción **Move With Monta Then Free**, lo que indica que el montacargas transporta la entidad hasta su destino y posteriormente queda disponible para realizar nuevas tareas.

5.5.2 Reubicación interna del almacenamiento.

Figura 20. Reubicación interna de tarimas.



Blk	Salida...	Destino...	Regla...	Lógica de Movimiento...
1	TarimaCubeta	RACK_1a6	RANDOM 1	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_7a14	RANDOM	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_15a20	RANDOM	Move With Monta Then Free
	TarimaCubeta	RACK_21a26	RANDOM	Move With Monta Then Free

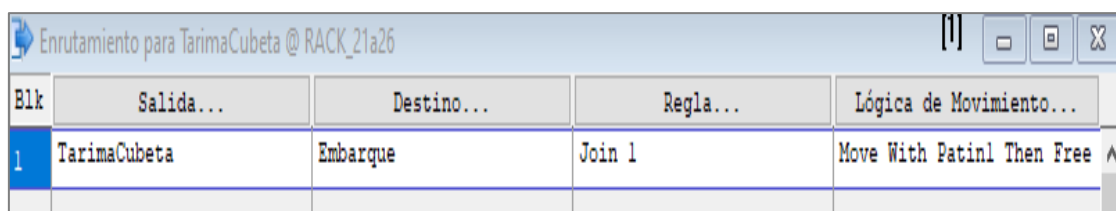
Nota: Elaboración propia

El modelo contempla zonas de almacenamiento en piso que funcionan como áreas auxiliares. Cuando es necesario, las tarimas ubicadas en estas zonas son trasladadas hacia racks estructurales mediante montacargas, siguiendo una lógica de asignación aleatoria.

Este comportamiento permite representar el proceso de abastecimiento y reacomodo del almacén, así como la interacción entre diferentes zonas de almacenamiento.

5.5.3 Proceso de surtido de pedidos.

Figura 21. Movimiento de tarimas desde racks hacia el área de embarque.



Blk	Salida...	Destino...	Regla...	Lógica de Movimiento...
1	TarimaCubeta	Embarque	Join 1	Move With Patinl Then Free

Nota: Elaboración propia.

El proceso de surtido se activa a partir de la generación de pedidos dentro del sistema. Estos se originan en la locación de requisiciones y se trasladan hacia el área de embarque, donde se gestionan hasta cinco pedidos simultáneamente, en correspondencia con las cinco parejas de surtidores disponibles.

A medida que un pedido es completado, un nuevo pedido entra en proceso, manteniendo un flujo continuo de operación, tal como ocurre en el sistema real.

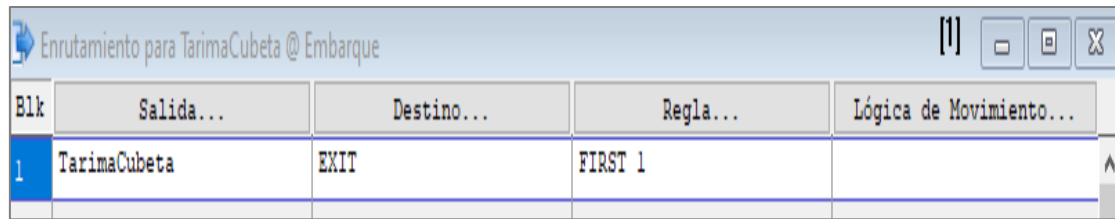
Las tarimas son tomadas desde los racks estructurales, los cuales funcionan como zonas de picking, y son trasladadas al área de embarque mediante patines hidráulicos. Este movimiento se define mediante la instrucción **Move With Patín Then Free**.

Para representar que un pedido está compuesto por múltiples tarimas, se implementó la instrucción **JOIN**, la cual permite agrupar las entidades necesarias hasta completar el requerimiento del pedido.

En el caso de productos con características particulares, como los tambos, estos son trasladados directamente desde su área de almacenamiento en piso hacia embarque mediante montacargas, sin pasar por racks estructurales, lo que permite representar su manejo operativo específico.

5.5.4 Salida del sistema.

Figura 22. Salida de entidades del sistema.



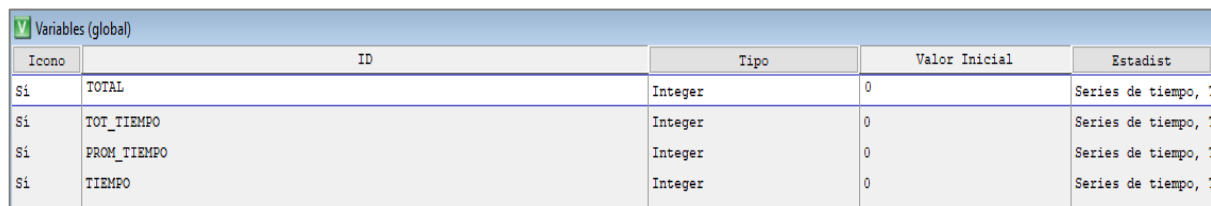
Blk	Salida...	Destino...	Regla...	Lógica de Movimiento...
1	TarimaCubeta	EXIT	FIRST 1	

Nota: Elaboración propia.

Una vez que las tarimas correspondientes a un pedido han sido agrupadas y trasladadas al área de embarque, estas son dirigidas hacia la salida del sistema mediante la instrucción **EXIT**. Esto representa la finalización del proceso de surtido dentro del modelo.

5.5.5 Control de pedidos y medición del desempeño.

Figura 23. Visualización de variables de control.



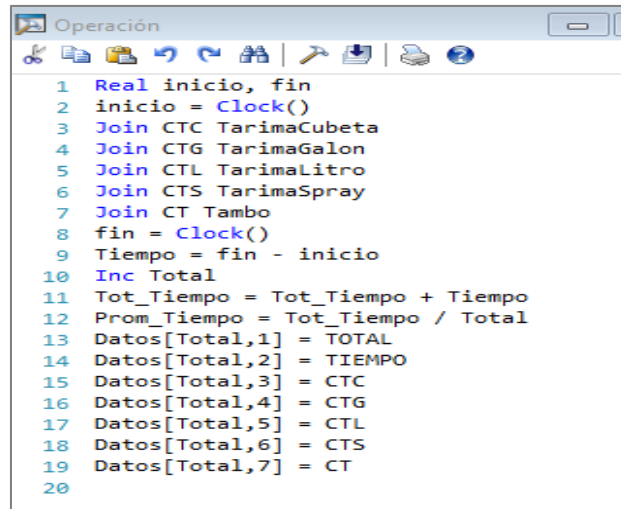
Icono	ID	Tipo	Valor Inicial	Estadist
Si	TOTAL	Integer	0	Series de tiempo, 0
Si	TOT_TIEMPO	Integer	0	Series de tiempo, 0
Si	FROM_TIEMPO	Integer	0	Series de tiempo, 0
Si	TIEMPO	Integer	0	Series de tiempo, 0

Nota: Elaboración propia.

Con el objetivo de medir el desempeño del sistema, se definieron variables globales que permiten registrar el comportamiento de los pedidos durante la simulación. Estas variables se visualizan dentro del layout del modelo, permitiendo monitorear en tiempo real indicadores como el número de pedidos completados, el tiempo por pedido, el tiempo acumulado y el tiempo promedio de surtido.

5.5.6 Lógica de operación para el registro de resultados.

Figura 24. *Lógica de operación para medición de pedidos.*



```
1 Real inicio, fin
2 inicio = Clock()
3 Join CTC TarimaCubeta
4 Join CTG TarimaGalon
5 Join CTL TarimaLitro
6 Join CTS TarimaSpray
7 Join CT Tambo
8 fin = Clock()
9 Tiempo = fin - inicio
10 Inc Total
11 Tot_Tiempo = Tot_Tiempo + Tiempo
12 Prom_Tiempo = Tot_Tiempo / Total
13 Datos[Total,1] = TOTAL
14 Datos[Total,2] = TIEMPO
15 Datos[Total,3] = CTC
16 Datos[Total,4] = CTG
17 Datos[Total,5] = CTL
18 Datos[Total,6] = CTS
19 Datos[Total,7] = CT
20
```

Nota: Elaboración propia.

