

**REDISEÑO DE LOS PROCESOS DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN
COLOMBIA PARA PROQUINAL S.A. BASADO EN CONCEPTOS Y
TÉCNICAS PROPIAS DE LA GERENCIA DE OPERACIONES**

ING. BRYAN MORENO GUALTERO

**Universidad de La Sabana
Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas
Chía, Colombia
2.023**

**REDISEÑO DE LOS PROCESOS DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN
COLOMBIA PARA PROQUINAL S.A. BASADO EN CONCEPTOS Y
TÉCNICAS PROPIAS DE LA GERENCIA DE OPERACIONES**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de

MAGÍSTER EN GERENCIA DE OPERACIONES
(Modalidad de Profundización)

ING. BRYAN MORENO GUALTERO

Director

Dr. CARLOS QUINTERO ARAÚJO

Universidad de La Sabana

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas

Chía, Colombia

2.023

DEDICATORIA

*A Dios, por darme la oportunidad de llegar
hasta donde he llegado en esta carrera, a
Doña Luz Mery Gualtero Murcia, mi madre,
por un sinfín de sacrificios realizados en su
vida para poder destacarme en la mía, a mi
hijo Alejandro, mi familia y amigos que
siempre han estado en todos los momentos, en
especial a mi amigo Carlos Devia Torres que
me acompaña desde los cielos.*

AGRADECIMIENTOS

Especiales agradecimientos al director de Especializaciones de Gerencia Logística, Producción y Operaciones de la Universidad de la Sabana MBA. Luis Fernando Silva Mateus por su mentoría en estos años y quién aportó al desarrollo personal y profesional de mi persona, al Dr. Carlos Quintero Araújo por sus conocimientos, apoyo y paciencia en el desarrollo de esta tesis, al Dr. Alexander Moreno Diaz quién es mi líder profesional y quién me dio la oportunidad de desarrollar este trabajo en Proquinal S.A., a la Universidad de la Sabana por brindarme la oportunidad de cursar estudios de Especialización y Maestría.

Resumen:

El presente trabajo de grado está enmarcado en el uso de técnicas y herramientas de la Gerencia de Operaciones aplicado a los procesos de un centro de distribución del sector textil-manufacturero en Latinoamérica, Colombia, Bogotá D.C. Como metodología se optó por dividir la operación general del centro de distribución en cuatro procesos: Recepción, Almacenamiento, Alistamiento y Despacho. Como hallazgos principales se identifica la ausencia de modelos cualitativos y cuantitativos en la organización para realizar la toma de decisiones de manera eficiente. En el presente trabajo se detallan propuestas, modelos y una simulación en función del rediseño operacional, todas las anteriores enfocadas a generar valor a la organización por medio de propuestas que brindan visibilidad del estado de los procesos (Indicadores Clave de Desempeño).

Palabras clave: Rollos de tela; Rediseño de procesos; Centro de Distribución; Almacenamiento; Gerencia de Operaciones; Telas Vinílicas.

Abstract:

This master's project is framed in the use of techniques and tools of Operations Management applied to the process of a Distribution Center of the manufacturing textile sector in Latin America, Colombia, Bogotá D.C. How methodology was chosen to divide the general operation of the Distribution Center in 4 processes: Reception, Storage, Preparation and Dispatch. The main findings identified the absence of qualitative and quantitative models in the organization for efficient decision making. This paper details proposals, models and a simulation based on operational redesign, all focused on generating value to the organization through proposals that provide visibility of the status of the processes (Key Performance Indicators).

Key words: Fabrics Rolls; Process Redesign; Distribution Center; Warehousing, Operations Management; Coated Fabrics.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDO.....	vi
LISTA DE TABLA.....	vii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	viii
GLOSARIO	x
ACRÓNIMOS.....	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTADO DEL ARTE.....	7
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3.1. Aspectos de rediseño operacional:.....	13
3.2. Pregunta de investigación.....	20
3.3. Objetivos.....	20
3.3.1. Objetivo general.....	20
3.3.2. Objetivos específicos	21
3.4. Justificación y alcance	21
3.5. Organización del documento.....	22
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	25
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS.....	105
ANEXOS	110
• Anexo1:	110
• Anexo2:	110
• Anexo3:	110

LISTA DE TABLA

Tabla 1 Indicadores actuales CEDI Colombia – Proquinal S.A.	15
Tabla 2 Estudio propio de costos promedio de adquisición WMS SaaS	37
Tabla 3 Distribución de Frecuencias de SKU's vs Metros Lineales	47
Tabla 4 Distribución de Frecuencias de SKU's vs Kilogramos.....	47
Tabla 5 Clases de Metros y Kilogramos	48
Tabla 6 Estudio de Productividad- Operario 1.....	49
Tabla 7 Estudio de Productividad-Operario 2.....	50
Tabla 8 Datos de manipulación de peso.....	51
Tabla 9 Datos de productividad de un operario de Recepción en el mes de Marzo 2.022	55
Tabla 10 Datos totales del proceso de Recepción de Marzo 2.022.....	58
Tabla 11 Cálculos de Desviación Estándar para gráfico XS.....	59
Tabla 12 Cálculos de Medias para gráfico XS.....	60
Tabla 13 Estudio de capacidad por pallet	70
Tabla 14 Aplicación del modelo de almacenamiento propuesto (General CEDI)	78
Tabla 15 Aplicación del modelo de almacenamiento propuesto (Por ubicaciones).....	79
Tabla 16 Tabla Pronóstico de Ventas (Metros Lineales)	80
Tabla 17 Pronóstico de ventas en rollos equivalentes.....	80
Tabla 18 Pronóstico de Ventas en Rollos de Pranna Equivalentes	81
Tabla 19 Cantidad de pallets necesarios para cubrir el pronóstico de ventas	82
Tabla 20 Ejemplo de programación de ERI Cíclico	83
Tabla 21 Indicador OTIF propuesto.....	89
Tabla 22 Cálculo de Backorder para Abril de 2.022.....	90
Tabla 23 Simulación Montecarlo - Escenario 1	96
Tabla 24 Simulación Montecarlo - Escenario 2.....	98
Tabla 25 Simulación Montecarlo - Escenario 3.....	100

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proyecto Espacio Público	2
Ilustración 2. Proyecto Exteriores.....	3
Ilustración 3. Proyecto Tapicería Automotriz.....	3
Ilustración 4. Proyecto Espacios Exteriores Fácil Limpieza.....	4
Ilustración 5. Proyecto Espacios Exteriores Wanda Stadium	4
Ilustración 6. Tendencia de investigaciones año a año relacionadas con “Warehouse Process”	8
Ilustración 7. Plano de Referencia CEDI Colombia	16
Ilustración 8. Estibador Eléctrico Convencional Pallet Sencillo.....	17
Ilustración 9. Personal Digital Assistant (PDA) - Radiofrecuencia Convencional Bar Code.....	17
Ilustración 10. Impresora Matricial de Punto Para Forma Continua.....	18
Ilustración 11. Escalera Tipo Avión	18
Ilustración 12. Pallet Metálico Para PT (Naranja y Amarillo).....	19
Ilustración 13. Imagen de referencia ambiente de sistema WMS Oracle-In House.....	19
Ilustración 14. High Level Process Map - Operación CEDI Colombia.....	25
Ilustración 15. Toma de tiempo de recepción de un mes	27
Ilustración 16. Imagen de referencia de recepción de rollos en CEDI Colombia	27
Ilustración 17. Proceso de selección de rollos sistema WMS Oracle In house.....	30
Ilustración 18: Cuadrante Mágico de Gartner para Warehouse Management Systems (WMS).....	32
Ilustración 19: Imágenes de referencia de QRC	39
Ilustración 20: Imagen de Funcionamiento Básico de Sistema RFID	40
Ilustración 21: Rollos de tela con TAG's RFID	41
Ilustración 22. Spaghetti Chart flujo operacional actual CEDI Colombia en único horario de 7 am a 5 pm.	42
Ilustración 23. Spaghetti Chart de la propuesta para la operación de Exportación en un horario exclusivo.	43
Ilustración 24: Nomenclatura actual de ubicaciones CEDI Colombia (Vista en Planta).....	44
Ilustración 25: Nomenclatura actual de ubicaciones CEDI Colombia (Vista Frontal)	45
Ilustración 26 Resultado Anova Unifactorial - R Studio	53
Ilustración 27 Gráfico de comportamiento de productividad en Recepción.....	56
Ilustración 28 Gráfico de Desviaciones	60
Ilustración 29 Gráfico de Medias.....	61
Ilustración 30 Gráfico de Medias con Límites de Especificación.....	62
Ilustración 31 Imagen de referencia de producto almacenado en un pallet (Vista Frontal).....	63
Ilustración 32 Imagen de Referencia de almacenamiento CEDI Colombia (Vista Frontal)	63
Ilustración 33 Modelo de Almacenamiento Propuesto	64
Ilustración 34 Modelo de Almacenamiento ABC.....	65
Ilustración 35 Secuencia de almacenamiento de rollos con estrategia FIFO	66
Ilustración 36 Almacenamiento a 3 niveles sin FIFO.....	67
Ilustración 37 Propuesta de ajuste FIFO	68
Ilustración 38 Punto de Reorden propuesta FIFO.....	69

Ilustración 39 Ejecución de Reabastecimiento con propuesta FIFO	69
Ilustración 40 Ejemplo de cantidad de rollos en un pallet (Diámetro de 21 a 23 centímetros)	71
Ilustración 41 Modelo de Equivalencias	72
Ilustración 42 Ejemplo 1 modelo de equivalencias, pallets llenos.....	73
Ilustración 43 Imagen de un pallet lleno de Pranna	74
Ilustración 44 Imagen de rollos de equivalencias	75
Ilustración 45 Comprobación gráfica de funcionalidad del modelo propuesto	75
Ilustración 46 Comprobación 2 de funcionalidad del modelo	77
Ilustración 47 Distribución de datos de Recepción.....	93
Ilustración 48 Distribución de datos de Alistamiento.....	94
Ilustración 49 Gráfico Simulación Almacenamiento - Escenario 1	97
Ilustración 50 Gráfico Simulación Almacenamiento - Escenario 2.....	99
Ilustración 51 Gráfico Simulación Almacenamiento - Escenario 3.....	101

GLOSARIO

Término	Significado
HLPM	Sigla que corresponde a High Level Process Map, el mapa de procesos de alto nivel muestra el funcionamiento de un proceso en pocos pasos. El principal objetivo es brindar una visión rápida y sencilla de lo que se hace en proceso sin entrar en detalles de como se hace. Esto es útil cuando se quiere mostrar un proceso específico a personas que no conocen sobre el mismo o similares pero que es altamente relevante que puedan percibir el funcionamiento general del mismo.
Poka Yoke	Término Japonés que significa “ <i>A prueba de fallas</i> ” / “ <i>A prueba de errores</i> ”, este término se atribuye a una técnica que busca diseñar procesos de manera que los humanos o máquinas no puedan cometer equivocaciones.
Spaghetti Chart	El Diagrama de Spaghetti (Spaghetti Chart) es la representación del flujo físico de materiales, personas o información en el espacio y momento en el que se ejecuta el proceso a estudiar. Sobre un plano se ilustran todos los movimientos que se producen. Permite eliminar los innecesarios y cambiar la configuración del contexto para recortar las distancias recorridas, mejorar los tiempos de respuesta, reducir los riesgos de accidente o mejorar el aprovisionamiento, entre otras medidas.
Unidad Tipo	Unidad que se selecciona como patrón operacional, es decir, todas las demás referencias se transformarán equivalentemente a esta unidad para hablar en función de un solo término.

ACRÓNIMOS

Abreviatura	Significado
ABC	Método de clasificación de inventarios tipo ABC
B2B	Business to Business
CEDI	Centro de Distribución
DSS	Decision Support System
FIFO	First In, First Out
HLPM	High Level Process Map
PEPS	Primero en entrar, Primero en Salir
PT	Producto Terminado
ROI	Return Of Investment
WMS	Warehouse Management System
3PL	Third Party Logistics

1. INTRODUCCIÓN

La crisis mundial generada por el COVID-19, el conflicto entre Rusia y Ucrania y las tendencias del mundo han tenido como consecuencia un impacto general en las operaciones pertenecientes a la cadena de suministro, lo que provocó en algunos casos su rotura, expansión o desarrollo al interior de las organizaciones a nivel global (Locke, et al., 2023; Cui, et al., 2023).

Las cadenas de suministro se vieron afectadas debido al cierre total y parcial de las fronteras entre países de todo el mundo, esto obligó a la mayoría de las organizaciones a cambiar su modo de pensar, gerenciar, administrar y consecuentemente a operar diferente, es decir, modificar las estrategias de abastecimiento, recepción de pedidos, manufactura - producción, almacenamiento, alistamiento, transporte y distribución (Locke, et al., 2023; Cui, et al., 2023). Una de las partes de la cadena de suministro es el centro de distribución, que es un punto clave dentro de las organizaciones, de cara a la generación de valor para los clientes y para las mismas, en otras palabras, el centro de distribución como su nombre lo indica, es la parte de las compañías que se encarga de gestionar la entrega de pedidos completos y a tiempo a los diferentes clientes, al completarse esta operación los clientes procederán a pagar los valores económicos pactados por el bien o servicio. Por lo anterior se puede afirmar que una inadecuada gestión en un centro de distribución puede resultar en una afectación grave a las empresas en cuanto al flujo de caja (ingreso de dinero por las ventas) y la insatisfacción de los clientes (pérdida de clientes), de ahí la relevancia práctica y académica que tienen los centros de distribución y las cadenas de suministro en la Gerencia de Operaciones (Anupama & Anusha, 2023).

Uno de los centros de distribución del sector textil-manufacturero más importante de Colombia e Hispanoamérica corresponde a la organización Proquinal S.A.. Esta organización es una multinacional colombiana fundada el 14 de febrero de 1.959 en Bogotá D.C., sus principales operaciones están enmarcadas en la fabricación y distribución de telas recubiertas con vinilo PVC para diferentes industrias en un modelo B2B (Business to Business), es decir, no comercializa productos a consumidor o cliente final. Proquinal S.A. hace parte de un holding empresarial denominado Spradling Group Inc. con presencia en más de 70 países en el mundo. Dentro de las

líneas de productos que maneja Proquinal S.A. se encuentran: telas vinílicas (Recubrimientos para muebles o enseres en: colegios, universidades, hoteles, oficinas, residencias, restaurantes, hospitales, etc.), telas impermeables y náuticas (Recubrimientos especiales para botes, yates, barcos y vestidos impermeables), telas para calzado y marroquinería, tapicería automotriz y transporte (Carros, motocicletas, pisos, etc.), telas para trajes de bioseguridad, pisos de alta resistencia, desarrollos especiales entre otras.

A continuación, se presentan algunos de los proyectos de Proquinal S.A. y Spradling Group en el mundo:



Banquillos del Arena Fiserv Forum

< Ver más creaciones

f t in

Descripción

Valencia™ fue la elegida para tapizar las butacas del Arena Fiserv Forum en Milwaukee, Wisconsin Estados Unidos.

Ciente: Figueras

Sector: Espacios Públicos, Contract

Pais: United States

Ilustración 1. Proyecto Espacio Público



< Ver más creaciones

f t in

Descripción

Un proyecto realizado por el equipo de Spradling® LATAM hace que las telas de la empresa se continúen consolidando en el segmento de tapicería marina.

Ciente: Tutto a Bordo

Sector: Exteriores, Telas impermeables y náuticas

Ilustración 2. Proyecto Exteriores



< Ver más creaciones

f t in

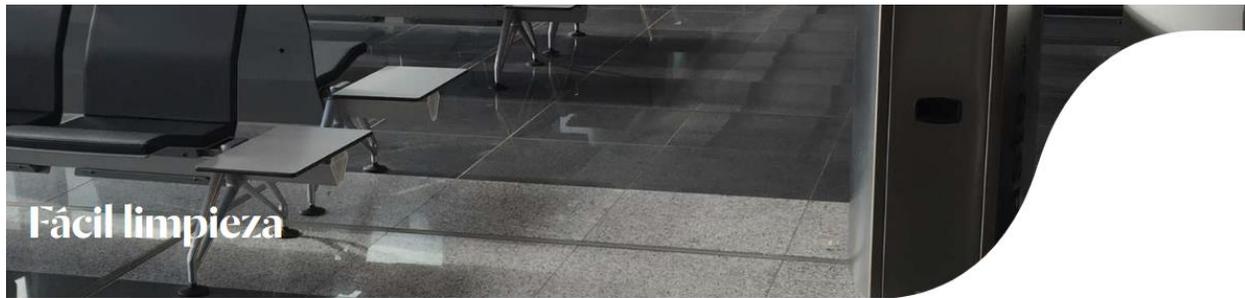
Descripción

En las sillas de los automóviles es importante generar la sensación de confort y lujo, a través de nuestro producto Vinilcuero con apariencia tipo cuero pudimos lograrlo.

Ciente: GMC

Sector: Autos, Tapicería automotriz y transporte

Ilustración 3. Proyecto Tapicería Automotriz



< Ver más creaciones



Descripción

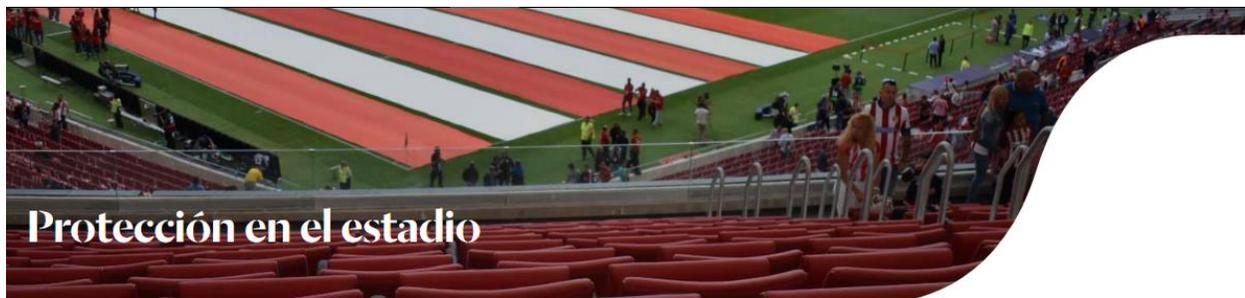
Nuestro producto Valencia fue utilizado en las sillas de este aeropuerto. Gracias a los atributos de Valencia, impermeabilidad y fácil limpieza, resulta ideal para estos espacios de alto tráfico.

Cliente: Aeropuerto Estambul

Sector: Espacios Públicos, Contract

País: Turkey

Ilustración 4. Proyecto Espacios Exteriores Fácil Limpieza



< Ver más creaciones



Descripción

Para este proyecto utilizamos nuestro producto Marlin creando un color personalizado acorde al ambiente del estadio. Nuestro material, útil para ambientes outdoor y protegido con la tecnología Permaguard, es resistente a las manchas, por lo que resultó ideal para este lugar.

Cliente: Estadio Metropolitano Wanda / Madrid

Sector: Espacios Públicos, Contract

País: Spain

Ilustración 5. Proyecto Espacios Exteriores Wanda Stadium

Fuente: <https://spradling.group/es-la/proyectos>

El proceso de fabricación de telas vinílicas se encuentra basado en la aplicación de PVC de diferentes colores y tonalidades a una tela previamente producida. Esta tela es procesada por rodillos en las máquinas generadoras donde se produce el secado y adhesión del PVC. Una vez finalizado el proceso la tela es enrollada en tubos de cartón (llamados también “Core”) y son recubiertos con papel-cartulina o plástico como empaque final considerándose en esta etapa como producto terminado. Los rollos terminados pueden tener diámetros desde los 12 cm hasta los 26 centímetros, con pesos desde los 40 kilogramos hasta los 72 kilogramos y su largo en su gran mayoría se encuentra sobre los 140 centímetros. El principal uso de la tela vinílica es el recubrimiento de superficies para dar un aspecto nuevo, adicionalmente este recubrimiento puede tener tecnología con el fin de resistir a la abrasión, los microorganismos, la luz ultravioleta, la humedad, etc.

Sus ventas promedio anual se encuentran en el orden de 85 millones de dólares (2.022) y sus principales competidores a nivel mundial son: Morbern, Ultrafabrics, Omnova Solutions, Serge Ferrari, Maclin, Cipatex, Caími y Plástiquímica (Ahora Nuvant).

Como se mencionó anteriormente, el centro de distribución más importante de Proquinal S.A. en flujo de despacho de productos terminados es el CEDI Colombia el cual se encuentra ubicado en la Cr 38 # 12-34 en el barrio Pensilvania de la localidad de Puente Aranda de la ciudad de Bogotá D.C. Tiene un área aproximada de 8.000 m², 18 pasillos con estantería de paso, selectiva y pallets para sistema de apilamiento que en conjunto superan las 2.000 posiciones a 3 niveles de altura, 3 muelles mixtos (Inbound y Outbound) con entregas promedio de 1.800 metros/año (Corresponde al 70% del total de los despachos de la compañía) los cuales corresponden a 66% a distribución nacional (33% Bogotá y 33% Resto de Colombia) y el 34% a distribución internacional. En términos generales este CEDI tiene procesos concernientes con el flujo de productos terminados tales como: recepción, almacenamiento, control de inventario, alistamiento, cargue, despacho y distribución.

Es necesario mencionar que las organizaciones a nivel mundial no se encontraban preparadas para afrontar una disrupción en sus operaciones y específicamente en su cadena de suministro (Donthu,

2020), con base en ello, el centro de distribución Colombia de Proquinal S.A. no fue ajeno a la disrupción ocasionada por el COVID-19, de ahí la relevancia de realizar una mejora en los procesos actuales para afrontar de una mejor manera los cambios a los que el mundo estará sometido en el futuro y a la misma vez poder soportar el crecimiento en las ventas que la organización propone.

Con lo anterior en mente, el siguiente trabajo de grado se basa en la aplicación de los conceptos y técnicas aprendidas en la Maestría en Gerencia de Operaciones de la Universidad de la Sabana a un problema real en el centro de distribución Colombia de Proquinal S.A. relacionado con sus procesos actuales. Para ello, se inicia por el estado del arte donde se identificó tendencias en temas de investigación en diferentes aspectos: modelación, control, implementación tecnológica, simulación, etc. que fueron base para alinear los aportes de este trabajo a la industria textil en general. Paso seguido se realizaron estudios base que permitieron detallar puntos de mejora en el proceso y se plantean mejoras innovadoras en el sector textil-manufacturero con base en el estado del arte y desplegadas mediante el uso de conceptos y técnicas propias de la Gerencia de Operaciones.

A lo largo de este trabajo se podrán apreciar propuestas de uso y adaptación de herramientas como el Spaghetti Chart, High Level Process Map, Statistical Process Control, Design Of Experiments, simulación Montecarlo y estudio de tiempos y movimientos, etc. a los procesos reales de una parte de la cadena de suministro y específicamente al centro de distribución Colombia de Proquinal S.A. Como resultado se obtuvo un rediseño de los cuatro procesos clave del centro de distribución: Recepción, Almacenamiento, Alistamiento y Despacho lo que se traducen en ahorros estimados entre 100 y 130 millones mensuales.

2. ESTADO DEL ARTE

Para efectos de la revisión de la literatura de este trabajo se usaron palabras clave indexadas en Scopus: *Redesign Process*, *Operations Management*, *Warehousing Process*, *Distribution Center*, *Coated Fabrics* y *Textile Industry*. En la búsqueda ejecutada se emplearon las siguientes combinaciones:

Redesign Process AND Operations Management AND Distribution Center AND Textile Industry
Redesign Process OR Operations Management OR Distribution Center OR Textile Industry.

De dichas combinaciones se obtuvieron limitados resultados lo que dio lugar a tener que modificar la palabra clave *Textile Industry* por *Coated Fabrics* y se obtuvieron resultados similares. Lo anterior sugiere que existe un oportunidad para realizar aportes de investigación específicamente en el rediseño de procesos de centros de distribución del sector textil-manufacturero usando conceptos y técnicas propias de la gerencia de operaciones. Debido a los limitados resultados frente al uso de la combinación total de las palabras clave, fue necesario refinar la investigación mediante búsquedas parciales y uso de diferentes combinaciones de estas, donde se obtuvieron las fuentes que más adelante se detallan.

Como parte del refinamiento, se ejecutó una búsqueda simple en Scopus donde se obtuvieron 87 documentos relacionados con “Warehouse Process”, lo anterior muestra un promedio aproximado de 9 documentos por año desde 2.014 y desde entonces la cantidad de documentos incrementa (Ver Ilustración 6). Por lo anterior es evidente que los temas relacionados con centros de distribución, almacenes y sus procesos asociados son relevantes para la investigación mundial en la actualidad.

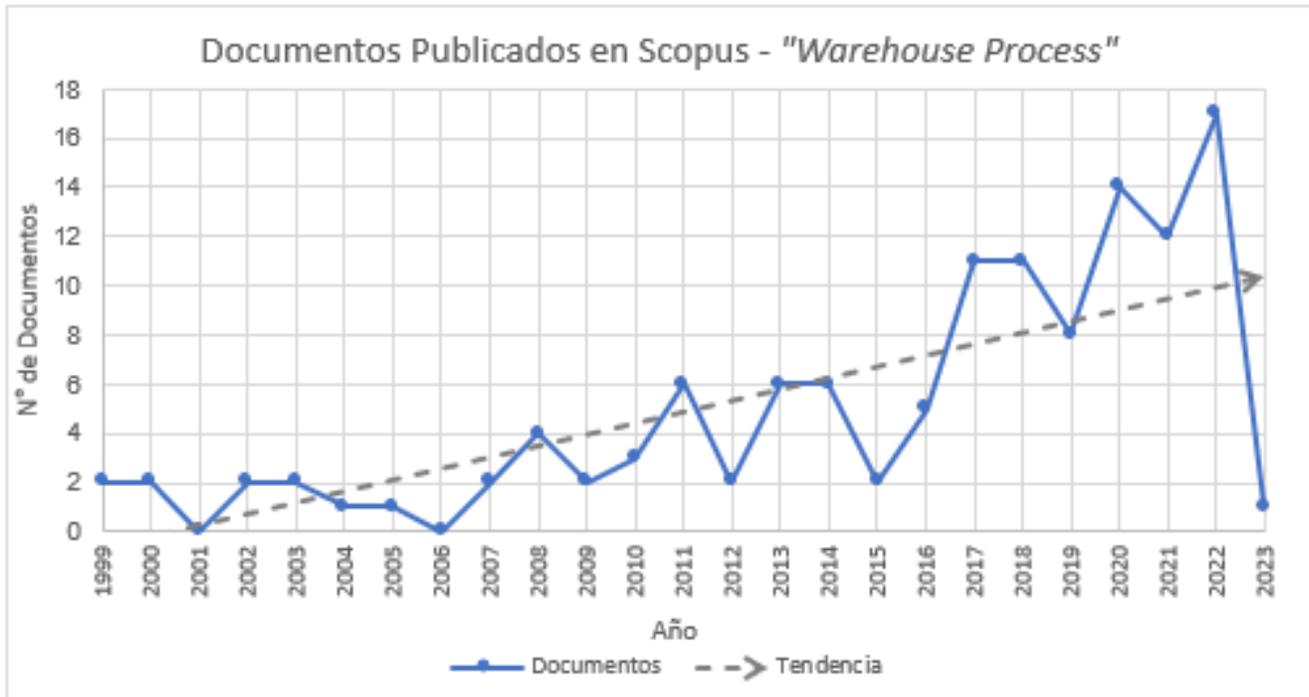


Ilustración 6. Tendencia de investigaciones año a año relacionadas con "Warehouse Process"

Retomando lo mencionado anteriormente, siguen incrementando las investigaciones relacionadas con procesos en centros de distribución y almacenes a nivel global, lo que soporta la relevancia de su estudio en la actualidad.

Como punto de partida se contempló hacer una revisión de los procesos clave de los centros de distribución que finalmente componen el proceso principal de los mismos, aunque se debe resaltar que estos cambian ligeramente de acuerdo con el grupo de investigación.

En otro orden de ideas, los resultados arrojaron diferentes artículos orientados a diversas soluciones y formas de abordar los problemas de investigación, en este trabajo se optó por realizar una división de ellos en tres focos de investigación principalmente:

- **Modelos operacionales:**

En materia de diseño de centros de distribución, sus procesos propios (Put Away, Warehousing, Order Picking & Fulfillment) y los flujos de proceso relacionados se destacan los aportes de Accorsi et al. (2014) que presentan un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS – Decision-Support System) para el diseño, la gestión y el control de los sistemas de almacenamiento mediante el uso de diagramas de flujo, localización de ubicaciones, sistema de almacenamiento y simulaciones. El beneficio del modelo planteado por Accorsi et al. (2014) depende del sector donde se emplee, pero es claro que es un aporte relevante en el diseño de modelos propios de logística para almacenes. Continuando con diseño de centros de distribución y sus procesos, Eduardo-Díaz et al.(2014) hacen un énfasis en el sector textil colombiano donde realizan inicialmente un estudio acerca de los procesos críticos de un centro de distribución y concluyen que entre el 60% y 65 % de los gastos operativos pertenecen a las actividades de alistamiento (picking), se evidencia un aporte relevante en cuanto al diseño del layout y el foco en la reducción de distancias para la reducción de costos en picking, no obstante es de resaltar que no se mencionan diferentes turnos de trabajo. Bottani et al.(2019) realizan aportes a la optimización y diseño de sistemas para picking en dos compañías diferentes donde contemplan varios factores de la operación: zonas de picking, tipos de pedido, estrategias, etc. y obtienen la reducción de tiempos de ejecución de alistamiento para ambas compañías. Es de mencionar que en la investigación no se contempló ninguna estrategia de administración de inventario como pueden ser las estrategias FIFO, LIFO o FEFO. Bao et al.(2017) presentan resultados importantes en la optimización de slotting en un centro de distribución de tabaco, inicialmente muestran la definición de slotting y la importancia los procesos logísticos, luego el despliegue de su método basado en Análisis de Árbol de Fallos arroja como resultado la reducción de mercancías ociosas del 16,6% al 9,2%, mejora la utilización del espacio de carga y aumenta la eficiencia económica, en resumen es un aporte viable para la optimización del slotting del almacenes. Raghuram & Singh, (2020) muestran un modelo de rediseño de procesos logísticos a un centro de distribución del sector electrónico por medio del uso de datos de altos volúmenes (Big Data) y muestran la importancia de dirigir las decisiones de un almacén basadas en datos (Data Driven – Dirigido por datos), precisan datos de operación entre días, horas, operarios, tipos de máquinas, etc. y como esta información es insumo para el

planteamiento de soluciones acertadas. Es importante mencionar que sería relevante aplicar las bases de un modelo de este tipo al sector textil-manufacturero. Sanchez et al.(2021) presentan resultados acerca de la implementación de herramientas y análisis de mejoramiento continuo a procesos como el almacenamiento en temas de slotting y en alistamiento bajo la estrategia wave picking, como resultado general se obtuvo una mejora en el indicador OTIF en un 44% en una compañía metalmecánica.

- **Implementación tecnológica:**

Hékiş et al. (2014) realizan aportes relevantes con respecto a la implementación de un WMS (Warehouse Management System) en el contexto de un centro de distribución del sector textil (Confección) ubicado en Natal, Brasil. Particularmente, se resalta en la investigación que los sistemas de información han sido ampliamente utilizados en las organizaciones como ventaja competitiva, ayudando a los directivos en su toma de decisiones. Con estas ideas en mente, el WMS es uno de los sistemas de información que gestiona de forma eficiente y eficaz un centro de distribución y como resultado de la investigación se obtuvo la reducción del lead time de mercancías en un 24%, el aumento de la productividad de los empleados y la mejora en la gestión del almacén, la eliminación de ubicaciones predeterminadas para las mercancías, optimizando el proceso y el desplazamiento de los empleados. Ali & Haseeb (2019) y su equipo de investigación aportan importantes conclusiones al analizar organizaciones que tienen centros de distribución en Malasia del sector textil-confección, mediante PLS-SEM se descubrió que la RFID contribuyó a las operaciones de la cadena de suministro y en centros de distribución, lo cual mantuvo un efecto significativo y positivo en el rendimiento de las operaciones. Es de resaltar que este estudio es uno de los primeros intentos de examinar el efecto de la RFID en las operaciones de la cadena de suministro de las empresas del sector textil y de la confección. Como conclusión obtiene que el uso de RFID en esta industria agiliza sus procesos y reduce sus costos significativamente. Sari & Butun (2021) y su grupo de investigación presentan resultados relevantes para los centros de distribución en cuanto a la integración de DDS y WMS, en los cuales se implementaron sistemas de administración de almacenes en organizaciones y también, la implementación de tecnologías

4.0 tales como Inteligencia Artificial y Machine Learning como un DDS que apalanque las mejoras en las operaciones logísticas.

- **Simulación y control operacional:**

Efrilianda et al. (2018) realizan un modelo algorítmico de control de inventario donde realizan la optimización del reabastecimiento de mercancías en función de la demanda. A su vez, Milojević et al. (2021) presentan un modelo basado también en algoritmos que muestra la optimización de los costos con función en los inventarios, estas investigaciones dan lugar a pensar que es posible la construcción de modelos algorítmicos para el control del inventario del sector textil-manufacturero, este resultado puede ser insumo para realizar modelo de medición de la eficiencia de control de inventarios. Orozco-Crespo et al. (2021) muestran un indicador integral para medir la cadena de Suministro (Incluyendo el centro de distribución) en una compañía textil-confección en Ecuador, concluyendo que su modelo de medida compacto arroja indicadores que miden de punta a punta la gestión de la cadena. Karim et al. (2021) muestran un análisis sobre los indicadores de productividad y rendimiento de los procesos asociados a almacenes en sí, más que el rendimiento del almacén frente a los clientes y sus requisitos, esto da a lugar a repensar sobre el estado de los indicadores de proceso logístico en las organizaciones. Es de resaltar que hubo investigaciones en años anteriores pero se optó por tomar las investigaciones más recientes que tuvieran alineación con el presente trabajo.