Para el registro de resultados, se implementó una operación dentro del proceso que se ejecuta al momento de completarse cada pedido. En esta operación se emplean variables y atributos previamente definidos para calcular los indicadores clave del sistema.

En primer lugar, se registra el tiempo de inicio y fin del pedido mediante la función **Clock()**, permitiendo obtener el tiempo total de surtido por pedido. Posteriormente, se actualizan las variables globales, incrementando el número total de pedidos y acumulando el tiempo total de operación.

A partir de esta información, se calcula el tiempo promedio de surtido, el cual constituye uno de los principales indicadores de desempeño del sistema.

Adicionalmente, se implementó un arreglo de datos en el cual se registran los resultados individuales de cada pedido, incluyendo el tiempo de surtido y la cantidad de tarimas por tipo de producto. Este arreglo se encuentra vinculado a una hoja de cálculo externa, lo que permite exportar la información para su análisis posterior.

La definición del proceso permite representar de manera integral el funcionamiento del Centro de Distribución dentro del modelo de simulación, integrando tanto el flujo físico de materiales como la lógica operativa y la medición de indicadores. Esta estructura proporciona una base sólida para el análisis del desempeño del sistema y la evaluación de mejoras en el layout, las cuales serán desarrolladas en los capítulos posteriores.

5.6 Validación del modelo.

La validación del modelo de simulación tiene como propósito verificar que la representación desarrollada en ProModel® reproduce de manera adecuada el comportamiento del sistema real del Centro de Distribución, particularmente en el proceso de surtido de pedidos.

Para ello, se realizó una verificación del comportamiento general del modelo considerando los indicadores obtenidos en la simulación y su consistencia con los datos históricos analizados en el Capítulo 4. En este sentido, se tomó como referencia un margen de desviación aproximado de $\pm 5\%$, criterio que permite evaluar la confiabilidad del modelo sin requerir una réplica exacta del sistema real.

En primer lugar, se validó que la lógica operativa del modelo fuera coherente con el funcionamiento real del sistema, asegurando que las entidades, recursos, rutas y procesos definidos representaran correctamente las actividades de recepción, almacenamiento y surtido. Asimismo, se verificó que la interacción entre los recursos, particularmente entre montacargas y surtidores, correspondiera con las condiciones observadas en la operación del CEDIS.

Posteriormente, se analizaron los resultados generales obtenidos en la simulación, observando que el comportamiento del modelo se mantiene dentro de un rango aceptable respecto a los valores históricos. Las variaciones identificadas se encuentran dentro del margen

establecido, lo cual es consistente con la naturaleza probabilística del modelo y con la variabilidad propia del sistema real.

Adicionalmente, la validación se apoyó en la observación directa del modelo durante su ejecución, confirmando que el flujo de entidades, la asignación de recursos y la formación de pedidos se desarrollan de manera lógica y sin inconsistencias operativas.

Con base en estos elementos, se considera que el modelo desarrollado es válido como herramienta de análisis, permitiendo representar de manera confiable el comportamiento del sistema actual y sirviendo como base para la evaluación de propuestas de mejora.

A partir de este punto, en el siguiente capítulo se desarrollará la propuesta de mejora al sistema actual, así como su modelación y simulación, con el objetivo de evaluar su impacto en el desempeño del proceso de surtido.

CAPÍTULO 6. PROPUESTA DE MEJORA Y SIMULACIÓN.

6.1 Enfoque de la propuesta de mejora.

La propuesta de mejora desarrollada en el presente capítulo se basa en las problemáticas identificadas en el apartado 4.6, las cuales evidencian limitaciones en el layout actual del Centro de Distribución, particularmente en el proceso de surtido de pedidos. Con base en estas problemáticas, se desarrolló una propuesta de reorganización del layout orientada a mejorar el desempeño operativo del sistema. El objetivo principal de esta propuesta es reducir los tiempos de surtido, permitiendo incrementar la cantidad de pedidos atendidos en un mismo periodo de tiempo.

El layout propuesto fue diseñado sin la incorporación de nuevas estructuras ni la ampliación del espacio físico existente, por lo que no implica una inversión económica adicional. La propuesta se basa en la reorganización de las áreas actuales, el aprovechamiento eficiente del espacio disponible y la modificación en la forma de almacenar y surtir los productos.

Bajo este enfoque, la propuesta busca resolver las problemáticas previamente identificadas mediante una mejor distribución de las áreas de almacenamiento y picking, así como una organización más eficiente de los productos dentro del almacén.

La propuesta de mejora también incorpora principios Lean aplicados a operaciones logísticas y de almacenamiento, enfocados principalmente en la reducción de desperdicios asociados al movimiento, transporte y tiempos de espera dentro del proceso de surtido. Para ello, se buscó mejorar el flujo operativo mediante la reorganización de productos de mayor rotación en zonas más cercanas al área de surtido y embarque, reduciendo recorridos innecesarios y facilitando la continuidad de las operaciones. De igual manera, la propuesta considera criterios de eficiencia operativa orientados a disminuir actividades que no agregan

valor al proceso, contribuyendo a mejorar el tiempo de atención de pedidos y el desempeño general del sistema logístico.

El desarrollo de la propuesta se realizó considerando criterios de flujo de materiales, frecuencia de movimiento de productos y reducción de recorridos dentro del almacén. Para ello, se analizaron las áreas con mayor interacción operativa y los productos de mayor rotación, buscando acercarlos a las zonas de surtido y embarque con el fin de disminuir tiempos de desplazamiento y mejorar la continuidad del flujo operativo. Finalmente, la propuesta fue evaluada mediante simulación en ProModel®, permitiendo analizar su impacto sobre los indicadores de desempeño del sistema.

6.2 Layout propuesto para mejora del CEDIS.

Figura 25. Layout propuesto para el CEDIS.



Nota: Elaboración propia. Los recuadros blancos numerados del 1 al 32 corresponden a los racks estructurales, mientras que los recuadros en azul y rojo representan espacios nuevos o reconfigurados dentro del layout. Identificando la división de las naves.

En este apartado se describen los cambios realizados en el layout propuesto del Centro de Distribución, con el objetivo de detallar la forma en que se reorganizan las áreas operativas y de almacenamiento dentro del sistema.

Figura 26. *Identificación de cambios en el layout propuesto para surtido.*



En la **Figura 26** se presentan los cambios realizados en el layout propuesto. Los recuadros en color azul y rojo, señalados mediante puntos negros, indican las modificaciones directas respecto al layout actual del Centro de Distribución, permitiendo identificar las áreas donde se realizaron ajustes en la distribución del espacio y en la ubicación de los productos.

De manera complementaria, se realizó una reorganización del almacenamiento del resto de los productos, asignando las naves 3, 4 y 5 como zonas destinadas exclusivamente a almacenamiento, como se muestra en la **Figura 27**. Esta redistribución permite una mejor organización del inventario y elimina la interferencia entre las actividades de almacenamiento y surtido.

Figura 27. *Identificación de cambios en el layout propuesto para almacenamiento.*



Nota: Elaboración propia. Los recuadros en color azul representan espacios nuevos, mientras que los recuadros en color rojo corresponden a áreas que fueron reorganizadas.

Como se observa en la **Figura 27**, uno de los cambios más relevantes dentro de la propuesta corresponde a la reconfiguración de la nave 5, la cual anteriormente presentaba un bajo aprovechamiento del espacio debido a la presencia de maquinaria sin impacto directo en la operación. En la nueva configuración, este espacio se destina al almacenamiento de cubetas a granel, considerando que este tipo de producto representa la mayor proporción del volumen manejado en el almacén. Esta modificación permite incrementar la capacidad de almacenamiento y atender directamente la problemática de saturación previamente identificada.