Basado en la estructura del estado del arte realizada y presentada anteriormente, se evidencia que existen investigaciones encaminadas a resolver problemas del sector textil en general, otros sectores, y particularmente en segmentos específicos de los centros de distribución, pero no se evidencia que haya alguna investigación que aborde los procesos de un centro de distribución holísticamente. Por otra parte, se abordan temas de implementación tecnológica, o de modelo de proceso, o de simulación y control, pero no una investigación que aborde los tres ítems al mismo tiempo. Lo anterior deja una oportunidad importante para llenar este vacío de la literatura mediante el presente trabajo, de tal manera que se cubran varios aspectos relacionados con los procesos punta a punta de un centro de distribución del sector textil-manufacturero usando conceptos y

técnicas propias de la gerencia de operaciones, que como se tiene evidencia, existe una tendencia a realizar estudio de procesos de almacenes y no una cantidad relevante de artículos relacionados en los portales de búsqueda científica.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con la orientación que la comunidad científica le está brindando a los problemas de cadena de suministro, centros de distribución y almacenes se optó por resolver un problema relacionado con procesos logísticos en una compañía real. Se seleccionó el centro de distribución Colombia de Proquinal S.A y se inició por realizar sondeos e indagaciones con el personal del centro de distribución Colombia así como un diagnóstico preliminar para determinar los procesos focos de este estudio y encauzarlos hacia los tres aspectos que resultaron de segmentar el estado del arte y que fueron mencionados anteriormente: Modelos operacionales, implementación tecnológica, simulación y control. En las conversaciones que se tuvo con los empleados que se encuentran vinculados al centro de distribución en los roles: estratégicos, tácticos y operativos se tuvo información de carácter cualitativo que como resultado arrojaron los siguientes doce ítems que sugieren mayor relevancia en el proceso global del centro de distribución:

3.1. Aspectos de rediseño operacional:

Modelos Operacionales:

- 3.1.1.** Existe alta variabilidad y subjetividad en las horas seleccionadas para los cortes de exporte de pedidos comerciales, esto supone efecto látigo (Bullwip) en la operación diaria.
- 3.1.2.** Existe una gran variabilidad en el tiempo de recepción de producto terminado, se tienen datos que muestra una alta variabilidad en estos tiempos.
- 3.1.3.** Se tienen cuatro sistemas de almacenamiento diferentes (20% son posiciones de estantería fija de dos niveles tipo ático con dos tipos de posiciones, 10% son estantería selectiva de 3 niveles y 70% son pallets metálicos pertenecientes a un sistema de almacenamiento de bloques apilados, de este 70%: el 60% son pallets metálicos color naranja los cuales fueron diseñados para soportar un peso de dos toneladas y no es posible almacenarlo en estantería selectiva porque no cuenta con soporte transversales en sus patas, el otro 40% son pallets metálicos color amarillo los cuales fueron diseñados para soportar un peso de 1.5 toneladas y posee dos soportes transversales en sus patas que permiten el almacenamiento en

estantería selectiva) que dificultan el alistamiento de producto (picking) y el control de los inventarios. No existe un modelo de control de inventarios (en la actualidad no existe datos de exactitud de inventarios). No existe un modelo de inventarios ABC en función de rotación o popularidad de los productos.

- 3.1.4. El modelo de alistamiento (picking) se considera altamente ineficiente ya que actualmente es necesario primero realizar la lectura del producto con un equipo RF Handheld (Imagen de Referencia 2) y luego realizar la recolección de productos a despachar, es decir, los operarios deben ir dos veces a la misma posición, lo que se considera como un reproceso.
- 3.1.5. La nomenclatura de ubicaciones de los pallets es compleja debido a que se emplea una codificación únicamente numérica (esto hace que los operarios se confundan ya que no se cuentan con codificación alfanumérica que facilite la secuencia).
- 3.1.6. No existen cálculos de capacidad de recepción y despacho diario del centro de distribución.

Implementación Tecnológica:

- 3.1.7. El producto terminado que se recibe en el centro de distribución proveniente de la planta de producción viene mezclado, es decir en un mismo pallet pueden llegar hasta 4 referencias distintas lo que dificulta la manera de recibir los productos y no existe una estrategia definida para resolver este problema o tecnología que lo resuelva.
- 3.1.8. El (Warehouse Management System – WMS) sistema de gerencia de almacenamiento empleado no se encuentra en un nivel de desarrollo óptimo por lo que se dificulta controlar los aspectos antes mencionados.

Simulación y Control:

- 3.1.9. No se tienen cálculos para identificar la cantidad de pallets necesarios para la operación, en la actualidad se evidencia que se cuenta con una menor cantidad, esto debido a que cuando se tiene un volumen de almacenamiento elevado se deben unificar rollos de diferentes referencias en un mismo pallet con el propósito de optimizar los espacios o dejar el producto en el suelo, lo que se cataloga como una mala práctica en el almacenamiento.

No existe la cantidad necesaria de ubicaciones en primer nivel para cubrir la totalidad del portafolio (3.000 SKU's).

- 3.1.10.** No existen estudio de tiempos y movimientos a los operarios de picking que permita medir la productividad per-cápita, lo que genera alta variabilidad en los procesos diariamente.
- 3.1.11.** No se cuenta con indicador de rotación de inventario, indicador de capacidad de almacenamiento, indicador de averías, modelo de slotting ni modelo de put-away.
- 3.1.12.** No existe modelo de simulación para poder recrear diferentes situaciones de almacenamiento en el futuro.

Como se ha mencionado anteriormente, el siguiente trabajo pretende detallar una propuesta aplicada del uso de técnicas y conceptos propios de la gerencia de operaciones en una compañía del sector textil-manufactura. Por ello, en la actualidad, la compañía proyecta mantener e incrementar su presencia en los diferentes mercados mundiales. Este incremento se proyecta como un 20% de la facturación de 2022 para el año 2023 lo cual genera incertidumbre en varios de sus procesos logísticos debido a su estado actual. Como referencia, a continuación, se presentan algunos indicadores clave para evidenciar oportunidades de mejora:

Tabla 1 *Indicadores actuales CEDI Colombia – Proquinal S.A.*

Indicador Clave CEDI Colombia	Meta Referencia	Información 2022
On Time	90%	75%
Fill Rate	100%	Sin datos
OTIF	Sin Modelo	Sin datos
Productividad Recepción (N° de rollos/operario)	Sin Modelo	Sin datos
Obsolescencia del inventario PT	97% <= 2 años	70% <= 2años
Exactitud del inventario (General)	Sin Modelo	Sin Datos
Exactitud del inventario (Cíclicos)	Sin Modelo	Sin Datos
Tiempo de Ciclo de una orden	Sin Modelo	Sin Datos
N° de pedidos en Backorder	Sin Modelo	Sin Datos
Productividad Alistamiento (N° de rollos/operario)	Sin Modelo	Sin Datos

Uso de capacidad de almacenamiento del CEDI	Sin Modelo	Sin Datos
% de Averías de PT	Sin Modelo	Sin Datos

Mantener los procesos y la operación del centro de distribución Colombia en el estado actual supondrá varios obstáculos para el cumplimiento de los objetivos planteados por la compañía y por consiguiente es un foco de riesgo en un evento disruptivo futuro. Por lo anterior, es preciso rediseñar sus procesos de tal manera que se alineen con la estrategia y objetivos corporativos, a la misma vez que se reduzca el riesgo de inadaptación a eventos de disrupción en las operaciones hasta donde sea posible, esto enlazado a que el centro de distribución Colombia es tomado por la organización como elemento estratégico desde el punto de distribución física nacional e internacional.

A continuación, se dará referencia de la composición física del CEDI Colombia a través de un plano donde se detalla la ubicación de la estantería de paso, el sistema de apilado y la estantería selectiva:

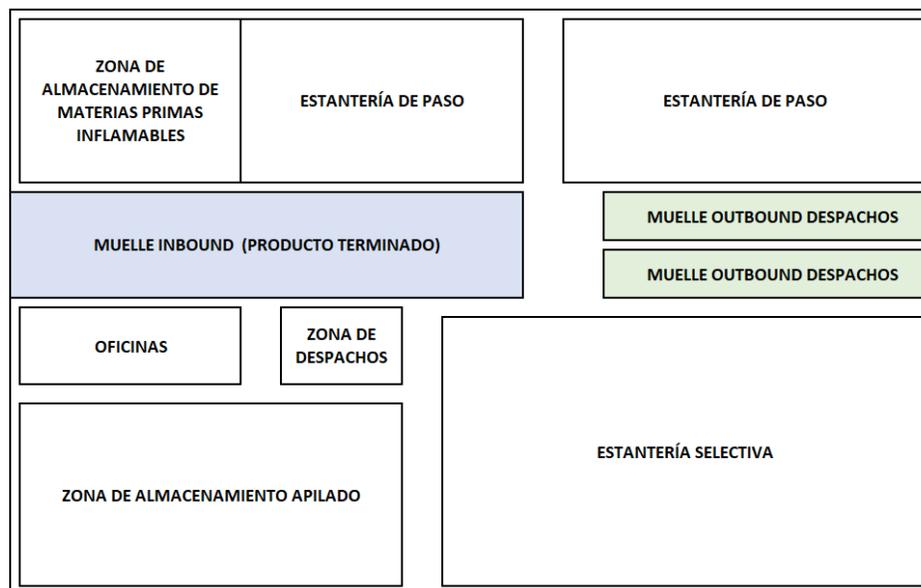


Ilustración 7. Plano de Referencia CEDI Colombia

De igual manera, se hace referencia a algunas de las herramientas y características de la operación actual que permitan entender la necesidad del rediseño operacional ya mencionado:



Ilustración 8. Estibador Eléctrico Convencional Pallet Sencillo



Ilustración 9. Personal Digital Assistant (PDA) - Radiofrecuencia Convencional Bar Code



Ilustración 10. Impresora Matricial de Punto Para Forma Continua



Ilustración 11. Escalera Tipo Avión



Ilustración 12. Pallet Metálico Para PT (Naranja y Amarillo)

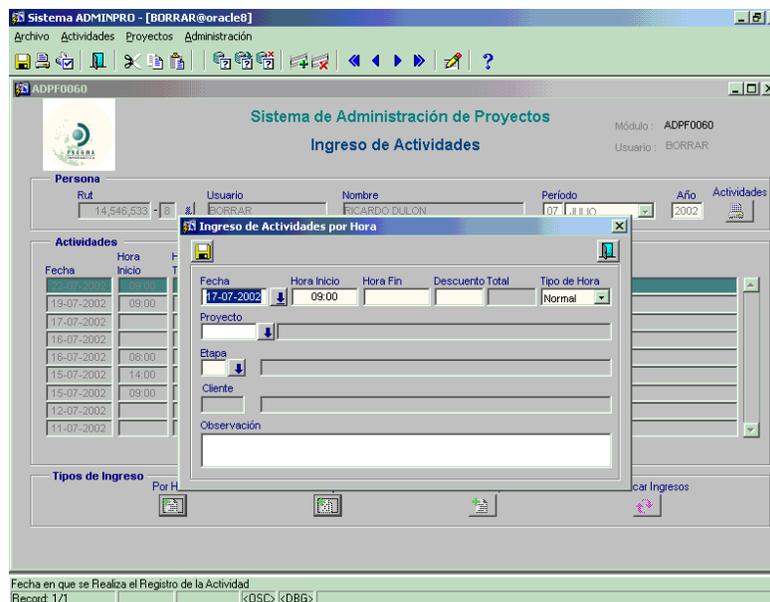


Ilustración 13. Imagen de referencia ambiente de sistema WMS Oracle-In House

Fuentes: Ver Anexo2

Nota: Debido a las políticas de confidencialidad de la información de la compañía, algunos datos y cifras se modificarán a propósito en el desarrollo del proyecto de investigación.

Basado en la información anterior, es evidente la necesidad de planear y ejecutar acciones encaminadas inicialmente a modelar indicadores que permitan conocer el estado de salud de los procesos actuales y a partir de ello, plantear mejoras en los procesos logísticos que involucren: un nuevo modelo operacional, algunas implementaciones tecnológicas y por último esquemas de control y simulación.

3.2.Pregunta de investigación

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, este proyecto busca responder a la pregunta: ¿Cómo podría rediseñarse los procesos del centro de distribución Colombia de Proquinal S.A., mediante el uso de bases conceptuales y técnicas propias de la Gerencia de Operaciones?, la respuesta a esta pregunta aportará al mejoramiento de los procesos del centro de distribución Colombia permitiendo el cumplimiento de los objetivos trazados por la organización y mitigando el riesgo operacional ante disrupción en la cadena de suministro, lo anterior se traducirá directamente en la optimización de los costos, incremento de la eficiencia operacional y aportes al PL (Profit & Lost) brindando a la compañía oportunidades de incrementar y fortalecer su presencia en los diferentes mercados mundiales. Es de aclarar que cuando se hace referencia al “*rediseño*” se relaciona con los procesos por sí mismos y se quiere dar a entender que no se rediseñará ninguna parte física del centro de distribución.

3.3.Objetivos

Los objetivos planteados a continuación, forman parte del desarrollo de actividades específicas que están encaminadas en rigor a dar respuesta a la pregunta de investigación anteriormente planteada.

3.3.1. Objetivo general

Plantear una propuesta para el rediseño de los procesos del centro de distribución Colombia de Proquinal S.A., usando conceptos y técnicas propias de la Gerencia de Operaciones.

3.3.2. Objetivos específicos

A continuación, se detallan los objetivos específicos que van encaminados a contribuir al desarrollo del objetivo general:

- Investigar, identificar y comprender el estado actual del centro de distribución Colombia de Proquinal S.A. con foco a detectar y analizar las oportunidades de mejora.
- Diseñar un modelo operacional estratégico orientado a estructurar KPI's y posteriormente el planteamiento de mejoras, estrategia de implementación tecnológica y estrategia de control y simulación de variables relacionadas con las técnicas propias de la Gerencia de Operaciones en el centro de distribución Colombia de Proquinal S.A.
- Presentar un modelo de simulación que incluya ítems del rediseño planteado, nuevos procesos o aspectos que permitan tomar decisiones en el centro de distribución Colombia de Proquinal S.A.

3.4. Justificación y alcance

El desarrollo de este proyecto va encaminado a realizar aportes académicos útiles para el sector textil-manufacturero con el objetivo de brindar un marco de referencia de como se pueden adaptar diferentes herramientas, modelos, conceptos y simulaciones de otras industrias e incluso modelos propios a partir de la apropiación de los conocimientos adquiridos en la Maestría en Gerencia de Operaciones. Por otra parte, se tiene la oportunidad de aportar nueva información relacionada con centros de distribución y como rediseñar los procesos desde el ingreso hasta la salida del producto terminado, lo que sirve como base inicial para futuras investigaciones ya que se evidenció que la tendencia es incremental con respecto a estudios e investigaciones relacionadas con procesos de almacenes. Por otro lado, es necesario realizar este trabajo a partir de las oportunidades de mejora identificadas en Proquinal S.A. de cara a cumplir con los objetivos de ventas planteados y plasmados en el informe de sostenibilidad 2021 (<https://spradling.group/es-la/acerca-de/ecosense>) lo que sugiere un aplicación de conocimientos de la Maestría en Gerencia de

Operaciones en el vida real, aunque es muy importante resaltar que el alcance del presente trabajo es realizar una propuesta de mejora, más no, una implementación por sí misma. Lo anterior responde a diferentes factores de la organización frente al presente documento.

En lo concerniente al alcance, es de resaltar que el presente trabajo fue realizado para solucionar un problema concreto en el centro de distribución Colombia para Proquinal S.A., y no se tuvo en cuenta otros centros de distribución en geografías diferentes a la mencionada, no obstante, es posible que pudieran aplicarse y replicarse varias propuestas de solución que se plantean en este documento a las demás geografías de Spradling Group Inc., sin embargo, es de mencionar que no estuvieron dentro del alcance del presente trabajo. Por otra parte, es preciso dar claridad que este trabajo se precisa en el marco de una propuesta y no, de una implementación por sí misma. Lo anterior se debe a que la organización es autónoma en tomar la decisión de usar lo expuesto en este documento de forma total o parcial.

3.5.Organización del documento

El siguiente trabajo se encuentra enmarcado desde lo general hasta lo específico, inicia con una introducción donde se menciona eventos recientes como lo es el COVID-19 y su influencia en las organizaciones, cadenas de suministro y centros de distribución, luego continúa con el estado del arte, es decir, dar una vista a las investigaciones realizadas y elementos relacionados con la presente tesis, luego se abordará el diseño metodológico donde se indicará qué técnicas y herramientas serán usadas para resolver el problema planteado, paso seguido se mostrará los resultados obtenidos que estarán alineados a ser desarrollados en función de los objetivos planteados anteriormente, finalmente se encontrarán las conclusiones y recomendaciones como cierre del presente trabajo de grado.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

En el presente trabajo se usarán técnicas y herramientas propias de la gerencia de operaciones de cara a poder desarrollar los objetivos mencionados y de esta manera dar respuesta a la pregunta de investigación abordada, para ello se plantea adaptar conceptos del modelo de Accorsi: *Put-Away* que correspondería al proceso de Recepción, *Warehousing* que correspondería al proceso de Almacenamiento, *Order Picking* que correspondería al proceso de Alistamiento y finalmente al *Fulfillment* que correspondería al Despacho (Accorsi et al., 2014), esto debido a que de acuerdo a lo revisado en el estado del arte es la investigación de mayor concordancia con la realidad operacional actual de Proquinal S.A en cuanto a modelo de procesos. Para poder cumplir con cada objetivo planteado en las operaciones de Recepción, Almacenamiento, Alistamiento y Despacho se usarán las siguientes técnicas propias de la gerencia de operaciones:

- Anova (Analysis of Variance): Análisis de Varianza será usado para determinar si existe diferencias sustanciales en las medias de operarios manipulando rollos de tela (Sridhar et al., 2023).
- DOE (Design Of Experiments): Es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas reales de un efecto dentro un diseño experimental, se usará como marco técnico de aplicación de Anova en lo referente a la manipulación de rollos vs peso (Turkeš et al., 2022).
- Inventarios ABC: Pertenece al ítem de modelo de inventarios, será usado para agrupar los diferentes SKU's en tipo: A, B o C según corresponda en función de la rotación del producto (ventas) (Silva et al., 2022).
- Mapas de Proceso: Un mapa de procesos es un diagrama de valor que representa, a manera de inventario gráfico, los procesos de una organización en forma interrelacionada. El mapa de procesos recoge la interrelación de todos los procesos que realiza una organización, como ejemplo se tiene el HLPM – High Level Process Map y el LLPM – Low Level Process Map (Witkowski et al., 2012).
- Métodos y Tiempos: Es una técnica que busca determinar el tiempo estándar o promedio en el cual debe llevarse a cabo una operación determinada, se usará para determinar la

cantidad de rollos que debe mover un operario en un turno de 8 horas (Snowdon et al., 2022).

- Modelos de Equivalencias: Modelo propio propuesto en el presente trabajo bajo lineamientos de gerencia de operaciones, consiste en determinar una unidad única en donde las demás serán equivalentes a ésta por medio de cálculos matemáticos.
- Modelo de Inventarios: Son modelos inherentes al comportamiento de las existencias en un almacén, será usado para plantear diferentes mejoras.
- Pruebas de Hipótesis: Evalúa la probabilidad asociada a una idea (hipótesis) por medio del valor p , usará para comprobar la hipótesis de que el peso no afecta sustancialmente el tiempo de manipulación de rollos (Ingram et al., 2022).
- RFP: Siglas de Request For Proposal, es en esencia un documento donde se indican factores claves de un proyecto y su principal propósito es transferir esta información a los diferentes proveedores que deseen participar en el proceso de licitación privada o pública (Brogan et al., 2023).
- Simulación (Montecarlo): Es un método de simulación probabilístico para crear modelos de posibles resultados mediante la sustitución de un rango de valores (distribución de probabilidad) para cualquier factor con incertidumbre inherente, será usado para modelar la operación del CEDI Colombia (de Carvalho Oliveira & Delgado, 2015).
- Spaghetti Chart: Diagrama usado para identificar flujos de materiales, se usará para determinar los flujos en el CEDI Colombia turno a turno (Lebuda et al., 2015).
- SPC - Gráfico XS (Statistical Process Control - Gráfico de Medias y Desviaciones Estándar): Gráfico usado para identificar si un proceso se encuentra bajo control estadístico, se usará para identificar el estado del proceso de Recepción (Kim et al., 2021).
- Tablas de frecuencias: La distribución de frecuencias o tabla de frecuencias es una ordenación en forma de tabla de los datos estadísticos, asignando a cada dato su frecuencia correspondiente, será usado para ver como se distribuyen los SKU's en diferentes aspectos.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

- **Objetivo específico número 1:**

Identificación del estado actual: Inicialmente se detallará el proceso general del CEDI Colombia con el fin de dar a conocer los principales procesos a través de un HLPM en la actualidad. Basado en los conceptos utilizados por Accorsi et al. (2014). y mencionados en el diseño metodológico se plantea dividir el proceso del CEDI Colombia en 4 procesos clave: Recepción, Almacenamiento, Alistamiento y Despacho, esto con el propósito de ir detallando el estado actual de cada uno y poder abordar de una mejor forma la problemática.

HLPM: El mapa de procesos de alto nivel muestra el funcionamiento de un proceso en pocos pasos. El principal objetivo es brindar una visión rápida y sencilla de lo qué se hace en proceso sin entrar en detalles de como se hace. A continuación, se detalla el HLPM del proceso general del centro de distribución Colombia de Proquinal S.A.

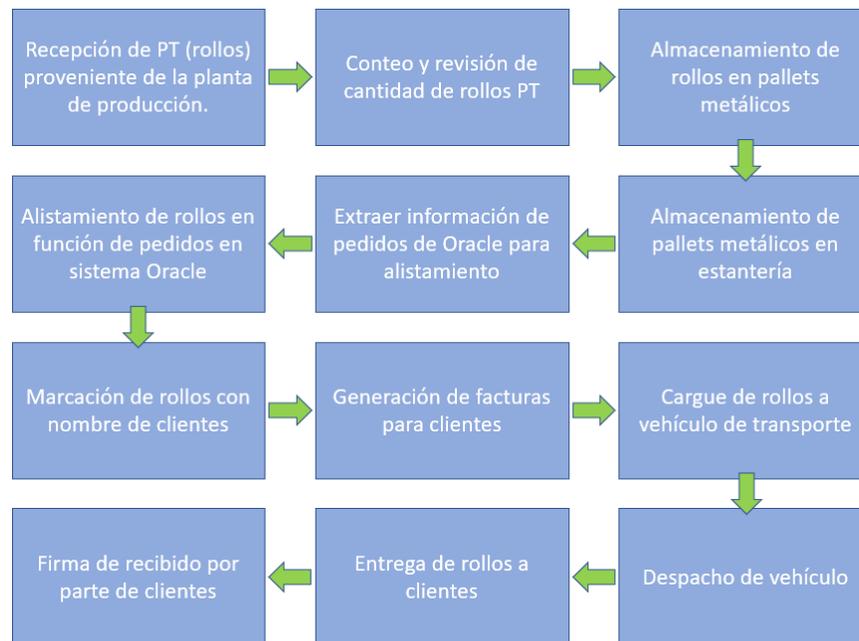


Ilustración 14. High Level Process Map - Operación CEDI Colombia

Como descripción general, la operación del CEDI Colombia se desarrolla de lunes a sábado en un espacio de 8.000 m² donde se abarcan los despachos del mercado Bogotá, Nacional y Exportación en un horario de 7 am a 5 pm.

Despliegue de procesos clave:

Recepción: En este proceso el CEDI recibe por parte de la planta de producción una cantidad de rollos empacados diariamente (empaques de papel o plástico) para ser verificados en cantidad debido a que la calidad fue verificada anteriormente en la planta de producción. Actualmente el CEDI tiene un ingreso diario de aproximadamente 2.000 rollos, las características de estos rollos pueden variar en diámetro (depende de la referencia y producto fabricado) pero no en el ancho, ya que siempre será de 1.40 metros, esto se debe a que es el estándar de fabricación que tienen todas las máquinas de la compañía. Cada uno de estos rollos viene identificado con una etiqueta que posee información tal como: nombre del producto, lote de fabricación, tamaño de la pieza (largo de la tela fabricada la cual cambia dependiendo del producto) y número único del rollo, toda esta información está depositada en un código de barras que también viene impreso en dicha etiqueta. Estos rollos son transportados desde la planta de producción hasta el CEDI en pallets metálicos que a su vez son movilizadas por un vehículo tipo camión con frecuencias de una hasta dos horas como máximo, la capacidad del vehículo en cada viaje es de 4 pallets. El tiempo de recepción tiene una variación importante debido a que no se cuenta con tiempos establecidos para esta operación al igual que no se tienen definidas metas de productividad para los operarios, esto supone que cada empleado puede trabajar al ritmo que desee (Ver Ilustración 15).

A continuación, se muestra datos de un estudio propio realizado durante un mes completo:



Ilustración 15. Toma de tiempo de recepción de un mes



Ilustración 16. Imagen de referencia de recepción de rollos en CEDI Colombia

El control de la cantidad de rollos al CEDI es de alta relevancia ya que este control permite detallar los diferentes niveles de inventarios, esto con el propósito de que el área comercial conozca los niveles de del mismo y de esta manera pueda generar pedidos a los clientes de acuerdo a las existencias, hoy en día, este control se realiza manualmente por un operario que cuenta los rollos y verifica contra un documento enviado por el área de producción (Remisión), en el momento en que las cantidades concuerden se procede a escanear los rollos con la PDA y de esta manera alimentar el inventario en el sistema, cabe resaltar que este proceso no tiene ningún Poka Yoke y el inventario puede verse afectado con cantidades no reales.

Posteriormente estos rollos son movilizados por medio de montacargas contrabalanceadas y son colocados en zonas donde haya espacio para ser almacenados, lo anterior se traduce en que se pueda contar con rollos de la misma referencia en diferentes lugares del CEDI y no haya una unificación sistemática de los mismos.

Almacenamiento: Este proceso inicia con la finalización de la recepción, básicamente lo que se pretende es ubicar los rollos de producto terminado en ubicaciones del centro de distribución, estas ubicaciones tienen un número único al interior del CEDI con el objetivo de ubicar al operario tal cual como sucede hoy con la nomenclatura de la Ciudad de Bogotá D.C., como ejemplo (Calles y Carreras). En la actualidad los rollos son colocados en lugares donde haya espacio como se indicó anteriormente lo cual no es recomendable debido a que puede haber producto de una misma referencia en múltiples lugares del centro de distribución, adicionalmente puede que los productos de alta rotación y que se necesitan continuamente se encuentren en zonas alejadas lo que incrementaría los recorridos y movimientos innecesarios. Continuando con las ubicaciones, los 4 tipos de almacenamiento antes descritos no cuentan con una identificación que facilite al operario ubicarse en el CEDI, en la actualidad, se tiene un sistema únicamente numérico de 4 colocaciones (como ejemplo: 0-11-23-2 – Tipo de Almacenamiento, Pasillo, Posición, Nivel) que dificulta a los operarios nuevos y antiguos moverse por el CEDI ya que no es un sistema intuitivo, es decir basado en sentido común y experiencia.

El sistema actual almacena un rollo por medio de una tarea enviada a la PDA del operario, más sin embargo es de libre albedrío del operario colocarlo en cualquier posición ya que no hay obligatoriedad en confirmar la posición donde se optó por dejar el rollo, esto quiere decir que, un rollo puede ser consultado en el sistema y arrojar una ubicación teórica pero en la realidad estar ubicado en una ubicación cualquiera como ejemplo, esto ocasiona pérdida de tiempo en el proceso posterior (Alistamiento) ya que el sistema pedirá que se alisten rollos en ciertas ubicaciones y en el momento de alistar el producto no se encontrará.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento, no es posible determinar en qué nivel se encuentra el centro de distribución en general, puesto que se tienen diferentes sistemas de almacenamiento y es inexistente un modelo que permita visualizar estos niveles, lo anterior es altamente relevante porque puede existir la posibilidad de exceder el nivel de almacenamiento y el líder del CEDI se vea en la necesidad de almacenar producto en el piso, colocando en riesgo la calidad, presentación y limpieza del producto.

El control de los inventarios almacenados es una parte muy importante para la compañía ya que esto forma parte de sus activos e impacta directamente sus finanzas, en la actualidad solo se realiza un inventario general (todos los productos en todas las ubicaciones) a final del año, donde se revisa que las cantidades concuerden y en ciertas ocasiones se realizan ajustes de este. Con respecto a la estrategia de inventario utilizada se tiene establecida una política FIFO o PEPS que no favorece a la ejecución del proceso posterior (Alistamiento) debido que el sistema puede solicitar alistar un rollo que se encuentra en un nivel superior y no uno, de las mismas características en el primer nivel, lo que supone un menor esfuerzo, costo y tiempo, a continuación, un ejemplo:

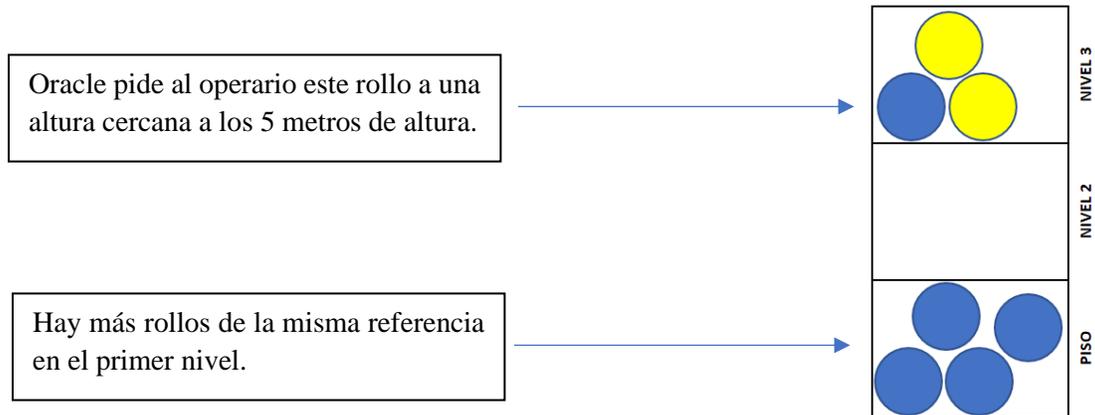


Ilustración 17. Proceso de selección de rollos sistema WMS Oracle In house

Alistamiento: Este proceso inicia con la extracción de pedidos digitales desde Oracle, estos pedidos son filtrados habitualmente por mercado: Bogotá, Nacional y Exportación con el fin de que dar cierto orden a la recolección de rollos solicitados por los diferentes clientes. Una vez se han exportado los pedidos se transmiten a las PDA´s (RF Intermec) de cada uno de los operarios de alistamiento para iniciar su recolección en los diferentes sistemas de almacenamiento del CEDI. Como se mencionó anteriormente, algunos de estos rollos no se encuentran en la ubicación que indica el sistema debido a la falta de obligatoriedad al momento de la recepción y posterior almacenamiento, esto incide en que ciertos pedidos no se puedan despachar completos porque es altamente complejo encontrar un rollo particular en las más de 2.000 ubicaciones que tiene el CEDI, en este caso es necesario realizar un reproceso, se debe utilizar un operario para que busque estos rollos “perdidos” o mal ubicados y de esta manera despachar posteriormente.

Despacho: Este proceso deriva del alistamiento y básicamente lo que se busca es entregar los rollos alistados a un proveedor de transporte que se encargará de realizar la entrega a cada uno de nuestros clientes (Cliente Final). En la actualidad existe un reproceso, en esencia consiste en que inicialmente se debe validar cada uno de los rollos antes de tomarse de las diferentes ubicaciones basado en el pedido que el cliente haya solicitado. Luego se deben imprimir etiquetas con los nombres de los clientes y de nuevo empezar a validar cual fue la solicitud del cliente y empezar a marcar cuales de estos rollos se enviarán a determinando cliente. Cabe mencionar que, si en el

despacho sobran o faltan rollos con respecto al pedido del cliente, no se tiene posibilidad de poder visualizar cual operario cometió el error y no hay posibilidad de mejorar este proceso en la actualidad.

- **Objetivo específico número 2:**

Planteamiento de propuestas de mejora o rediseños de procesos: De acuerdo con los datos enmarcados en el aparte anterior se realizarán las correspondientes propuestas de mejora con foco a eliminar reprocesos, mejorar la trazabilidad, aportar eficiencia y efectividad a los procesos diarios del CEDI Colombia:

A continuación, se detallarán las propuestas de mejora generales que impactarán transversalmente los cuatro procesos clave del centro de distribución ya mencionados:

- **Implementación Sistema WMS (Warehouse Management System):** Debido a que el sistema actual no cuenta con la posibilidad de capturar información relevante para la operación diaria es necesario realizar la búsqueda de un sistema que permita tener información clara para la toma de decisiones en tiempo real por lo cual es el primer paso para el mejoramiento del flujo operacional del CEDI Colombia de Proquinal S.A (Kunrath et al., 2023; Sari & Butun, 2021)

Para esta búsqueda se sugiere emplear el cuadro mágico de Gartner WMS 2022 para iniciar la selección del posible proveedor de WMS (Canito et al., 2018):



Ilustración 18: Cuadrante Mágico de Gartner para Warehouse Management Systems (WMS)

Fuente: <https://blog.blueyonder.com/blue-yonders-wms-customers-make-us-a-gartner-magic-quadrant-leader-11-years-running/>

Debido a la complejidad de la operación logística de Proquinal S.A.: Amplio Portafolio > 3.000 SKU's, reducidas ubicaciones < 2.200, rollos con id único requeridos por clientes, almacenamiento de cilindros que sobrepone otros cilindros, mezcla de SKU's, extravío de rollos en el CEDI, etc., se recomienda evaluar proveedores enmarcados en el cuadrante: *Leaders* con el propósito de tener proveedores con alto grado de experiencia en operaciones de diferentes sectores a nivel mundial. Para esta selección se recomienda tener en cuenta los cuatro procesos clave antes mencionados: Recepción, Almacenamiento, Alistamiento y Despacho y sus requerimientos mínimos en cada uno de las cuales se detallarán más adelante. Es necesario resaltar que el WMS seleccionado debe aportar al desarrollo de un módulo de almacenamiento de información (QRC – Quick Response Code) para incrementar la cantidad de información de

los productos que se puede obtener en la etiqueta y de esta manera dar paso al mejoramiento de procesos en el CEDI, la información que se puede contener sería: Tipo de empaque, tipo de mercado preferente y alternativo, condiciones de almacenamiento, etc.

A continuación, se detallan las necesidades que se deben cubrir como mínimo en cada una de los procesos al momento de seleccionar el proveedor, paso seguido se usará un RFP (Request For Proposal) que es un modelo para brindar información a los diferentes proveedores interesados en desarrollar el proyecto (Brogan et al., 2023):

1. Recepción:

- Recepción de rollos, sean por unidad o por pallet y posteriormente cargados al inventario, debido a que los pallets pueden venir mezclados por varios SKU's, en este caso se debe llevar producto hasta las ubicaciones, bajar pallets a piso y realizar reabastecimiento.
- El sistema debe tener la posibilidad de incluir en la etiqueta de producto proveniente de producción el número SKU.
- Configuración de estrategia Put-Away de manera caótica u ordenada, es decir. desde el ingreso de los rollos al CEDI determinar donde quedará cada material y poder controlar el mix de materiales de manera estratégica.
- Trazabilidad de movimiento de rollos: ¿Quién movió el rollo?, ¿Por qué movió el rollo?, ¿A qué hora se movió el rollo?, ¿De cuál ubicación a cuál ubicación se movió?, etc.
- Reimpresión de etiquetas de producto.
- Devolución de rollos a producción (logística inversa).
- Reglas y condiciones propias del negocio, almacenamiento de rollos de cierto metraje en ubicaciones especiales y específicas.

2. Almacenamiento:

- Configuración de slotting en función de rotación o popularidad (Composición de ubicaciones exclusivas sin mezcla, aunque hayan ingresado mezcladas al CEDI, ubicaciones mezcladas y ubicaciones caóticas).
- Posibilidad de agrupar rollos en ubicaciones en función de características propias de cada rollo (Color, Familia, Lote, etc.)