Asimismo, la reubicación de las cubetas hacia la nave 5, aprovechando de manera integral el espacio disponible, genera la liberación de posiciones en los racks estructurales de las naves 3 y 4, particularmente en los racks correspondientes del 14 al 32. Esto permite destinar dichas posiciones al almacenamiento de productos en tarima, contribuyendo a una mejor distribución del inventario y reduciendo la acumulación de producto en pasillos y áreas de circulación.

Adicionalmente, se realizó la reubicación de los racks de piso hacia la parte inferior de la nave 4, donde también se concentraron los tambos, permitiendo una organización más clara de estas unidades y evitando su dispersión dentro del almacén. Esta modificación facilita su manejo y reduce la interferencia con otras operaciones.

Es importante señalar que la propuesta no modifica la lógica de operación del sistema en términos de recepción y surtido, sino que se enfoca en la reorganización física del layout con el objetivo de mejorar su desempeño. Las modificaciones realizadas permiten atender las problemáticas identificadas en el sistema actual, tales como la saturación de espacios, la acumulación de producto en pasillos, la dispersión del inventario y los recorridos excesivos durante el surtido.

En conjunto, la propuesta de mejora permite un mejor aprovechamiento del espacio disponible, una distribución más eficiente de los productos dentro del almacén y una reducción en los tiempos de desplazamiento, sentando las bases para la evaluación de su impacto mediante simulación en los apartados siguientes.

6.3 Modelación del layout propuesto.

Analizando la implementación del layout propuesto dentro del modelo de simulación, con el objetivo de evaluar su impacto en el desempeño del sistema.

La modelación del sistema propuesto se desarrolló a partir del modelo previamente validado del sistema actual. En este sentido, la estructura general del modelo se mantiene sin modificaciones, utilizando los mismos supuestos, entidades, recursos, parámetros de operación, tiempos, arribos de producto, generación de pedidos y lógica general del sistema. Esto permite asegurar la comparabilidad directa entre ambos escenarios.

La principal modificación dentro del modelo corresponde a la incorporación del nuevo layout propuesto en el entorno de simulación de ProModel®. Al igual que en el modelo anterior, se utilizó la representación gráfica del layout como base para la definición del sistema, ajustando únicamente la distribución de las locaciones de acuerdo con la nueva configuración del Centro de Distribución.

En este contexto, los cambios realizados en la modelación se concentran en dos elementos principales: las locaciones y la red de rutas. Por un lado, las locaciones fueron redefinidas conforme a la reorganización del almacén, considerando la concentración de las actividades de surtido en las naves 1 y 2, así como la asignación de las naves 3, 4 y 5 como zonas destinadas exclusivamente a almacenamiento. Por otro lado, la red de rutas fue modificada para reflejar los nuevos recorridos derivados de esta redistribución, permitiendo

sentido, las naves 1 y 2 concentran las actividades de picking, mientras que las naves 3, 4 y 5 se destinan exclusivamente al almacenamiento de producto.

La **Figura 29** muestra la configuración de las locaciones implementadas en el modelo de simulación para el layout propuesto.

Figura 29. Definición de locaciones del layout propuesto en ProModel®.

Icono	Nombre	Cap.	Unidades	TMs...	Estadist	Reglas...
	EMBARQUES	5	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RECEPCION	INF	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	CUBETAS BLANCOS	57	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	CUB_RAPMOV	35	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_1a6	439	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_7a14	425	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_15a20	429	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_21a26	339	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACK_27a32	378	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	TAMBOS	78	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	RACKS_PISO	168	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	REMANENTE_DE_CAJA	inf	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	ZONADE_CUBETA_DER	320	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	ZONA_DE_CUBETA_IZQ	205	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	REMANENTE_DE_CUBETA	inf	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
	AREA_DE_ESPERA	inf	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo
Aa	Requisiciones	INF	1	Ninguna	Serie de tiempo	Más Tiempo

Nota: Elaboración propia.

Como se observa en la **Figura 29**, las locaciones mantienen una estructura similar a la del modelo anterior; sin embargo, se realizaron ajustes en su capacidad y distribución como resultado de la reorganización del layout. Destaca particularmente el incremento en la capacidad de almacenamiento en diversas locaciones, derivado del mejor aprovechamiento del espacio disponible y de la redistribución de productos dentro del almacén.

La definición de las nuevas capacidades se realizó considerando las dimensiones de los productos, la cantidad de material manejado y el espacio físico disponible en cada área del almacén. Para ello, las cantidades de producto fueron convertidas a unidades equivalentes de almacenamiento en tarimas, permitiendo estimar la capacidad operativa de las locaciones dentro del modelo desarrollado en ProModel®. Asimismo, la asignación de productos en las

distintas áreas se apoyó en el conocimiento operativo del funcionamiento real del CEDIS, priorizando la cercanía de productos de mayor rotación hacia las zonas de surtido.

Cabe señalar que el objetivo de la presente investigación no consiste en desarrollar un modelo detallado de cálculo de capacidades o slotting de productos, sino en evaluar el impacto operativo de una propuesta de reorganización del layout sobre el proceso de surtido. Por esta razón, las modificaciones realizadas en las locaciones se plantean desde una perspectiva operativa y funcional orientada a mejorar el flujo de materiales y reducir recorridos innecesarios dentro del almacén.

6.3.2 Proceso mediante cual trabaja el layout propuesto.

Derivado de la reorganización del layout, el proceso operativo del sistema presenta ajustes en la forma en que se desarrollan las actividades dentro del modelo, particularmente en el flujo de materiales y en la interacción entre las áreas de almacenamiento y surtido.

En el sistema propuesto, el proceso de surtido se concentra exclusivamente en las naves 1 y 2, donde los operadores realizan la recolección de producto desde las ubicaciones de picking y su traslado hacia el área de embarques. Esta modificación reduce la dispersión del proceso dentro del almacén y permite establecer recorridos más directos durante la preparación de pedidos.

Por otro lado, el flujo interno del sistema se estructura a partir de la recepción del producto y su almacenamiento en las naves 3, 4 y 5, las cuales operan como zonas destinadas exclusivamente al resguardo del inventario. A partir de estas áreas, se lleva a cabo la redistribución interna del producto hacia las ubicaciones de picking en las naves 1 y 2, con el fin de mantener el abastecimiento continuo del proceso de surtido.

Esta redistribución considera el movimiento de producto tanto desde racks estructurales como desde racks de piso, permitiendo trasladar las tarimas necesarias hacia las zonas de surtido conforme a la demanda generada en el sistema.

En comparación con el sistema actual, estos ajustes permiten una separación más clara entre las actividades de almacenamiento y surtido, reduciendo la interferencia operativa y facilitando la continuidad del flujo de materiales dentro del Centro de Distribución.

De esta manera, el modelo representa un proceso operativo más ordenado, en el cual el surtido y el almacenamiento se desarrollan en zonas definidas, permitiendo evaluar el impacto de esta reorganización en el desempeño del sistema mediante la simulación.

CAPITULO 7. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA ACTUAL Y PROPUESTO MEDIANTE SIMULACIÓN.

7.1 Validación de los modelos de simulación.

Previo al análisis de resultados, se verificó que los modelos de simulación del sistema actual y del sistema propuesto reproduzcan de manera adecuada el comportamiento operativo del Centro de Distribución. Esta validación se sustenta en los criterios establecidos en el Capítulo 5, donde se comprobó que el modelo representa el sistema real dentro de un margen de variación aceptable.

Para reforzar esta validación en ambos escenarios, se realizaron corridas de simulación utilizando los mismos parámetros, distribuciones y datos estadísticos definidos a partir de la información histórica del sistema. Estos datos incluyen tiempos de surtido, volumen de producto y condiciones operativas observadas en el CEDIS.