- Segmentación y configuración de inventarios ABC.
- Configuración de código de verificación, QR o Bar Code que obligue al operario a dejar el rollo en la ubicación correcta.
- Estrategias de almacenamiento FIFO.
- Diseño de layout de CEDI.
- Módulo para control de inventario cíclico y perpetuo que incluya la ejecución de tareas monitoreables.
- Visión y control de rollos en ubicación “Lost and Found”
- Visión y control de rollos ubicados en Cuarentena, la cual es un sub-almacén donde se encuentran los rollos bloqueados por Calidad, este bloqueo puede ser por: lote, SKU, palabra clave, fecha de ingreso a CEDI, ubicación, etc.
- Control de nivel de almacenamiento en función de variables de los productos en función del diámetro.
- Visibilidad de la capacidad usada y restante de almacenamiento en función de del diámetro.
- Trazabilidad de movimiento de rollos: ¿Quién movió el rollo?, ¿Por qué movió el rollo?, ¿A qué hora se movió el rollo?, ¿De cuál ubicación a cuál ubicación se movió?, etc.
- El sistema debe contemplar el uso alfanumérico en la configuración de pasillos y posiciones de estantería y pallets metálicos.

3. Alistamiento:

- Tener perfiles creados para descargar pedidos del ERP en función de la necesidad, es decir: solo exportar pedidos nacionales, pedidos de cierta fecha, pedidos de cierto cliente etc.
- Tener diseñadas diferentes estrategias de lanzamiento de tareas de alistamiento (Wave y Batch) y poder tener la posibilidad de lanzar con estrategia FIFO.
- La asignación de tareas debe ser automática por defecto y las tareas deben estar almacenadas a la espera de ser requeridas por el operario, ya como medida de emergencia se pueda asignar manualmente.
- Se debe contar con un módulo para la asignación de secuencias de alistamiento: Snake, Zigzag, Par e Impar, por pasillo, etc.

- Configuración de código de verificación, QR o Bar Code que obligue al operario a recoger el rollo en la ubicación correcta.
- El sistema debe realizar la reserva de rollos una vez se lance la ola, es decir cuando se realice el picking.
- El sistema debe comunicar el nivel de inventario a las áreas comerciales con interfaz a Oracle en línea o tiempo real.
- Se deben generar tareas en función de roles únicos, ejemplo, tareas de montacarga y tareas para picker, no se contempla que haya una función mixta.
- Poder tener visibilidad del porcentaje de alistamiento de la ola lanzada en tiempo real en función de tareas, ubicaciones y rollos.
- Poder realizar la priorización de tareas manualmente, esto debido a las necesidades diarias de alistamiento y despacho.
- Lanzamiento automático de tareas de reaprovisionamiento a primeros niveles una vez se haya quedado una posición vacía en picking, debe ser posible la configuración de punto de reorden por SKU.
- Poder realizar cambios masivos en nombres y códigos de SKU, esto debido a políticas comerciales, debe tenerse en cuenta el proceso de re-etiquetado que también debe garantizarlo el sistema.
- Trazabilidad de movimiento de rollos: ¿Quién movió el rollo?, ¿Por qué movió el rollo?, ¿A qué hora se movió el rollo?, ¿De cuál ubicación a cuál ubicación se movió?, etc.

4. Despacho:

- El sistema debe tener la posibilidad de confrontar la etiqueta de cliente con la de producto de manera que no pueda existir error por troque.
- El sistema debe tener la posibilidad de conectarse con escáner infrarrojo tipo anillo para lectura de barcode o QR.
- El sistema debe tener módulo para poder incluir errores (sobrantes o faltantes) y atribuirlos al operario de picking o de montacargas, además de las validaciones correspondientes al proceso de cargue del camión.

- El sistema debe ser capaz de ir cargando en tiempo real a las remisiones cada uno de los rollos que se vayan leyendo, esto con el propósito de que una vez se finalice el picking se pueda ir realizando el proceso de facturación.
- El sistema debe ser capaz de interactuar con el sistema de facturación del ERP.
- El WMS debe enviar mensaje a ERP para que se pueda continuar con el proceso de facturación (Factura Electrónica).
- El sistema debe contar con proceso de descuentos en cargue, es decir si el producto no cabe en el camión o contenedor, se deben reversar los movimientos de alistamiento, remisión y facturación de manera sencilla.
- El WMS debe ser capaz de interactuar con el ERP para generar facturas y documentos digitales de cara a eliminar todos los procesos que incluyan papel.
- El WMS debe ser capaz de realizar packing list y avisos de despacho.

5. Otros:

- El sistema debe ser capaz de entregar información en formatos txt, csv o xlsx de los diferentes reportes antes descritos.
- El sistema debe estar diseñado para soportar operaciones en móviles, tablets, pc y smart tv.
- El sistema debe ser capaz de identificar a cada operario por número o nombre código.
- El sistema debe contemplar el uso de tecnología RFID en determinado escenario.

A continuación, se detallan los proveedores que podrían cumplir con las necesidades mencionadas:

- Korber
- Blue Yonder
- SAP
- Infor
- Oracle

Estos proveedores tienen un modelo SaaS (Software as a Service), es decir, se paga una mensualidad para poder acceder a los servicios del sistema, estos servicios son Cloud, en la siguiente se detalla una investigación propia de los costos aproximados promedio de estos 5 proveedores realizado en Diciembre de 2022:

Tabla 2 Estudio propio de costos promedio de adquisición WMS SaaS

Descripción	Valor
Implementación	200.000 USD
Mensualidad	10.000 USD
Mantenimiento	0 USD
Interfaz con ERP	30.000 USD
Contrato	3 Años

A continuación, se presenta un RFP de la herramienta propuesta (WMS)(Brogan et al., 2023):

Request for Proposal - RFP

RFP: Implementación de WMS en el CEDI Colombia de Proquinal S.A.	Proposal Due By: Mayo 2022	Proquinal S.A – Spradling Group Inc.
<p>Project Overview: El alcance de este proyecto es el centro de distribución Colombia de Proquinal S.A. ubicado en Bogotá D.C., se contempla un cronograma de 1 año desde la definición del alcance hasta el cierre total del proyecto con una inversión aproximada en el primer año de 350.000 USD y con un contrato mínimo de 1 año y máximo de 5 años, la inversión de los años siguientes se estima en 120.000 USD /año.</p> <p>La implementación del WMS debe traducirse en los siguientes beneficios:</p>		

- Reducción de rollos extraviados en 90% = 6.000 USD/año
- Reducción de movimientos innecesarios en un 90% = 25.000 USD/año
- Incremento de productividad en un 75% = 7.000 USD/año
- Incremento de los ANS en un 80% = 25.000 USD/año
- Optimización de los espacios disponibles en un 90% = 25.000 USD /año
- Reducción de tiempos extras de carácter operativo en un 100% = 50.000 USD/año
- Reducción en recursos en general (Agua, Electricidad, Papel, etc.) = 50.000 USD/año

ROI: 37%

Payback: 5 años

Project Goals:

- Reducción de rollos extraviados en 90% = 6.000 USD/año
- Reducción de movimientos innecesarios en un 90% = 25.000 USD/año
- Incremento de productividad en un 75% = 7.000 USD/año
- Incremento de los ANS en un 80% = 25.000 USD/año
- Optimización de los espacios disponibles en un 90% = 25.000 USD /año
- Reducción de tiempos extras de carácter operativo en un 100% = 50.000 USD/año
- Reducción en recursos en general (Agua, Electricidad, Papel, etc.) = 50.000 USD/año

Scope of Work:

El alcance del proyecto es el CEDI Colombia de Proquinal S.A, y será la implementación de un WMS enmarcado en el Cuadro Mágico de Gartner 2022 con una duración máxima de un año con la inversión de 350.000 USD. El proyecto no es la implementación de TMS, ni LMS, ni YMS, ni módulos de Analítica (Power BI), etc.

Current Roadblocks and Barriers to Success

- Personal operativo sin experiencia
- Volatilidad de tasa cambiaria del dólar
- Cultura Organizacional – Gestión del Cambio
- ERP obsoleto

Evaluation Metrics and Criteria

<ul style="list-style-type: none">● Ejecución y alineación del alcance del proyecto● Ejecución del Cronograma● Ejecución del Presupuesto		
Submission Requirements <ul style="list-style-type: none">● Avance de proyecto● Templates homologados● Evaluación y ejecución financiera		
Project Due By: Febrero 07 de 2023		Budget: 350.000 USD
Contact: Bryan Moreno Gualtero – Jefe de Desarrollo Logístico	Email: bryan.moreno@spradling.group	Phone #: +57 311 288 04 11

El WMS seleccionado debe tener la capacidad de integrar a sus procesos los QRC antes mencionados, a continuación, se muestran algunos ejemplos:



Ilustración 19: Imágenes de referencia de QRC

Fuente: <https://uqr.me/es/que-es-un-codigo-qr-todo-lo-que-necesitas-saber-esta-aqui/>

- **Implementación de Tecnología RFID (Radio Frequency Identification):** Para mejorar el flujo de operación en las diferentes fases del proceso del CEDI Colombia se propone hacer uso de la tecnología RFID, que como propósito básico busca la transmisión de la identidad de cada rollo mediante ondas de radio. La propuesta en general es reemplazar las etiquetas de papel tipo sticker por sticker RFID (Tag RFID) para la detección del rollo en cualquier lugar físico y virtual del CEDI (Liu et al., 2022)



Ilustración 20: Imagen de Funcionamiento Básico de Sistema RFID

Fuente: <https://baroig.com/impresion-etiquetado/sistema-rfid-etiquetas-identificacion-activos/>



Ilustración 21: Rollos de tela con TAG's RFID

- **Modificación en el esquema de horario:** Como se mencionó anteriormente, el CEDI Colombia trabaja actualmente en un único horario lo que en consecuencia causa un alto tráfico de equipos montacargas, estibadores eléctricos y operarios (50 operarios) trabajando en simultánea, lo que dificulta el control operacional y da oportunidad de cometer errores en el proceso de Recepción, Almacenamiento, Alistamiento y Despacho. La propuesta para mejorar la visibilidad y control de los procesos es dividir la operación actual en tres turnos para disminuir los riesgos de accidente por tráfico, reducción de movimientos innecesarios y mejorar el flujo de materiales en general. Para mostrar la mejora propuesta se usará un Spaghetti Chart o Diagrama de Spaghetti. En el diagrama, la línea verde es la operación de Bogotá, la línea roja es la operación Nacional y la línea azul es la operación de Exportación.

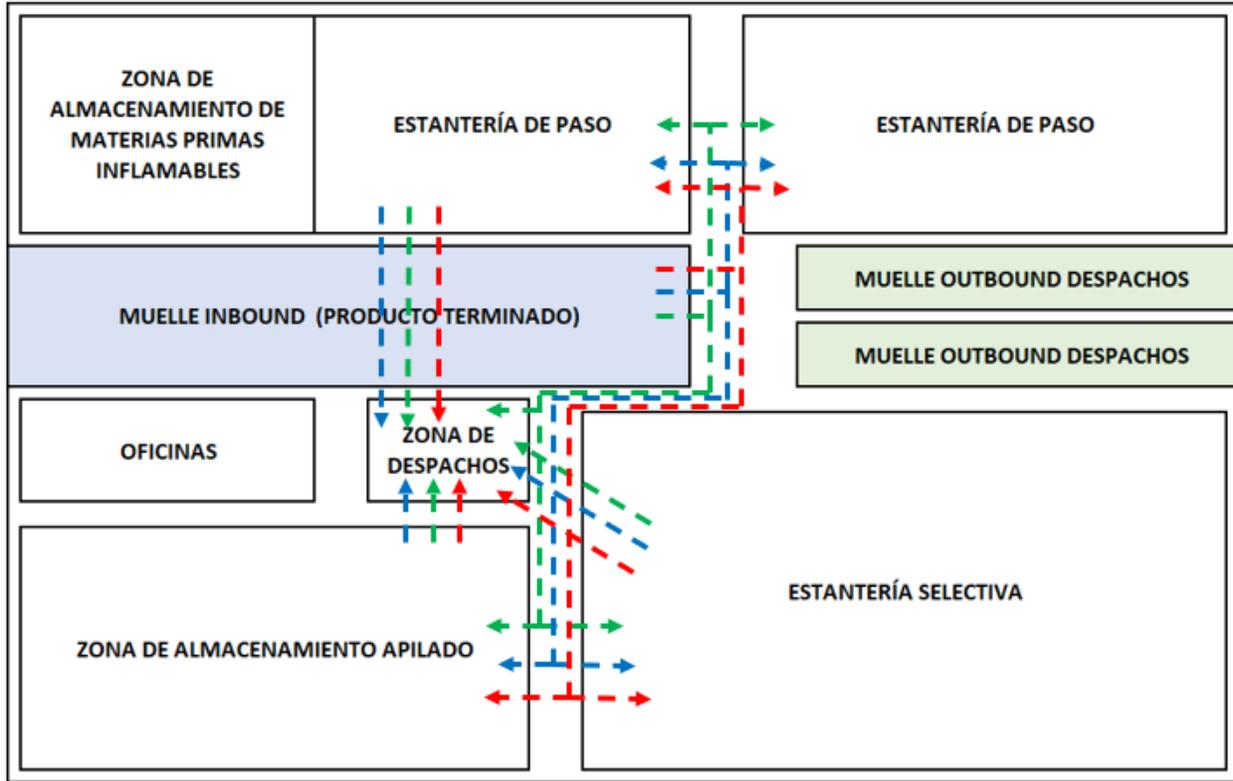


Ilustración 22. Spaghetti Chart flujo operacional actual CEDI Colombia en único horario de 7 am a 5 pm.

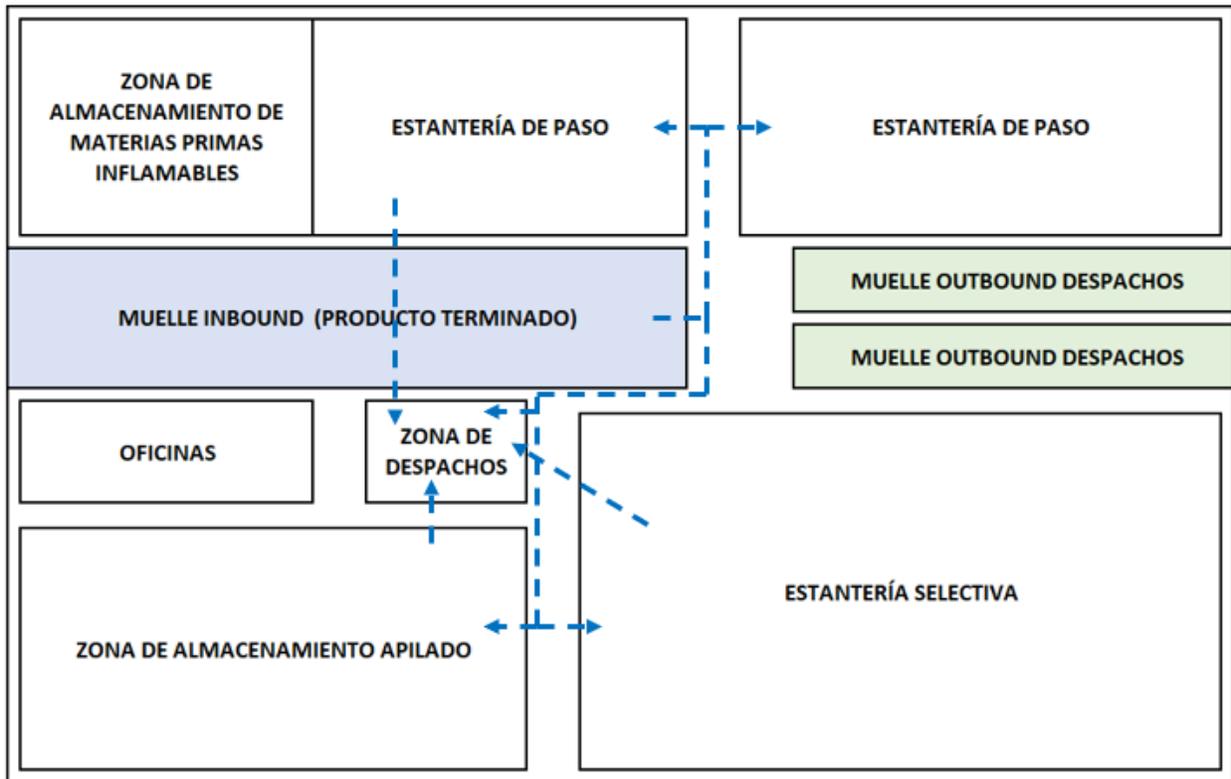


Ilustración 23. Spaghetti Chart de la propuesta para la operación de Exportación en un horario exclusivo.

Usando el Spaghetti Chart como herramienta de mejoramiento continuo se puede apreciar la mejora en el tráfico operacional de la operación de Exportación, es decir, existe menor tráfico de personas y equipos cuando se trabaja una operación en un horario exclusivo, lo que se traduce en mayor visibilidad para los líderes de operación, menor riesgo de accidente, menor probabilidad de errores, mayor control de cargas etc. (Lebuda et al., 2015). Como anteriormente se mencionó hay una distribución casi uniforme de metros despachados correspondiente al 33,3% aproximadamente para cada uno de los mercados: Bogotá, Nacional y Exportación, por lo anterior se propone realizar un cambio al modelo actual de la siguiente forma:

- **Operación Nacional:** 6 am a 2 pm, con el fin de entregar el material alistado al proveedor de transporte para que realice la división por ciudades en la tarde y se realice el desplazamiento hacia cada una de ellas en la noche de manera que se realice la entrega a clientes en la mañana del siguiente día.