La **Figura 30** muestra un ejemplo de los registros operativos reales utilizados como referencia, donde se incluyen indicadores como el tiempo de surtido por pedido, tonelaje procesado, así como los tiempos de inicio y término del proceso.

Figura 30. Ejemplo de registros operativos reales utilizados para la validación del modelo.

ALMACENES									
DIA	CEDIS	TONELAJE	PEDIDO (S)	FECHA / HORA DE INICIO	FECHA / HORA DE TERMINO	TIEMPO TRANSCURRIDO	% REAL	META	STATUS
lunes, septiembre 8, 2025	PUEBLA	26821	478151-478407-479908	5/9/25 8:35	8/9/25 15:03	20:28	98%	20.00	TERMINADO
	MERIDA	25241	478483	5/9/25 8:35	8/9/25 12:30	17:55	73%	13.00	TERMINADO
	VERACRUZ	26734	478885-470231-480111	5/9/25 14:30	8/9/25 14:30	14:08	92%	13.00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	9195	478639	5/9/25 12:15	8/9/25 9:44	11:29	44%	5:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	8617	478674 (PALETIZADO)	5/9/25 16:04	5/9/25 16:39	0:35	171%	1:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	7679	478684	8/9/25 9:45	8/9/25 10:25	0:40	150%	1:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	2693	479450	8/9/25 12:30	8/9/25 15:04	1:34	128%	2:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	567	480235	8/9/25 14:55	8/9/2025 15:28:00	0:33	182%	1:00	TERMINADO
	VILLAHERMOSA	26966	478232-480230-479580	8/9/25 8:35	9/9/25 14:23	12:48	102%	13.00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	6743	479483	8/9/25 15:10	9/9/25 11:55	5:45	70%	4:00	TERMINADO
	AGUASCALIENTES	15487	479329	8/9/25 15:20	9/9/25 16:21	10:01	80%	8:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	8534	478692 (PALETIZADO)	9/9/25 9:26	9/9/25 10:00	0:34	176%	1:00	TERMINADO
	ALMACEN CENTRAL	8815	479022	8/9/25 8:35	9/9/25 9:18	9:43	72%	7:00	TERMINADO

Nota: Tomada directa de indicadores de surtido del CEDIS. Las fechas son aleatorias.

De manera complementaria, se consideró el comportamiento del sistema en base a los datos procesados durante un periodo de operación como se corrió con una semana. La **Figura**

31 presenta un registro correspondiente a una semana natural de trabajo, en el cual se identifican los pedidos atendidos durante dicho periodo.

Figura 31. Registro semanal de pedidos realizados en el CEDIS.

No_Pedido	Nombre_Cliente	Tonelaje	Piezas_Solicitadas	Liberacion_Pedido	Inicio_Surtido	Termino_Surtido
502115	PEDIDO INTERNO PRI	53817	3950	03/11/2025 8:38	05/11/25 14:35	06/11/25 13:00
499652	PEDIDO INTERNO CVH	27033.47	1296	04/11/2025 15:31	05/11/25 10:20	05/11/25 19:20
499683	PEDIDO INTERNO CVH	27003.67	3519	04/11/2025 15:29	04/11/25 16:30	05/11/25 20:00
503164	PEDIDO INTERNO CTP	24573.9	4302	04/11/2025 16:38	05/11/25 8:35	06/11/25 12:18
503370	PEDIDO INTERNO CTJ	26547.36	6384	05/11/2025 9:52	06/11/25 8:35	07/11/25 12:16
503038	PEDIDO INTERNO CME	26853.37	4258	04/11/2025 17:12	06/11/25 8:35	07/11/25 13:09
503666	CESAR DANIEL RENTERIA GARCIA	23393.12	4889	05/11/2025 16:43	06/11/2025 8:35	10/11/25 8:53
503843	PEDIDO INTERNO CVH	26971.66	1966	05/11/2025 17:58	08/11/2025 8:35	10/11/25 13:00
503760	PEDIDO INTERNO CMT	24848.07	3675	05/11/2025 15:29	07/11/25 15:50	11/11/25 12:38
503745	PEDIDO INTERNO CPU	26092.27	11471	05/11/2025 16:34	07/11/25 15:45	11/11/25 12:28
503206	PEDIDO INTERNO CTP	23480.15	4470	04/11/2025 17:05	10/11/25 14:00	12/11/25 9:27
504235	PEDIDO INTERNO CVE	25603.94	8620	07/11/2025 8:41	10/11/25 14:45	12/11/25 14:33
505406	PEDIDO INTERNO CVH	27032.03	3673	10/11/2025 9:06	12/11/25 9:30	12/11/25 12:51
506907	PEDIDO INTERNO CPU	27662.07	6354	12/11/2025 11:36	13/11/25 12:00	14/11/25 12:57
506508	PEDIDO INTERNO CME	27753.62	12707	11/11/2025 14:22	13/11/25 14:00	15/11/25 9:45
505400	PEDIDO INTERNO CVH	27062.59	5042	10/11/2025 9:05	14/11/25 8:35	18/11/25 14:50
508247	PEDIDO INTERNO CMT	26210.14	1650	14/11/2025 10:11	17/11/25 8:30	18/11/25 19:45
507778	PEDIDO INTERNO CVH	27088.65	3031	15/11/2025 9:39	19/11/25 8:35	19/11/25 19:46
508586	PEDIDO INTERNO CPU	27701.51	4658	14/11/2025 16:22	19/11/25 8:35	20/11/25 18:27
507396	PEDIDO INTERNO CME	26968	1810	13/11/2025 13:14	18/11/25 14:00	21/11/25 9:20
507397	PEDIDO INTERNO CME	21997.75	1537	13/11/2025 13:14	15/11/25 9:30	20/11/25 9:20
509995	PEDIDO INTERNO CVH	27109.46	7950	19/11/2025 15:31	21/11/25 8:35	22/11/25 13:50
510571	PEDIDO INTERNO CVH	27127.06	1154	19/11/2025 15:30	22/11/25 9:00	24/11/25 9:45
510851	PEDIDO INTERNO CVE	25775	1031	19/11/2025 17:44	22/11/25 15:00	24/11/25 12:26
510959	PEDIDO INTERNO CME	26997.58	8395	20/11/2025 9:05	22/11/25 15:40	25/11/25 13:30
511654	PEDIDO INTERNO CAG	23790.56	2710	21/11/2025 16:10	25/11/25 8:55	26/11/25 12:35
511585	PEDIDO INTERNO CQR	26944.59	4416	20/11/2025 18:31	24/11/25 12:00	25/11/25 19:58
510042	PEDIDO INTERNO CTJ	21296.72	7827	18/11/2025 17:23	24/11/25 11:00	26/11/25 12:17
512187	PEDIDO INTERNO CTP	21881.09	2785	22/11/2025 10:44	25/11/25 14:00	27/11/25 10:35
510135	PEDIDO INTERNO CVH	27112.94	4814	19/11/2025 15:31	26/11/25 15:10	27/11/25 13:55
513380	CESAR DANIEL RENTERIA GARCIA	25212.61	3983	25/11/2025 11:13	26/11/25 17:30	28/11/25 16:15
513931	PEDIDO INTERNO CTO	27000.36	4141	25/11/2025 15:49	27/11/25 15:05	28/11/25 17:26
513505	PEDIDO INTERNO CMT	26558.48	4786	25/11/2025 9:20	27/11/25 10:30	28/11/25 15:08
515766	PEDIDO INTERNO CTP	17913.75	3977	28/11/2025 11:25	28/11/25 15:00	29/11/25 13:45
512058	PEDIDO INTERNO CVH	27057.75	1115	24/11/2025 16:49	28/11/25 15:00	29/11/25 14:00
514403	PEDIDO INTERNO CVE	24915.82	8354	27/11/2025 16:54	28/11/25 8:35	29/11/25 14:10
Numero de pedidos						
36						

Nota: Tomada directa de indicadores de surtido del CEDIS. Las fechas son aleatorias y se hizo el conteo de pedidos marcándolo en el recuadro rojo.