- **Operación Bogotá:** 2 pm a 10 pm, con el fin de entregar el material alistado al proveedor de transporte a las 10 pm y los vehículos de reparto puedan empezar distribución a las 7 am del día siguiente.
- **Operación Exportación:** 10 pm a 6 am, con el fin de entregar los contenedores cargados a las 6 am y los tractocamiones puedan iniciar desplazamiento hacia puertos de embarque.
- **Rediseño de Nomenclatura de pasillos del CEDI:** En la actualidad se tiene un sistema de nomenclatura para los diferentes pasillos del centro de distribución que no es sencillo de comprender por los operarios y esto hace que se debe revisar la dirección del pasillo varias veces para poder ir donde el sistema solicita, lo anterior incrementa los tiempos de operación, por ello se sugiere un nuevo modelo de nomenclatura:

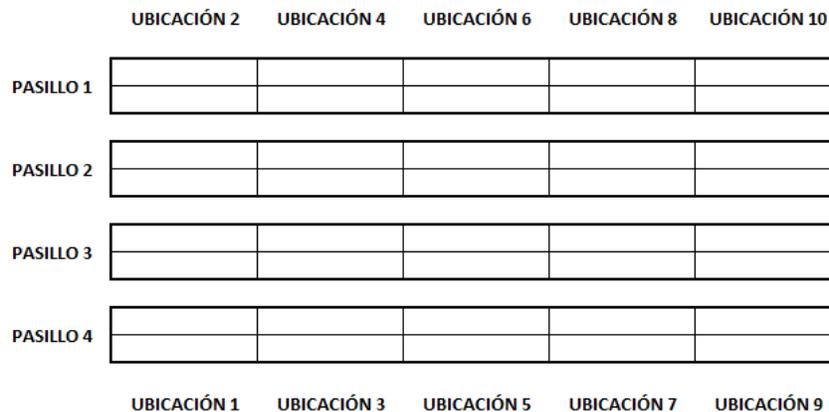


Ilustración 24: Nomenclatura actual de ubicaciones CEDI Colombia (Vista en Planta)

NIVEL 3					
NIVEL 2					
NIVEL 1					
	UBICACIÓN 1	UBICACIÓN 3	UBICACIÓN 5	UBICACIÓN 7	UBICACIÓN 9

Ilustración 25: Nomenclatura actual de ubicaciones CEDI Colombia (Vista Frontal)

El modelo actual refiere:

Módulo: Con Pallet (0) o Sin Pallet (1)

Pasillo: N° de pasillo (Del 1 al 18)

Ubicación: N° de la ubicación (Derecha pares, izquierda impares)

Nivel: Altura de la ubicación (N° del 1 al 3)

Ejemplo:

0-15-23-3: Es una posición que tiene pallet asignado, en el pasillo 15, parte izquierda en la ubicación 23 en el tercer nivel.

1-12-8-1: Es una posición que no tiene pallet asignado (Almacenamiento en el piso), en el pasillo 12, parte derecha en la ubicación 8 en el primer nivel.

El modelo propuesto refiere:

Módulo: Se elimina de la nomenclatura, por calidad y mejores prácticas de almacenamiento todo producto debe estar almacenado en un pallet, por ningún motivo en el piso, más adelante se propondrá como eliminar el almacenamiento en el piso.

Pasillo: Se denominará por medio de letras (de la A a la R)

Ubicación: N° de la ubicación (Derecha pares, izquierda impares)

Nivel: Altura de la ubicación (Letra de la A a la C)

Ejemplo:

A-25-A: Es una posición en el pasillo A (1er pasillo), parte izquierda en la ubicación 25 en el primer nivel.

D-12-B: Es una posición en el pasillo D (4to pasillo), parte derecha en la ubicación 12 en el segundo nivel.

R-1-C: Es una posición en el pasillo R (18vo pasillo), parte izquierda en la ubicación 1 en el tercer nivel.

• **Determinación de la unidad de medida operacional en CEDI:** Por definición general la unidad de medida del negocio en general es el metro lineal, esto quiere decir que los análisis financieros, análisis de ventas y de manufactura se realizan en esta unidad, lo anterior supone preguntarse si esta medida es la adecuada para medir los niveles de productividad en los cuatro procesos logísticos clave ya mencionados. Para comenzar se identifican las unidades de medida en las que se podrían medir los procesos del CEDI Colombia:

- **Metros:** Se puede cuantificar la cantidad de metros lineales recibidos, almacenados, alistados y despachados.
- **Kilogramos:** Se puede cuantificar la cantidad de kilogramos recibidos, almacenados, alistados y despachados.
- **Rollos:** Se puede cuantificar la cantidad de rollos recibidos, almacenados, alistados y despachados.

Inicialmente se detalla la relación existente entre los SKU's y las variables de medida que tienen características diferenciales (medida y peso), para ello se construyeron dos tablas de frecuencias en función de la cantidad de referencias únicas (160 SKU's únicos) sin tener en cuenta sus derivaciones de color ya que finalmente son el mismo producto y resulta irrelevante para el análisis llegar a este nivel de detalle:

Tabla 3 *Distribución de Frecuencias de SKU's vs Metros Lineales*

Metros Lineales / Rollo			
Clases	Nº DE SKU's	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1 a 50	70	44%	44%
51 a 100	50	31%	75%
101 a 150	20	13%	88%
151 a 200	15	9%	97%
201 o más	5	3%	100%

Tabla 4 *Distribución de Frecuencias de SKU's vs Kilogramos*

Peso en Kilogramos / Rollo			
Clases	Nº DE SKU's	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1 a 15	2	1%	1%
16 a 30	50	31%	33%
31 a 45	80	50%	83%
46 a 60	20	13%	95%
61 o más	8	5%	100%

Con base en la información obtenida se evidencia que el 88% de los SKU's se encuentran entre 1 y 150 metros lineales mientras que en la relación de peso el 83% de los SKU's se encuentran entre 1 y 45 kilogramos, esto indica que la operación tiene una alta combinación entre metros y pesos:

Tabla 5 *Clases de Metros y Kilogramos*

Metros por rollo	Kilogramos por rollo
10	10
20	15
30	20
40	25
50	30
60	35
70	40
80	45
90	50
100	55
110	60
120	65
130	
140	
150	
160	
170	
180	
190	
200	
210	

A continuación, se calcula el número de combinaciones que se tienen teniendo en cuenta que $AB=BA$, es decir la combinación metros-peso es igual a peso-metros:

A = Metros: 21 elementos diferentes

B = Kilogramos: 12 elementos diferentes

$$n(A \times B) = n(A) * n(B)$$

$$n(21 * 12) = 21 * 12$$

$$n(21 * 12) = 252$$

Esto quiere decir que un operario puede tomar un rollo que se encuentre dentro de las 252 combinaciones únicas que existen entre metraje y peso.

Explicando el resultado obtenido desde el punto de vista de la operación, es posible que un operario manipule un rollo en la operación que tenga una alta cantidad de metros pero un bajo peso y viceversa, lo que no permitiría medir la productividad de manera adecuada equitativa y objetiva, a continuación, un ejemplo real de un turno de trabajo (8 horas) de dos operarios con similitud en el tiempo de antigüedad en la operación de manipulación de rollos y tiempo de trabajo neto, este dato pertenece al 12 de Mayo de 2022:

Tabla 6 Estudio de Productividad- Operario 1

Unidad de Medida	Operario 1
Kilogramos:	9.000
Metros:	3.000
Rollos:	150

Tabla 7 Estudio de Productividad-Operario 2

Unidad de Medida	Operario 2
Kilogramos:	4.500
Metros:	15.000
Rollos:	150

En el ejemplo anterior se observa como el operario 1 es más productivo en un 100% con respecto a los kilogramos manipulados por el operario 2 (Ver Tabla 6), por otro lado, el operario 2 es más productivo un 400% cuando se mide en metros lineales (Ver Tabla 7). Cabe resaltar que los datos del ejemplo anterior no fueron aleatorios y fue intencional la búsqueda de un ejemplo de diferencias extremas para visualizar el problema, adicionalmente esto no refleja la asignación normal de manipulación de rollos en un turno de trabajo por parte del WMS actual.

Si bien no existe una relación directa entre los metros y los kilogramos como se ha demostrado, es importante ver que la cantidad de unidades manipuladas fueron las mismas, es decir, cada uno de los operarios manipuló 150 rollos, lo que puede sugerir que la unidad de medida operacional del CEDI Colombia sean unidades (rollos) como tal y no metros lineales o kilogramos. Con el fin de identificar si los rollos por sí solos serían la unidad de medida adecuada se realizó un diseño de experimentos para revisar que no existe diferencias sustanciales de tiempo en las medias de la manipulación de los rollos en función del peso, lo anterior debido a que como se evidenció los metros no son un indicador confiable.

En el experimento se usaron los productos con mayor representación de peso (95% de los pesos) que se dividieron en 7 subgrupos: 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 Kilogramos, esto con el propósito de evidenciar si el incremento de peso afecta el tiempo de desplazamiento en incremento de 5 Kilogramos, cada uno de los operarios recorrió los mismos 1.000 metros lineales en el CEDI Colombia ya que se destinó un espacio único y especial para ello, se seleccionaron 10 operarios con antigüedad en la operación de mínimo 6 meses y diferencia máxima entre ellos de un mes (Turkeš et al., 2022).

Para este experimento se usó un Anova Unifactorial y se garantizó los principios del Diseño de Experimentos:

- *Replicación:* Cada uno de los tratamientos se aplicaron a cada una de las unidades experimentales, es decir cada operario interactuó con SKU diferentes.
- *Aleatorización:* Cada una de las muestras se tomó al azar, esto incluyó determinar hora de toma de la muestra, operario y SKU, esto se realizó por medio de una macro en Excel.
- *Bloqueo:* Se particionó las muestras en 7 bloques homogéneos con el objetivo de eliminar factores extraños que puedan aportar a la variabilidad sistemática, es decir cada uno de los SKU's fue manipulado por cada uno de los 10 operarios

A continuación, se muestran los datos obtenidos en horas al azar durante los tres turnos:

Tabla 8 Datos de manipulación de peso

SKU	Operario	Tiempo (Min)
30 Kg	10	12,7
35 Kg	10	13,4
40 Kg	4	13,2
45 Kg	1	13,4
50 Kg	8	14,1
55 Kg	7	14,1
60 Kg	3	14,2
30 Kg	5	12,6
35 Kg	7	13,4
40 Kg	1	13,7
45 Kg	8	13,0
50 Kg	2	13,7
55 Kg	9	13,3
60 Kg	7	13,4
30 Kg	4	13,4
35 Kg	8	13,9
40 Kg	3	14,2
45 Kg	9	14,2
50 Kg	7	13,0

55 Kg	10	14,0
60 Kg	2	12,9
30 Kg	8	14,0
35 Kg	6	13,5
40 Kg	5	13,1
45 Kg	5	13,5
50 Kg	4	13,7
55 Kg	1	12,6
60 Kg	6	13,1
30 Kg	3	13,0
35 Kg	5	14,5
40 Kg	6	12,7
45 Kg	7	13,9
50 Kg	5	13,8
55 Kg	3	14,5
60 Kg	8	14,7
30 Kg	6	14,0
35 Kg	2	13,6
40 Kg	2	12,7
45 Kg	6	13,6
50 Kg	1	13,9
55 Kg	5	14,3
60 Kg	4	13,0
30 Kg	2	14,6
35 Kg	3	13,3
40 Kg	7	14,8
45 Kg	2	14,2
50 Kg	9	14,0
55 Kg	8	13,1
60 Kg	9	14,0
30 Kg	7	14,0
35 Kg	9	13,6
40 Kg	9	14,0
45 Kg	10	14,5
50 Kg	3	14,0
55 Kg	2	14,2
60 Kg	10	13,7
30 Kg	1	13,4
35 Kg	4	13,3
40 Kg	8	12,3

45 Kg	3	13,0
50 Kg	6	14,3
55 Kg	4	12,6
60 Kg	1	14,4
30 Kg	9	12,2
35 Kg	1	12,9
40 Kg	10	14,1
45 Kg	4	12,7
50 Kg	10	14,2
55 Kg	6	13,0
60 Kg	5	14,4

Posteriormente se usaron estos datos para aplicar un Anova Unifactorial en el aplicativo R, el script utilizado puede ser consultado en el *Anexo I*.

Como resultado se obtuvo:

```
Anova Table (Type III tests)

Response: Tiempo (Min)
      Sum Sq Df F value Pr(>F)
(Intercept) 1792.92  1 4400.749 <2e-16 ***
SKU          1.68  6   0.688  0.66
Residuals   25.67 63
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |
```

Ilustración 26 Resultado Anova Unifactorial - R Studio

Modelo de Hipótesis:

Nivel de Confianza: 95%

Nivel de Significancia: 5%

H1: El peso del SKU influye en el tiempo de desplazamiento

H0: El peso del SKU no influye en el tiempo de desplazamiento

Conclusión del experimento: Como el valor arrojado de p-value fue del 66% se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, lo que indica que las medias de los tiempos de 10 operarios manipulando los 7 tipos de peso en diferentes turnos no tienen una diferencia significativa. Por lo anterior se concluye que el peso de cada rollo no tiene una influencia significativa en la manipulación.

En este caso se descarta los metros lineales debido a que no es una unidad de medida confiable, también es posible descartar el peso ya que no existe una diferencia significativa al manipular el rango que tiene la compañía en su portafolio. Por lo anterior se propone usar el Rollo como medida operacional en el CEDI Colombia, es decir, todos los procesos se medirán en rollo manipulados por los operarios (Sridhar et al., 2023).

Recepción:

Toma de tiempos y productividad: En el proceso de recepción se iniciará con una toma de tiempos para poder determinar la cantidad de rollos en promedio que un operario debería manipular diariamente, los datos del estudio se muestran a continuación:

- **Instrumento de medición:** Cronómetro Kalenji Onstart 310
- **Fecha:** Estudio realizado en Febrero de 2022
- **Operario:** Se seleccionó un operario con un año de experiencia en la operación, se realizaron 60 muestras en total divididas en cada uno de los turnos (20 muestras en cada uno de los turnos, 6 am a 2 pm, 2 pm a 10 pm y 10 pm a 6 am) con el propósito de contemplar la fatiga que puede presentar las condiciones de cada uno de estos turnos (frío, calor, iluminación, estrés, sueño, etc.).
- **Tiempo por turno:** Se tomó como constante 480 minutos por turno (8 horas por 60 minutos cada una).

- **Suplementos:** Los suplementos fueron totalizados en 80 minutos por turno (20 minutos de alimentación, 10 minutos de una ida al baño, 10 minutos de hidratación durante el turno, 20 minutos de cambio de batería del estibador eléctrico que usa el operario, 20 minutos promedio se asoció a la fatiga durante el turno).
- **Método:** Se usó el método de toma de tiempo estándar para cada una de las muestras y finalmente se usó método de tiempo estándar promedio, lo anterior se debe a que se midió una operación logística donde se tiene una variabilidad debido al ingreso de pedidos de clientes que varía día a día.

De acuerdo con los datos arrojados por el estudio anterior, una persona en promedio debe manipular 300 rollos/turno, esto establece una métrica de control para este proceso, de acuerdo con lo anterior se procedió a socializar la información con los operarios de recibo con el objetivo de alinear las personas con los procesos, a continuación, se muestra un gráfico de productividad de un operario en los diferentes turnos durante un mes completo:

Tabla 9 Datos de productividad de un operario de Recepción en el mes de Marzo 2022

DÍA	META	PRODUCTIVIDAD
1	300	268
2	300	250
3	300	287
4	300	252
5	300	304
6	300	276
7	300	279
8	300	286
9	300	279
10	300	251
11	300	284
12	300	277
13	300	296
14	300	309
15	300	256
16	300	283

17	300	280
18	300	302
19	300	255
20	300	305
21	300	298
22	300	254
23	300	267
24	300	284
25	300	250
26	300	259
PROMEDIO:		277

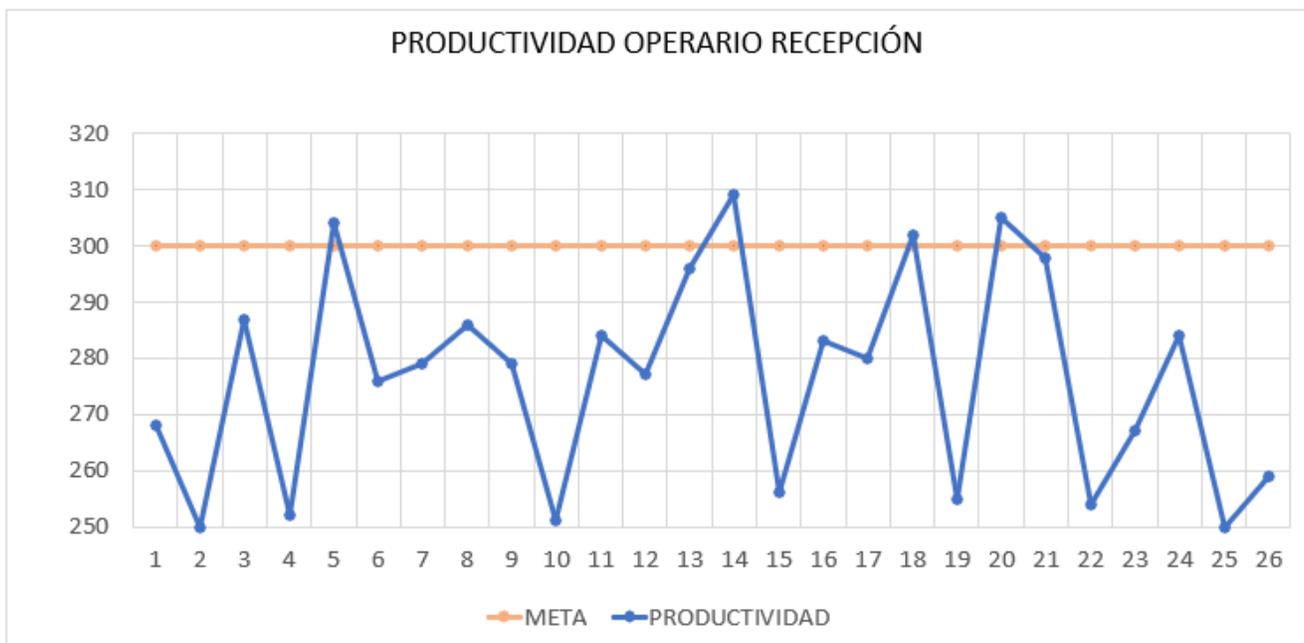


Ilustración 27 Gráfico de comportamiento de productividad en Recepción

Es de resaltar que la operación de Recepción del CEDI Colombia es variable diariamente, esto se debe a que procesa lo que es enviado por la planta de producción, estos productos son diferentes en diámetros y cantidades, por ello se propone establecer qué como mínimo un operario debería tener un indicador de productividad correspondiente al 90%. En la gráfica se puede evidenciar que en el caso de este operario se tiene una productividad de 277 rollos/día como promedio de todo el mes, lo que equivale al 92,3% de productividad promedio sobre la

meta de 300 rollos/día, esto indica que el operario se encuentra dentro de los parámetros establecidos. En caso contrario de que un operario no alcanzara la productividad promedio es necesario tener conversaciones de tipo táctico y operativo de cara a identificar brechas relacionadas con el conocimiento de la operación, entrenamiento, actitud, etc.