A partir de esta información, se determinó que durante una semana de operación se atienden un total de 36 pedidos. Este valor fue considerado como referencia para la

configuración de las corridas de simulación, estableciendo un horizonte de análisis equivalente que permita comparar los resultados del modelo con el comportamiento observado en el sistema real.

Asimismo, se observa que la mayoría de los pedidos procesados presentan volúmenes superiores a 20,000 unidades de tonelaje, lo cual permite contextualizar las condiciones bajo las cuales se evaluarán los resultados del modelo.

Por otra parte, el modelo de simulación genera información detallada por cada pedido procesado, incluyendo el tiempo de surtido y la cantidad de unidades manejadas por tipo de producto, tales como tarimas de cubetas, galones, litros, spray y tambos. Estos datos constituyen la base para el análisis de resultados que se presenta en los apartados siguientes.

Finalmente, dado que el modelo del sistema propuesto mantiene la misma estructura, parámetros y lógica del modelo actual, siendo la única diferencia la reconfiguración del layout, la validez del mismo se sustenta en los mismos criterios. Esto permite asegurar que cualquier variación en los resultados obtenidos se debe exclusivamente a los cambios en la distribución física del almacén.

7.2 Integración y procesamiento de resultados de la simulación.

Para la obtención y análisis de los resultados de ambos modelos de simulación, se estableció un vínculo entre el modelo desarrollado en ProModel® y una hoja de cálculo en Excel, con el propósito de registrar de manera detallada la información generada durante cada corrida.

Mediante el uso de arreglos dentro del modelo, se capturó la información correspondiente a cada pedido procesado, incluyendo el tiempo de surtido y la cantidad de unidades manejadas por tipo de producto, tales como tarimas de cubetas (TC), galones (TG),

litros (TL), spray (TS) y tambos. Una vez ejecutada la simulación y obtenidos los datos, estos fueron exportados a Excel, donde se organizó la información por pedido, permitiendo su análisis individual y agregado.

Posteriormente, se incorporaron columnas adicionales para expresar la información en términos de peso por tipo de producto, utilizando factores de conversión estándar definidos para cada unidad: cubetas (TC = 900), galones (TG = 750), litros (TL = 624), spray (TS = 615) y tambos (250). A partir de estos valores, se obtuvo el peso total por pedido mediante la suma de sus componentes.

De igual manera, los tiempos de surtido generados por el modelo, originalmente expresados en minutos, fueron convertidos a horas con el fin de facilitar su interpretación y permitir una comparación más clara con los registros reales del sistema, donde los pedidos se evalúan en función de su duración total.

Este procesamiento de la información permite expresar los resultados del modelo en términos equivalentes a los indicadores operativos utilizados en el sistema real, específicamente el peso total por pedido y el tiempo de surtido, lo cual resulta fundamental para el análisis comparativo que se desarrolla en los siguientes apartados.

7.3 Resultados del sistema actual.

Una vez integrados y procesados los datos generados por el modelo de simulación, se analizaron los resultados correspondientes al sistema actual con el objetivo de evaluar su comportamiento bajo las condiciones definidas previamente.

La **Figura 32** muestra los resultados obtenidos del modelo de simulación, donde se presenta la información por pedido, incluyendo el tiempo de surtido, la cantidad de unidades por tipo de producto y su equivalente en peso total.

Figura 32. Resultados del modelo de simulación del sistema actual.

Pedido	Tiempo (min)	TC	TG	TL	TS	Tambos	Ton. Cubeta	Ton. Galón	Ton. Litro	Ton. Spray	Ton. Tambo	Ton. Total	Tiempo (Hrs)
1	38	12	6	3	2	0	10,800	4,500	1,872	1,230	0	18,402	0.63
2	267	11	8	6	3	1	9,900	6,000	3,744	1,845	250	21,739	4.45
3	1,509	12	7	1	3	0	10,800	5,250	624	1,845	0	18,519	25.15
4	1,590	14	8	6	3	1	12,600	6,000	3,744	1,845	250	24,439	26.50
5	1,336	14	8	4	2	0	12,600	6,000	2,496	1,230	0	22,326	22.27
6	1,605	12	5	6	3	1	10,800	3,750	3,744	1,845	250	20,389	26.75
7	1,598	13	5	2	3	1	11,700	3,750	1,248	1,845	250	18,793	26.63
8	174	11	6	6	2	1	9,900	4,500	3,744	1,230	250	19,624	2.90
9	119	11	8	2	2	0	9,900	6,000	1,248	1,230	0	18,378	1.98
10	294	11	10	1	2	0	9,900	7,500	624	1,230	0	19,254	4.90
11	1,320	13	8	1	3	0	11,700	6,000	624	1,845	0	20,169	22.00
12	1,433	14	5	1	3	1	12,600	3,750	624	1,845	250	19,069	23.88
13	1,421	14	6	5	2	1	12,600	4,500	3,120	1,230	250	21,700	23.68
14	1,209	12	6	1	3	1	10,800	4,500	624	1,845	250	18,019	20.15
15	1,444	11	10	3	2	0	9,900	7,500	1,872	1,230	0	20,502	24.07
16	1,252	12	8	6	3	0	10,800	6,000	3,744	1,845	0	22,389	20.87
17	1,544	13	7	6	3	1	11,700	5,250	3,744	1,845	250	22,789	25.73
18	1,378	14	6	6	2	1	12,600	4,500	3,744	1,230	250	22,324	22.97
19	176	11	6	2	3	0	9,900	4,500	1,248	1,845	0	17,493	2.93
20	1,391	12	9	6	2	1	10,800	6,750	3,744	1,230	250	22,774	23.18
21	1,355	13	9	4	2	1	11,700	6,750	2,496	1,230	250	22,426	22.58
22	90	14	6	4	3	1	12,600	4,500	2,496	1,845	250	21,691	1.50
23	142	13	5	4	2	0	11,700	3,750	2,496	1,230	0	19,176	2.37
24	1,406	14	9	3	2	1	12,600	6,750	1,872	1,230	250	22,702	23.43
25	1,422	11	8	5	3	1	9,900	6,000	3,120	1,845	250	21,115	23.70
26	1,428	13	5	6	3	1	11,700	3,750	3,744	1,845	250	21,289	23.80
27	1,413	11	9	6	3	1	9,900	6,750	3,744	1,845	250	22,489	23.55
28	1,349	13	10	1	3	1	11,700	7,500	624	1,845	250	21,919	22.48
29	78	12	7	4	2	1	10,800	5,250	2,496	1,230	250	20,026	1.30
30	1,289	12	5	5	3	0	10,800	3,750	3,120	1,845	0	19,515	21.48
31	1,309	11	5	6	2	0	9,900	3,750	3,744	1,230	0	18,624	21.82
32	1,427	11	9	1	3	1	9,900	6,750	624	1,845	250	19,369	23.78
33	1,438	14	8	3	3	1	12,600	6,000	1,872	1,845	250	22,567	23.97
34	1,449	11	5	2	3	1	9,900	3,750	1,248	1,845	250	16,993	24.15

Nota: Elaboración propia a partir de datos generados en ProModel® y procesados en Excel.

A partir de los resultados obtenidos, se identificó que durante el periodo de simulación se procesaron un total de **34 pedidos**. Este valor resulta consistente con los datos históricos presentados anteriormente, donde se observa que en una semana de operación se atienden en promedio 36 pedidos.

En cuanto al tiempo de surtido, se obtuvo un tiempo promedio aproximado de **1079 minutos por pedido, equivalente a 17.98 horas**, lo cual se mantiene en un rango similar al observado en los registros reales del sistema. Asimismo, los pedidos generados por el modelo presentan valores de tonelaje consistentes con los datos históricos, manteniendo el mismo comportamiento en cuanto a magnitud.