Con lo propuesto anteriormente es posible medir la operación de Recepción como un bloque, es decir medir todos los operarios para determinar el desempeño general del proceso, por ello se sugiere usar una herramienta del SPC (Statistical Process Control) o Control Estadístico de Procesos en español, esta herramienta será un gráfico \bar{X} -S (Medias y Desviación Estándar) que proporciona información sobre si el proceso se encuentra bajo control estadístico además que también se puede hacer un contraste con el control de especificaciones (Kim et al., 2021).

Datos de productividad obtenidos del equipo de Recepción en un mes:

Tabla 10 Datos totales del proceso de Recepción de Marzo 2.022

	2-may-22	3-may-22	4-may-22	5-may-22	6-may-22	9-may-22	10-may-22	11-may-22	12-may-22	13-may-22	16-may-22	17-may-22	18-may-22	19-may-22	20-may-22	23-may-22	24-may-22	25-may-22	26-may-22	27-may-22	31-may-22
Operario 1	270	215	217	234	216	233	254	205	271	253	269	214	215	258	273	250	290	251	276	271	208
Operario 2	240	252	249	270	298	215	224	232	294	287	261	278	219	257	287	282	251	256	210	202	224
Operario 3	264	219	271	218	277	247	291	207	250	276	218	228	284	246	269	223	227	284	254	214	254
Operario 4	206	277	263	273	295	214	298	299	242	208	271	202	239	223	213	282	233	214	224	248	300
Operario 5	230	228	207	274	251	220	286	244	268	234	259	255	203	283	222	283	222	277	229	221	200
Operario 6	297	233	296	262	225	235	218	225	221	225	211	255	244	281	218	235	200	216	296	278	293
Operario 7	278	224	261	244	219	259	280	246	229	280	237	271	272	220	203	280	276	289	286	267	255
Operario 8	259	219	288	223	297	287	288	256	284	240	259	217	224	205	265	269	291	222	297	224	220

Fórmulas gráfico \bar{X} -S:

Fórmulas gráfico de Desviaciones Estándar:

$$\text{Límite Inferior} = B_3 * S \text{ Promedio}$$

$$\text{Límite Central} = S \text{ Promedio}$$

$$\text{Límite Superior} = B_4 * S \text{ Promedio}$$

Fórmulas gráfico de Medias:

$$\text{Límite Inferior} = \text{Promedio(Promedio Muestral)} - A_3 * S \text{ Promedio}$$

$$\text{Límite Central} = \text{Promedio(Promedio Muestral)}$$

$$\text{Límite Superior} = \text{Promedio(Promedio Muestral)} + A_3 * S \text{ Promedio}$$

Se procede a realizar cálculos correspondientes con datos y fórmulas anteriormente relacionadas:

Tabla 11 Cálculos de Desviación Estándar para gráfico XS

	Desviación Estandar	Límite Inferior	Límite Central	Límite Superior
Operario 1	26,7	15,3	29,3	43,2
Operario 2	29,3	15,3	29,3	43,2
Operario 3	26,7	15,3	29,3	43,2
Operario 4	34,6	15,3	29,3	43,2
Operario 5	27,7	15,3	29,3	43,2
Operario 6	32,1	15,3	29,3	43,2
Operario 7	25,6	15,3	29,3	43,2
Operario 8	31,5	15,3	29,3	43,2

Muestras:	21
B₃:	0,523
B₄:	1,477

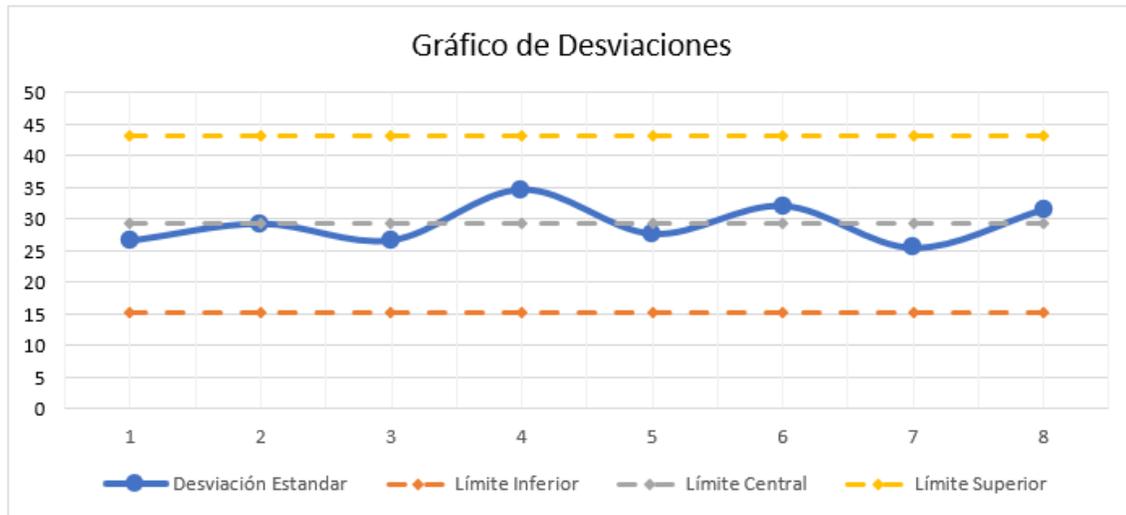


Ilustración 28 Gráfico de Desviaciones

Tabla 12 Cálculos de Medias para gráfico XS

	Medias	Límite Inferior	Límite Central	Límite Superior
Operario 1	244,7	229,8	249,2	268,6
Operario 2	251,8	229,8	249,2	268,6
Operario 3	248,6	229,8	249,2	268,6
Operario 4	248,8	229,8	249,2	268,6
Operario 5	243,6	229,8	249,2	268,6
Operario 6	245,9	229,8	249,2	268,6
Operario 7	256,0	229,8	249,2	268,6
Operario 8	254,0	229,8	249,2	268,6

Muestras:	21
A₃:	0,663

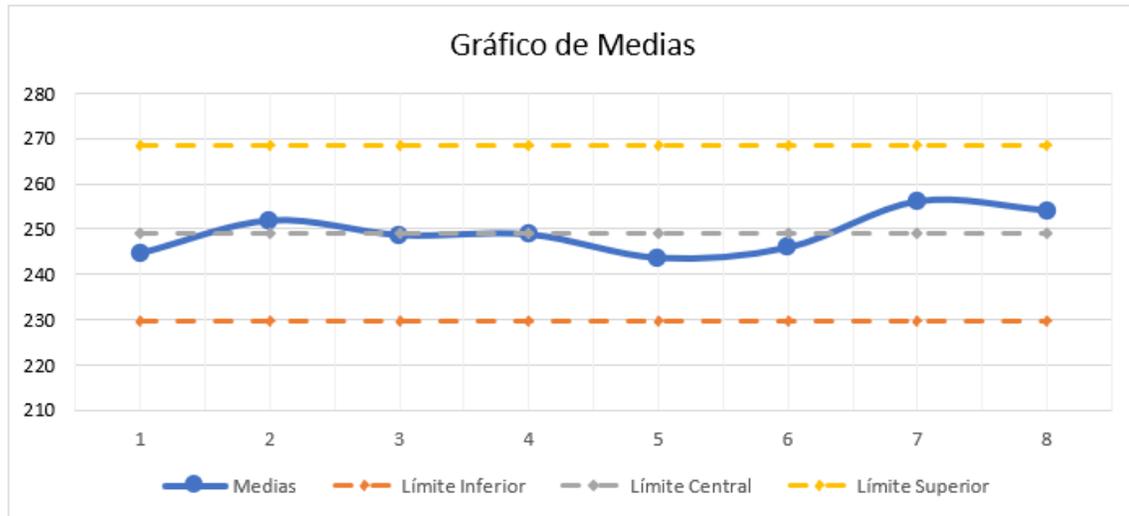


Ilustración 29 Gráfico de Medias

En el gráfico de desviaciones se puede apreciar que la variabilidad del proceso es normal ya que se las muestras se encuentran dentro de los límites de control, esto indica básicamente que el proceso presenta una variabilidad usual de la variable productividad y se encuentra bajo control estadístico en cuanto a variabilidad de proceso refiere.

Debido a que el gráfico de desviaciones muestra que la variabilidad del proceso se encuentra bajo control estadístico podemos afirmar que los límites de control de la gráfica de medias son exactos. Basado en lo anterior se puede concluir que la productividad general del equipo de Recepción se encuentra dentro de los límites de control promedio ya que no hay ningún operario que esté por fuera de dichos límites.

Como ambos gráficos muestran datos dentro de sus límites se puede afirmar que el proceso en general se encuentra bajo control estadístico (Kim et al., 2021).

Por otro lado, es importante visualizar también que pasaría con las medias de cada uno de los operarios cuando se someten a los límites de especificación, es decir, lo que el proceso tiene definido como parámetros, para este caso se tendría: 300 rollos como límite superior de especificación, 270 rollos como límite inferior de especificación (este valor corresponde al 90% mínimo de desempeño que se estableció anteriormente) y 285 como límite central que resulta

del promedio entre el límite superior e inferior de especificación. A continuación, se muestra el resultado gráfico:

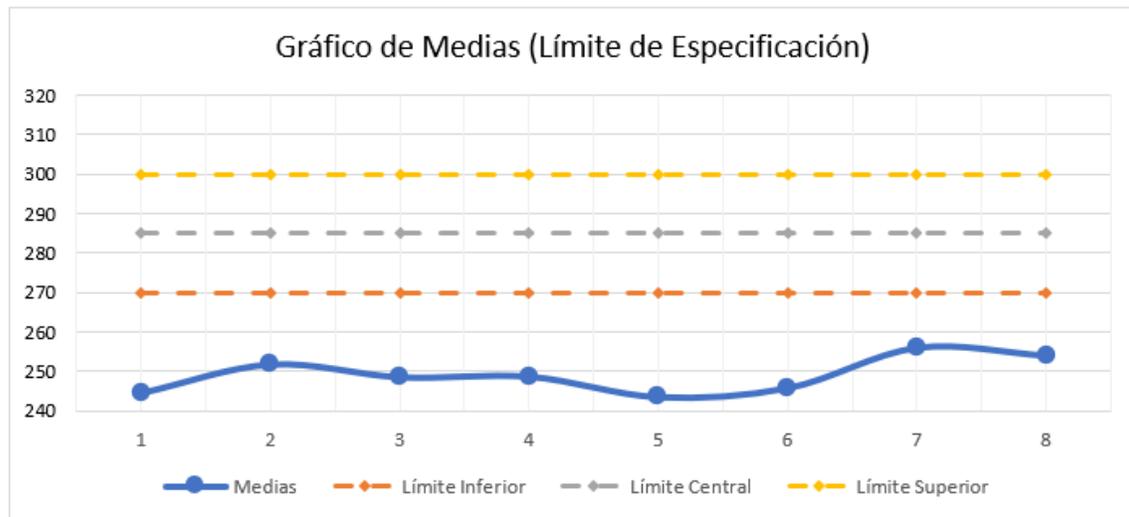


Ilustración 30 Gráfico de Medias con Límites de Especificación

El resultado de este análisis contrasta con el resultado obtenido desde el punto de vista estadístico, es decir, el proceso se encuentra bajo control desde los cálculos de variabilidad con el método de Desviación Estándar y sus medias también cumplen con la desviación máxima (tres desviaciones por encima y tres por debajo) pero en cuanto a los límites de especificación se encuentra por fuera de lo establecido en las especificaciones. Lo anterior puede deberse a que hay más operarios de lo que el proceso requiere, es decir, la cantidad de rollos que llegan diariamente pueden ser muy pocos para ser procesados por 8 personas ya que ninguno podría llegar a alcanzar el 90% de productividad, en otras palabras, la oferta es menor a la demanda, por ello se propone disminuir la cantidad de operarios en este proceso de 8 a 6 para incrementar la oferta para cada uno de ellos y de esta manera puedan alcanzarse los parámetros definidos.

Se estima que esta mejora se refleje en una disminución de costos aproximada de cinco millones de pesos mensuales.

Put Away y Slotting: Put Away es una palabra inglesa muy usada en el campo de logística y cadenas de suministro que significa: ordenar, guardar o colocar algo en su sitio, en este caso el

Put Away define como recibimos el producto terminado y como lo procesamos de la mejor manera de modo que siempre se ubique en el lugar que corresponde, a continuación se detalla como se realizará el Put Away (Lanza et al., 2022):

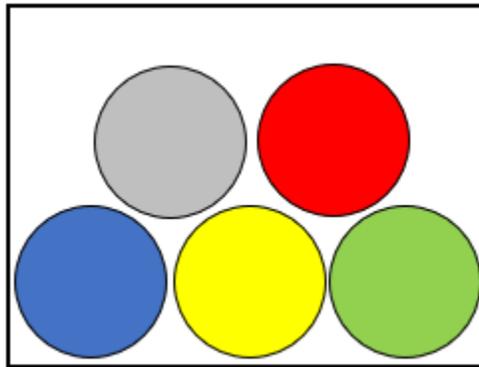


Ilustración 31 Imagen de referencia de producto almacenado en un pallet (Vista Frontal)

En la ilustración 31 se aprecia un pallet que tiene varios rollos de diferentes referencias, cada color representa una de ellas; en la actualidad, este pallet se ubicaría en una posición del CEDI tal cual como se envió de producción, esto dificulta la realización del posterior alistamiento ya que no se cuenta con una concentración adecuada de los productos sino todo lo contrario, existe una desagregación que genera el incremento de movimientos innecesarios y directamente pérdida de tiempo:

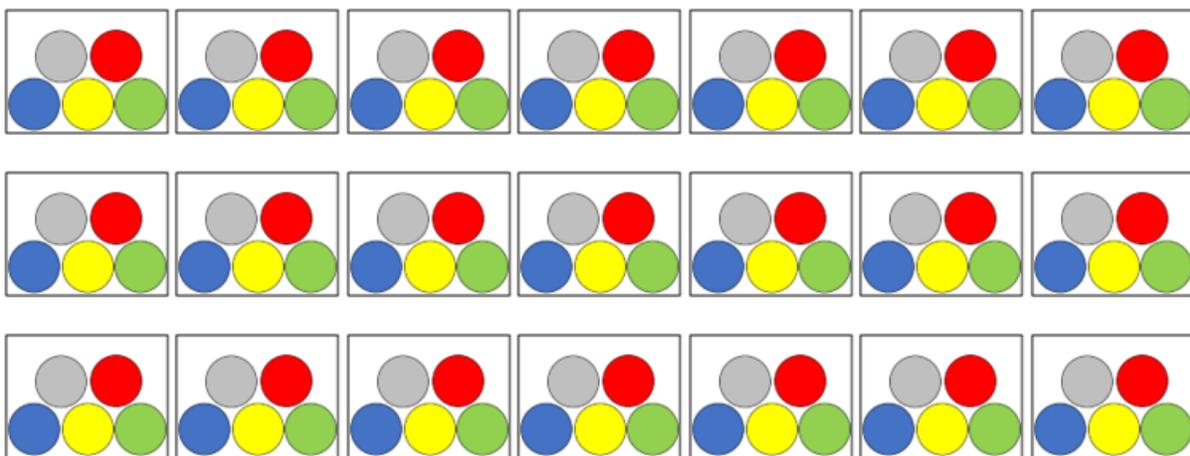


Ilustración 32 Imagen de Referencia de almacenamiento CEDI Colombia (Vista Frontal)

Lo que se plantea realizar es una selección de cada una de las referencias y ubicarlas en una ubicación específica donde existan más unidades de la misma referencia de manera que en el momento del alistamiento se realice un solo movimiento hacia una posición y no a varias como sucede en la actualidad, por ejemplo, en el modelo actual representado en la ilustración 31, si un operario necesitara alistar 5 rollos azules debería desplazarse hacia 5 posiciones distintas para poder alistar su pedido. Ahora, en la ilustración 33 se muestra la propuesta, en este caso si el operario necesitara los mismos 5 rollos solo bastaría con dirigirse hacia el cajón 1 de izquierda a derecha o al cajón 2 de derecha izquierda. Esto muestra la reducción de movimientos innecesarios y por consecuencia la reducción de costos.