Esta correspondencia entre los resultados simulados y los datos reales permite confirmar que el modelo reproduce de manera adecuada las condiciones de operación del Centro de Distribución. En este sentido, la diferencia observada en el número de pedidos, así como en los tiempos de atención, se mantiene dentro de un rango aceptable, lo que indica que la modelación cuenta con un nivel de precisión adecuado para su análisis.

Por lo tanto, los resultados obtenidos del sistema actual constituyen una base confiable para la comparación con el sistema propuesto, permitiendo evaluar el impacto de la reconfiguración del layout sobre el desempeño del proceso de surtido.

7.4 Resultados del sistema propuesto.

Una vez implementadas las modificaciones correspondientes al layout dentro del modelo de simulación, se procedió a la ejecución de las corridas para el sistema propuesto, manteniendo las mismas condiciones, parámetros y lógica operativa utilizados en el sistema actual, con el fin de asegurar la comparabilidad de los resultados.

La **Figura 33** muestra los resultados obtenidos del modelo de simulación del sistema propuesto, donde se presenta la información por pedido, incluyendo el tiempo de surtido, la cantidad de unidades por tipo de producto y su equivalente en peso total.

Figura 33. Resultados del modelo de simulación del sistema propuesto.

Pedido	Tiempo (min)	TC	TG	TL	TS	Tambos	Ton. Cubeta	Ton. Galón	Ton. Litro	Ton. Spray	Ton. Tambo	Ton. Total	Tiempo (Hrs)
1	41	10	5	3	2	0	9,000	3,750	1,872	1,230	0	15,852	0.68
2	46	10	6	1	3	0	9,000	4,500	624	1,845	0	15,969	0.77
3	57	9	7	6	3	1	8,100	5,250	3,744	1,845	250	19,189	0.95
4	12	12	7	4	2	0	10,800	5,250	2,496	1,230	0	19,776	0.20
5	10	9	7	2	2	0	8,100	5,250	1,248	1,230	0	15,828	0.17
6	10	9	8	1	2	0	8,100	6,000	624	1,230	0	15,954	0.17
7	12	11	7	1	3	0	9,900	5,250	624	1,845	0	17,619	0.20
8	309	12	7	6	3	1	10,800	5,250	3,744	1,845	250	21,889	5.15
9	626	10	5	6	3	1	9,000	3,750	3,744	1,845	250	18,589	10.43
10	823	9	8	3	2	0	8,100	6,000	1,872	1,230	0	17,202	13.72
11	1,600	11	5	2	3	1	9,900	3,750	1,248	1,845	250	16,993	26.67
12	1,621	9	5	6	2	1	8,100	3,750	3,744	1,230	250	17,074	27.02
13	12	10	7	6	3	0	9,000	5,250	3,744	1,845	0	19,839	0.20
14	1,694	12	5	1	3	1	10,800	3,750	624	1,845	250	17,269	28.23
15	1,632	12	5	5	2	1	10,800	3,750	3,120	1,230	250	19,150	27.20
16	657	10	5	1	3	1	9,000	3,750	624	1,845	250	15,469	10.95
17	796	9	5	2	3	0	8,100	3,750	1,248	1,845	0	14,943	13.27
18	1,433	11	6	6	3	1	9,900	4,500	3,744	1,845	250	20,239	23.88
19	19	11	5	4	2	0	9,900	3,750	2,496	1,230	0	17,376	0.32
20	1,433	12	6	6	2	1	10,800	4,500	3,744	1,230	250	20,524	23.88
21	1,477	10	7	6	2	1	9,000	5,250	3,744	1,230	250	19,474	24.62
22	1,431	11	8	4	2	1	9,900	6,000	2,496	1,230	250	19,876	23.85
23	1,574	12	6	4	3	1	10,800	4,500	2,496	1,845	250	19,891	26.23
24	1,425	12	7	3	2	1	10,800	5,250	1,872	1,230	250	19,402	23.75
25	1,431	9	7	5	3	1	8,100	5,250	3,120	1,845	250	18,565	23.85
26	1,467	11	5	6	3	1	9,900	3,750	3,744	1,845	250	19,489	24.45
27	11	10	5	5	3	0	9,000	3,750	3,120	1,845	0	17,715	0.18
28	13	9	5	6	2	0	8,100	3,750	3,744	1,230	0	16,824	0.22
29	1,466	9	8	6	3	1	8,100	6,000	3,744	1,845	250	19,939	24.43
30	1,468	11	8	1	3	1	9,900	6,000	624	1,845	250	18,619	24.47
31	13	12	5	5	2	0	10,800	3,750	3,120	1,230	0	18,900	0.22
32	1,464	10	6	4	2	1	9,000	4,500	2,496	1,230	250	17,476	24.40
33	20	12	5	1	2	0	10,800	3,750	624	1,230	0	16,404	0.33
34	1,506	9	8	1	3	1	8,100	6,000	624	1,845	250	16,819	25.10
35	1,478	12	7	3	3	1	10,800	5,250	1,872	1,845	250	20,017	24.63
36	1,521	9	5	2	3	1	8,100	3,750	1,248	1,845	250	15,193	25.35
37	869	10	6	3	2	0	9,000	4,500	1,872	1,230	0	16,602	14.48
38	22	12	7	5	3	0	10,800	5,250	3,120	1,845	0	21,015	0.37
39	22	9	7	1	3	0	8,100	5,250	624	1,845	0	15,819	0.37
40	1,419	10	8	1	2	1	9,000	6,000	624	1,230	250	17,104	23.65
41	1,421	11	8	5	3	1	9,900	6,000	3,120	1,845	250	21,115	23.68
42	1,418	11	6	6	3	1	9,900	4,500	3,744	1,845	250	20,239	23.63

Nota: Elaboración propia a partir de datos generados en ProModel® y procesados en Excel.

A partir de los resultados obtenidos, se identificó que durante el periodo de simulación se procesaron un total de **42 pedidos**.

En cuanto al tiempo de surtido, se obtuvo un tiempo promedio aproximado de **852 minutos por pedido, equivalente a 14.20 horas**.

Asimismo, los pedidos generados por el modelo presentan valores de tonelaje consistentes con los observados en el sistema, manteniendo el mismo comportamiento en cuanto a magnitud.

Los resultados presentados reflejan el desempeño del sistema bajo la nueva configuración del layout, los cuales serán utilizados en el siguiente apartado para su comparación con el sistema actual.

7.5 Comparación y análisis de resultados.

Una vez obtenidos los resultados del sistema actual y del sistema propuesto, se realizó una comparación directa entre ambos escenarios con el objetivo de evaluar el impacto de la reconfiguración del layout sobre el desempeño del proceso de surtido.

En términos de capacidad de atención, el sistema actual presentó un total de **34 pedidos procesados**, mientras que el sistema propuesto alcanzó un total de **42 pedidos** durante el mismo periodo de simulación. Esto representa un incremento aproximado del **23.5% en la cantidad de pedidos atendidos**, evidenciando una mejora en la capacidad operativa del sistema.

Por otro lado, en cuanto al tiempo de surtido, el sistema actual registró un tiempo promedio de **1079 minutos por pedido (17.98 horas)**, mientras que el sistema propuesto presentó un tiempo promedio de **852 minutos por pedido (14.20 horas)**. Esta diferencia corresponde a una reducción aproximada del **21% en el tiempo de surtido**.

La **Tabla 12** presenta una comparación general entre los principales indicadores operativos del sistema real, el modelo actual desarrollado en ProModel® y la propuesta de mejora.

Tabla 12. Comparación de indicadores entre el sistema real, el modelo actual y la propuesta de mejora.

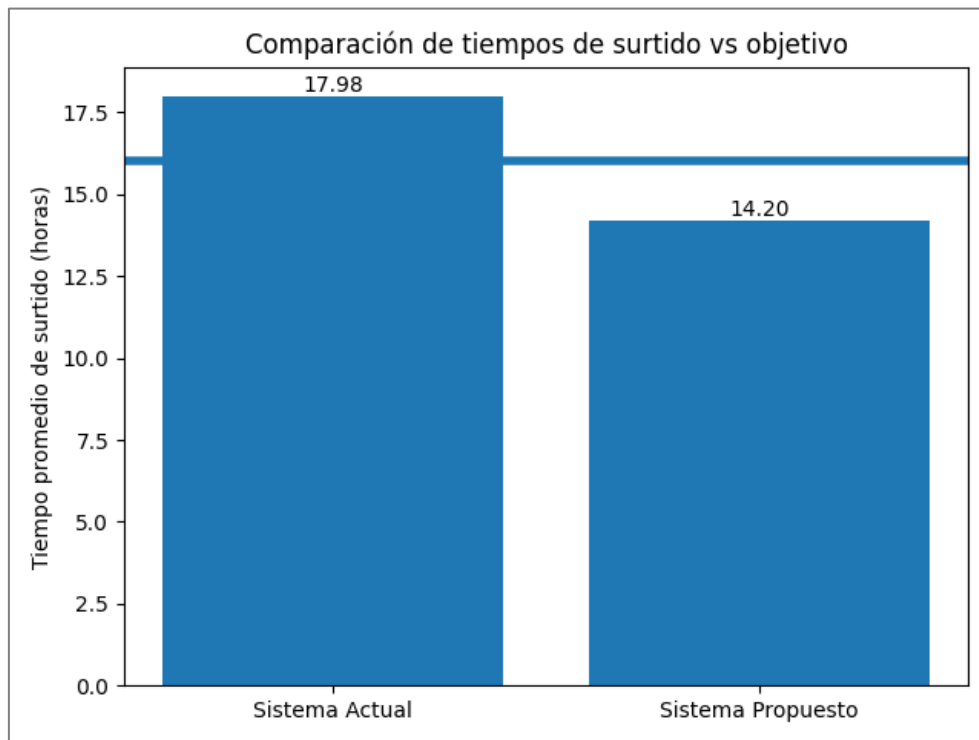
Indicador	Sistema real	Modelo actual ProModel®	Propuesta ProModel®	Comportamiento esperado	Resultado
Pedidos surtidos por semana	36 pedidos	34 pedidos	42 pedidos	Incrementar	Mejora
Tiempo promedio de surtido	18 h aprox.	17.98 h	14.20 h	Disminuir	Reducción del 21 %
Cumplimiento respecto al tiempo objetivo de 16 h	12.4 % por encima del objetivo	12.4 % por encima del objetivo	11.3 % por debajo del objetivo	Incrementar cumplimiento	Mejora
Tonelaje surtido	Superior a 20 toneladas por pedido	Similar al sistema real	Similar al sistema real	Mantener condiciones operativas reales	Cumple

Nota: Elaboración propia con base en datos históricos del CEDIS y resultados obtenidos mediante simulación en ProModel®.

Los resultados muestran que el modelo actual reproduce de manera aceptable las condiciones reales de operación, particularmente en la cantidad de pedidos atendidos, el tonelaje surtido y el tiempo promedio de operación, validando la confiabilidad del modelo de simulación desarrollado.

La **Figura 34** muestra la comparación del tiempo promedio de surtido para ambos escenarios, así como el tiempo objetivo establecido para pedidos tipo tráiler.

Figura 34. Comparación del tiempo promedio de surtido respecto al objetivo operativo.



Nota: Elaboración propia. La línea horizontal representa el tiempo objetivo de surtido para pedidos tipo tráiler (16 horas).

Como se puede observar, los pedidos generados por el modelo del sistema actual presentan niveles de tonelaje que corresponden principalmente a unidades tipo tráiler. De acuerdo con lo establecido previamente, este tipo de pedidos tiene un tiempo objetivo de surtido de 16 horas. Sin embargo, a partir de los resultados obtenidos en la simulación, se identifica que el tiempo promedio de atención es de **17.98 horas** por pedido, superando dicho valor objetivo aproximadamente en un **12.4 %**.

Esta diferencia indica que, aunque los pedidos son atendidos en su totalidad, el sistema no cumple con los tiempos establecidos operativamente, lo cual se traduce en un bajo nivel de cumplimiento en tiempo. Es decir, el problema no radica en la capacidad de surtido, sino en la eficiencia con la que se realizan las operaciones dentro del almacén.

En contraste, el sistema propuesto presenta un tiempo promedio **de 14.20 horas por pedido**, valor que se encuentra aproximadamente un **11.3 % por debajo** del tiempo objetivo para pedidos tipo tráiler. Esto implica que, bajo la nueva configuración del layout, el sistema no solo logra atender los pedidos, sino que lo hace dentro del tiempo esperado, mejorando directamente el indicador de cumplimiento en tiempo.

Este resultado es consistente con lo planteado en el apartado 4.7.2, donde se estableció que el cumplimiento en tiempo es el indicador clave susceptible de mejora mediante la optimización del layout. La reducción en los tiempos de surtido se explica por la disminución de recorridos, la eliminación de interferencias operativas y una mejor organización de las áreas de picking y almacenamiento.

Aunque el modelo de simulación no contempla un indicador específico de distancia recorrida por los operarios, la reducción observada en los tiempos promedio de surtido y el incremento en la cantidad de pedidos atendidos permiten inferir una disminución en los recorridos y movimientos innecesarios dentro del almacén. Esto se relaciona directamente con la reorganización del layout y la ubicación estratégica de productos de mayor rotación en zonas más cercanas al área de surtido, favoreciendo un flujo operativo más eficiente.

Asimismo, el hecho de que el sistema propuesto opere por debajo del tiempo objetivo no solo mejora el nivel de cumplimiento, sino que también permite incrementar la cantidad de pedidos procesados dentro del mismo periodo de operación, lo cual se refleja en el aumento de pedidos atendidos en la simulación.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que la propuesta de mejora tiene un impacto positivo en el desempeño del sistema, mejorando tanto la eficiencia en los tiempos de surtido como la capacidad operativa del Centro de Distribución, cumpliendo con los objetivos planteados en la presente investigación.

7.6 Viabilidad operativa de la propuesta.

La propuesta de mejora desarrollada en el presente estudio presenta una alta viabilidad operativa, ya que se basa en la reorganización del layout existente del Centro de Distribución, sin requerir modificaciones estructurales, ampliaciones de espacio ni la incorporación de nuevos equipos o tecnologías.

A diferencia de otras alternativas de mejora que implican inversiones significativas, la propuesta planteada se enfoca en el aprovechamiento más eficiente de los recursos actuales, particularmente en la redistribución de las áreas de almacenamiento y surtido, así como en la reducción de recorridos y la eliminación de interferencias operativas. Sin generar una inversión económica considerable.

Desde el punto de vista operativo, la implementación del nuevo layout no modifica la lógica de funcionamiento del sistema, ya que se mantienen los mismos procesos operativos. Esto facilita su adopción, debido a que no requiere cambios en los procedimientos establecidos ni capacitación adicional significativa para el personal operativo.

Asimismo, los resultados obtenidos en la simulación demuestran que la propuesta no solo es viable, sino que genera mejoras en el desempeño del sistema, permitiendo incrementar la cantidad de pedidos atendidos y reducir los tiempos de surtido, cumpliendo con los objetivos operativos establecidos.

En este sentido, la propuesta puede ser implementada en condiciones reales con un bajo nivel de complejidad, ya que únicamente implica la reorganización física de las ubicaciones dentro del almacén y una adecuada planificación de la redistribución del inventario.

Por lo tanto, se concluye que la propuesta desarrollada es operativamente viable, al no requerir inversión adicional y al ofrecer beneficios directos en la eficiencia del sistema, lo que la convierte en una alternativa factible para su implementación en el Centro de Distribución.

CONCLUSIONES.

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar y mejorar el desempeño operativo del Centro de Distribución mediante la propuesta de reorganización de su layout, partiendo de las problemáticas identificadas en el sistema actual.

En el diagnóstico inicial se identificaron diversas limitaciones operativas, entre las que destacan los recorridos extensos durante el surtido de pedidos, la dispersión de productos dentro del almacén, la saturación de espacios y la interferencia entre actividades de almacenamiento y picking. Estas condiciones impactaban directamente en los tiempos de surtido, provocando un bajo nivel de cumplimiento en los tiempos objetivo establecidos por la operación.

Con el fin de evaluar estas problemáticas, se desarrolló un modelo de simulación del sistema actual utilizando ProModel®, el cual permitió representar el comportamiento del proceso de surtido bajo condiciones reales de operación. A partir de este modelo, se obtuvieron indicadores clave como el número de pedidos atendidos y el tiempo promedio de surtido, los cuales reflejaron el desempeño del sistema bajo su configuración actual.

Posteriormente, se planteó una propuesta de mejora basada en la reorganización del layout, enfocada principalmente en la concentración de las actividades de picking en las naves más cercanas al área de embarques, así como en la redistribución de las zonas de almacenamiento. Esta propuesta fue evaluada mediante un segundo modelo de simulación, manteniendo las mismas condiciones operativas para asegurar la comparabilidad de los resultados.

Los resultados obtenidos evidencian que la propuesta permite mejorar el desempeño del sistema, logrando incrementar la cantidad de pedidos atendidos de 34 a 42 por periodo de simulación, lo que representa un aumento aproximado del **23.5%**. Asimismo, se obtuvo una

reducción en el tiempo promedio de surtido de 17.98 horas a 14.20 horas por pedido, equivalente a una disminución cercana al **21.0%**. Esta mejora permite cumplir con el tiempo objetivo establecido para pedidos tipo tráiler, lo cual representa un avance importante en términos de eficiencia operativa.

Adicionalmente, es importante destacar que la propuesta desarrollada no requiere inversión en infraestructura ni en la adquisición de nuevos equipos, ya que se basa únicamente en la reorganización del layout existente. Esto convierte a la propuesta en una alternativa viable y económicamente factible para su implementación en el Centro de Distribución.

En este sentido, se concluye que la propuesta de reorganización del layout constituye una alternativa efectiva para atender las problemáticas identificadas en el sistema actual, mejorando tanto la eficiencia del proceso de surtido como la capacidad operativa del Centro de Distribución.

Limitaciones del estudio.

La presente investigación se enfocó en el análisis y evaluación del proceso de surtido dentro del Centro de Distribución mediante simulación en ProModel®, por lo que los resultados obtenidos corresponden a escenarios simulados y no a una implementación física del layout propuesto dentro de la operación real.

Asimismo, el alcance del estudio se centró en la reorganización operativa del almacén y la evaluación de indicadores relacionados con tiempos de surtido, cumplimiento en tiempo y capacidad operativa, sin desarrollar un modelo detallado de slotting o asignación matemática de capacidades por producto. La definición de capacidades y distribución de materiales se realizó con base en criterios operativos, restricciones físicas existentes y conocimiento del funcionamiento real del CEDIS.

De igual manera, el estudio no contempla la incorporación de tecnologías adicionales, como sistemas WMS, automatización o modificaciones estructurales dentro del almacén, debido a que el objetivo principal consistió en evaluar el impacto operativo de una propuesta de reorganización del layout utilizando los recursos físicos existentes.

Finalmente, los resultados obtenidos dependen de las condiciones operativas y de demanda analizadas durante el periodo de estudio, por lo que cambios significativos en el comportamiento de la operación podrían requerir ajustes futuros en la configuración del sistema.

RECOMENDACIONES.

Como parte de las acciones a futuro, se recomienda la implementación de un sistema de gestión de almacenes (WMS), el cual permita mejorar el control del inventario, optimizar la asignación de ubicaciones y facilitar la gestión de las operaciones de surtido.

Asimismo, se sugiere evaluar mejoras en las instalaciones y herramientas de trabajo del Centro de Distribución, tales como adecuaciones en las áreas operativas, señalización, equipos de manejo de materiales y condiciones ergonómicas, con el fin de complementar la propuesta de layout y continuar incrementando la eficiencia del sistema.

Finalmente, se recomienda dar seguimiento a la implementación de la propuesta mediante indicadores de desempeño, con el objetivo de monitorear su impacto en condiciones reales y detectar oportunidades adicionales de mejora.

BIBLIOGRAFÍA.

Azarang, M. R., & García Dunna, E. (1996). *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. McGraw-Hill.

Ballou, R. H. (2004). *Logística: administración de la cadena de suministro* (5.^a ed.). Pearson Educación.

Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & distribution science* (Release 0.98). The Supply Chain and Logistics Institute. <https://www.warehouse-science.com/>

Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2007). *Supply chain logistics management* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Boysen, N., de Koster, R., & Weidinger, F. (2019). Warehousing in the e-commerce era: A survey. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 396–411. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.023>

Coss Bu, R. (2003). *Simulación: un enfoque práctico*. Limusa.

Díaz, J., Caballero-Hernández, J. A., & Rodríguez-González, A. Y. (2024). Variable neighbourhood search for minimization of operation costs in warehouse layout design. *Journal of Logic and Algebraic Programming*, 32(4), 688–705. <https://doi.org/10.1093/jigpal/jzae012>

Emmett, S. (2021). *Excellence in warehouse management* (3rd ed.). Wiley.

Flores, B. E., Olson, D. L., & Dorai, V. K. (1992). Management of multicriteria inventory classification. *Mathematical and Computer Modelling*, 16(12), 71–82. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(92\)90021-C](https://doi.org/10.1016/0895-7177(92)90021-C)

Frazelle, E. (2002). *World-class warehousing and material handling*. McGraw-Hill.

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031>

Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (12th ed.). Pearson.

Hu, X., Guo, P., & Lim, A. (2023). E-commerce warehouse layout optimization: Systematic layout planning and genetic algorithm approach. *Electronic Commerce Research*, 23(1), 327–356. <https://doi.org/10.1007/s10660-021-09521-9>

Ivanov, D. (2020). Predicting the impacts of epidemic outbreaks on supply chains. *Transportation Research Part E*, 136, 101922. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101922>

Kaizen Institute. (s. f.). *Producción: diseño de línea y layout*. <https://kaizen.com/es/insights-es/produccion-diseno-linea-layout/>

Khumprom, P., Kongkaew, W., Yaacoub, A., & Thanawitsatien, N. (2025). Validating warehouse picking strategies using simulation: Case study of a plumbing equipment firm. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2511.08928>

Law, A. M. (2015). *Simulation modeling and analysis* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.

Looms, T., & Xie, L. (2025). CPU-based layout design for picker-to-parts pallet warehouses. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2506.04266>

Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.

ProModel Corporation. (s. f.). *ProModel user guide: Routing, nodes and connectors*. <https://www.promodel.com/onlinehelp/ProModel/>

Richards, G. (2018). *Warehouse management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse* (2nd ed.). Kogan Page.

Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G., Mantel, R., & Zijm, W. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515–533. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00020-X)

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The handbook of logistics and distribution management* (6th ed.). Kogan Page.

Shannon, R. E. (2009). *Systems simulation: The art and science*. Prentice Hall.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (4th ed.). Wiley.

Zhang, H., Guo, Z., Cai, H., Wang, C., Zhang, W., Yu, Y., Li, W., & Wang, J. (2018). Layout design for intelligent warehouse by evolution with fitness approximation. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1811.05685>

Kroemer, K. H. E., & Grandjean, E. (2001). *Fitting the task to the human: A textbook of occupational ergonomics* (5th ed.). Taylor & Francis.