Se estima que esta mejora reduzca la cantidad de operarios que se requieren para este proceso en 2, lo que genera una reducción del costo en cinco millones de pesos mensuales aproximadamente.

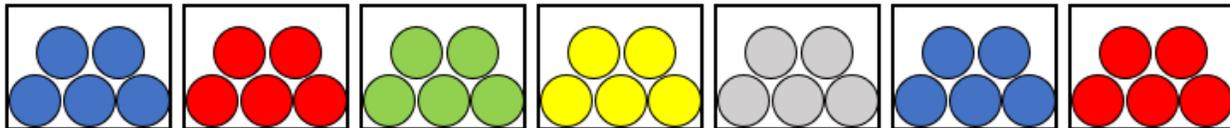


Ilustración 33 Modelo de Almacenamiento Propuesto

Slotting es otra palabra inglesa que significa ranurado, esto hace referencia al proceso de diseño para determinar la mejor ubicación o ranura para los productos en el CEDI, es decir, en cual ubicación debería estar ubicado determinado SKU. A continuación, se detalla el Slotting propuesto para el CEDI Colombia en función de la rotación de los productos en un modelo de inventarios ABC (Silva et al., 2022; Bao et al., 2017)

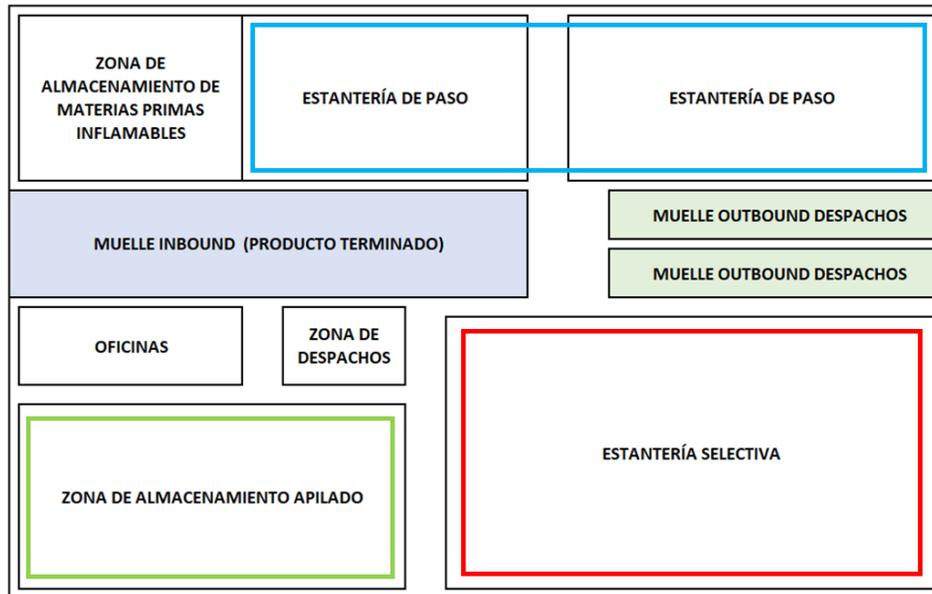


Ilustración 34 Modelo de Almacenamiento ABC

- **Zona Roja:** 80% de los SKU's que mayor rotación tienen se ubicarán en forma descendente en esta zona que es la más cercana a la zona de despachos y los muelles de despacho, de esta manera se obtendrá mejores resultados en la velocidad de alistamiento y despacho (Silva et al., 2022)(Bao et al., 2017).
- **Zona Verde:** 15% de los SKU's que mayor rotación tienen después de los productos tipo A, se ubicarán en esta zona ya que es la segunda más cercana a los muelles de despacho (Silva et al., 2022)(Bao et al., 2017) .
- **Zona Cian:** 5% de los SKU's restantes, se ubicarán en esta zona ya que es la más alejada a los muelles de despacho (Silva et al., 2022)(Bao et al., 2017).

Se pretende que con las propuestas en Put Away y Slotting, primero, se tenga un modelo de almacenamiento y concentración claro en el momento de la recepción, y segundo, se cuente con un modelo de ubicación estratégica de los productos, es decir, los productos que más roten se ubicarán siempre en la zona roja que es la más cercana a los muelles de despacho, esto

directamente decrementará los tiempos de alistamiento y disminuirán movimientos innecesarios.

Recepción RFID: Los TAG's RFID que se mencionaron anteriormente se usarán en este proceso con dos objetivos, el primero es automatizar el ingreso de rollos al CEDI por medio de la lectura de estos y no sea necesaria la manipulación por parte del operario, lo que minimizará los errores de cargue de inventarios en el sistema y en segundo caso tener el cargue del inventario en tiempo real, es decir tan pronto como llegan los productos al CEDI casi de inmediato se verán reflejados en el sistema WMS (Hékis et al., 2014)

Recepción WMS: La implementación del WMS anteriormente mencionado permitirá administrar el slotting, put away, ingreso del inventario por RFID y lanzamiento de tareas para los operarios de manera automática que se verán reflejadas en las PDT's que cada uno posee.

Almacenamiento:

Ajuste a la estrategia de almacenamiento: En la actualidad la compañía cuenta con un estrategia de administración de inventarios tipo FIFO (First In, First Out), esto quiere decir que siempre solicitará que se despache el rollo más antiguo de determinada referencia que exista en el CEDI, lo anterior genera un problema en cuanto la solicitud de un rollo que se encuentra debajo de otros niveles de producto lo que incrementa la manipulación de producto, incremento de tiempos de alistamiento y disminución de la productividad, en la ilustración 35 se muestra la llegada de rollos y como se almacenan en un pallet:



Ilustración 35 Secuencia de almacenamiento de rollos con estrategia FIFO

En la ilustración 36 se aprecia como se va llenando un pallet de un mismo SKU siguiendo lo planteado como mejora en el ítem Put Away antes descrito. En este caso supóngase que cada rollo llegó en el día con el que se encuentra marcado, es decir, el rollo 1 llegó el día 1, el rollo 2, el día 2 y así sucesivamente. Como se aprecia, el rollo número 1 quedará almacenado en el primer nivel debido a que llegó en el primer día al igual que los rollos 2, 3 y 4. Siguiendo la estrategia actual el sistema WMS pedirá al operario seleccionar el rollo 1 que se encuentra en primer nivel lo que supondrá que el operario manipule por lo menos los rollos del 5 al 11 (7 rollos) para poder extraer el rollo número 1, como se expuso anteriormente, esta operación como está diseñada incrementa los tiempos de alistamiento, manipulación y disminuye la productividad. Ahora se presenta un ejemplo con el almacenamiento a 3 niveles donde no se sigue la mejora de Put Away y hubo mezcla de rollos a lo largo del tiempo como sucede actualmente:

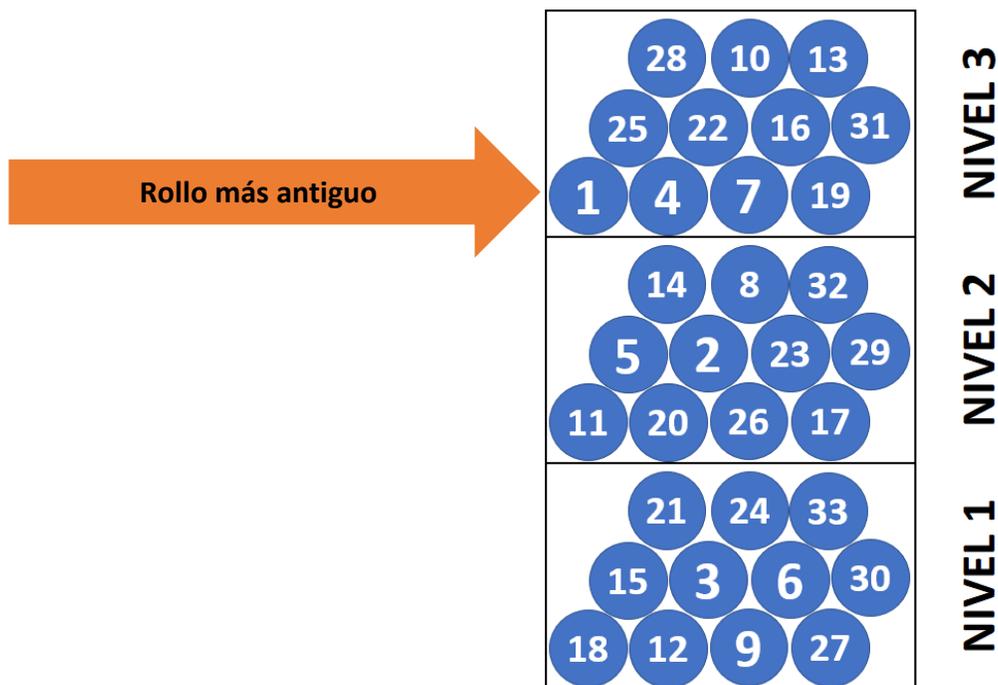


Ilustración 36 Almacenamiento a 3 niveles sin FIFO

En este último ejemplo se tendría que usar un equipo montacarga para bajar el pallet que está en el tercer nivel y llevarlo a nivel de piso para poder extraer el rollo número 1, cabe resaltar que aparte de este movimiento también se deben desplazar los rollos que se encuentran encima del rollo número 1 para poder manipularse tal como se indicó anteriormente.

Por lo anterior se sugiere un ajuste en la estrategia FIFO para mejorar el flujo operacional, incrementando la velocidad de alistamiento y reduciendo los movimientos innecesarios pero garantizando la correcta rotación del producto evitando la obsolescencia del inventario, se detalla la propuesta con un ejemplo:

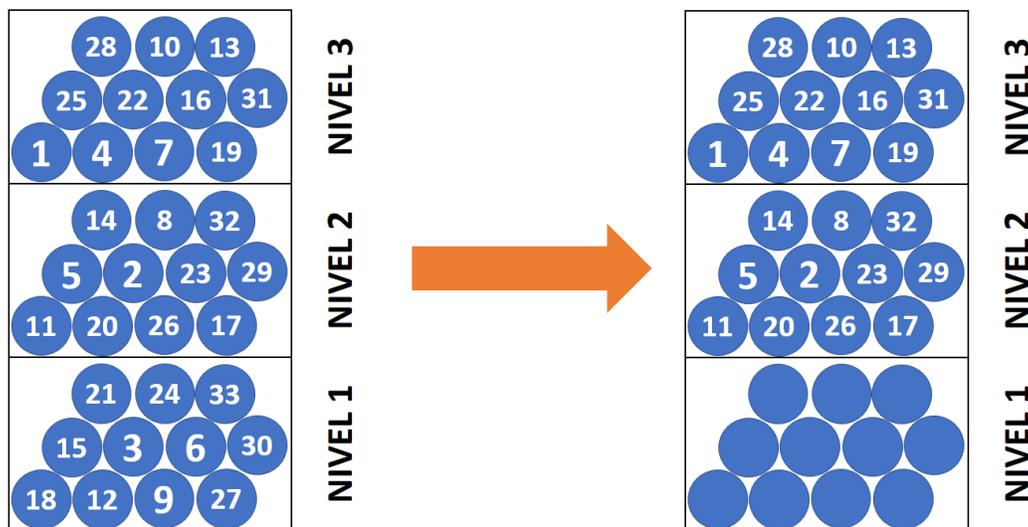


Ilustración 37 Propuesta de ajuste FIFO

Se plantea que el sistema WMS debe realizar los siguientes pasos:

1. Siempre seleccione los rollos de primer nivel sin importar el orden de llegada, es decir, omita el FIFO al momento de realizar el alistamiento, esto solo va a pasar en primer nivel o nivel del piso, lo anterior se debe a que en este nivel es donde se realiza las actividades de picking y son menores los tiempos y costos ya que no hay esperas por llegada de montacarga ni tampoco uso de los mismos. Con esta modificación el operario podrá tomar el rollo que se encuentra en la parte superior de la posición por lo cual no deberá manipular rollos adicionales.

2. Como se debe garantizar la correcta rotación del inventario, se usará la estrategia FIFO para segundos y terceros niveles una vez sea necesario reabastecer el primer nivel, este reabastecimiento se hará automáticamente en el WMS cuando solo quede un rollo en el pallet (Punto de Reorden):

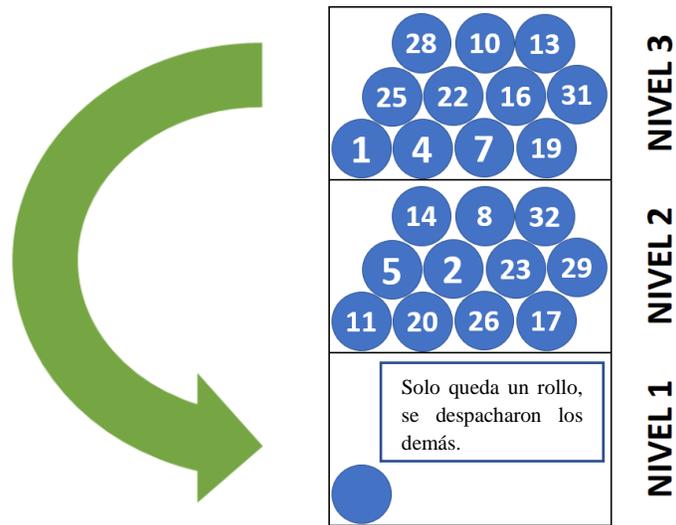


Ilustración 38 Punto de Reorden propuesta FIFO

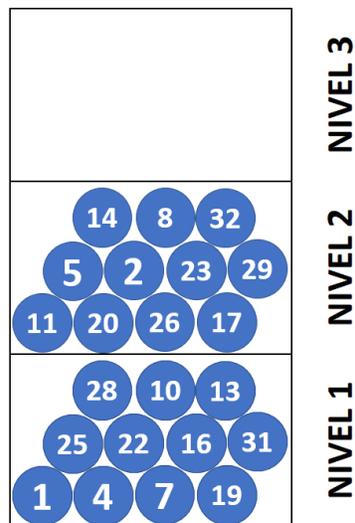


Ilustración 39 Ejecución de Reabastecimiento con propuesta FIFO

De esta manera se garantizará que los rollos más antiguos se encuentren a primer nivel y que serán los primeros que se alistarán y despacharán.

Diseño de modelo de capacidad de almacenamiento: En la actualidad la compañía no cuenta con un modelo de capacidad de almacenamiento, es decir, no se conoce la cantidad de rollos máximos que puede almacenar el CEDI en general, ni tampoco se conoce la capacidad de cada ubicación, lo que provoca el sobre almacenamiento en algunas ubicaciones y el sub almacenamiento en otras, en consecuencia, se presenta daño en producto terminado, pérdida de rollos en la ubicación sistemática y un alto riesgo de colapsar la operación general del CEDI debido a que sí se supera la capacidad de almacenamiento se tendrá que dejar rollos en el piso sin ubicación o en áreas comunes.

El modelo propuesto se basa en medir los diámetros de cada uno de los 160 SKU's únicos de modo que se pueda conocer la cantidad de rollos que puede caber en una posición en función del diámetro. A continuación se muestra un estudio realizado en el mes de Febrero de 2022 donde se relaciona la cantidad de rollos que caben en un pallet metálico estándar en función de su diámetro:

Tabla 13 Estudio de capacidad por pallet

ESTUDIO DE CAPACIDAD DE ROLLOS POR PALLET (DIÁMETRO)					
Desde (cms)	Hasta (cms)	Base (Rollos)	Altura (Niveles)	Rollos/Pallet	Observación
12	17	13	12	150	6 Filas de 13 / 6 Filas de 12
18	20	7	7	49	7 Filas de 7
21	23	6	6	36	6 Filas de 6
24	24	5	6	30	5 Filas de 6
25	27	5	5	25	5 Filas de 5
28	29	5	5	23	3 Filas de 5 / 2 Filas de 4
30	33	4	5	20	5 filas de 4

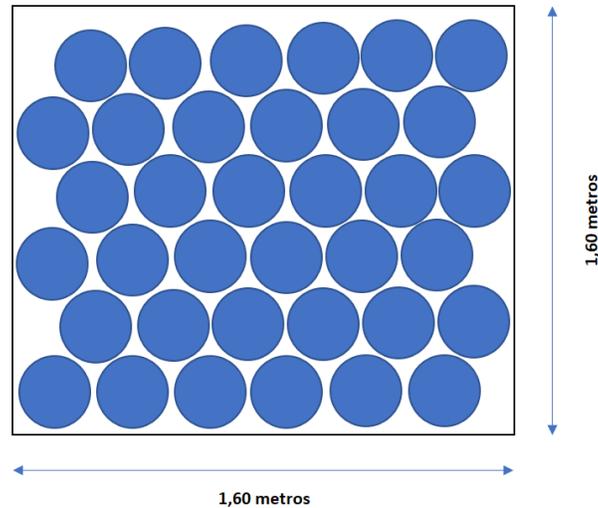


Ilustración 40 Ejemplo de cantidad de rollos en un pallet (Diámetro de 21 a 23 centímetros)

Como se muestra en la ilustración 40, un pallet podría almacenar como máximo 36 rollos de referencias que tengan un diámetro entre 21 y 23 centímetros (es preciso recordar que todos los rollos fabricados por la compañía tienen un largo de 1,40 metros lo que hace que esta longitud sea constante y por lo tanto irrelevante en el modelo), es decir que, cuando un pallet tenga 36 rollos sería lo equivalente a decir que se encuentra al 100% de la capacidad.

El modelo está basado en el concepto algebraico en cuanto la suma de términos iguales:

$$A+B = A+B, \text{ mientras que: } A+A= 2A$$

En el ejemplo anterior se evidencia que cuando se tienen términos iguales es posible sumarlos, mientras que, cuando se tienen términos diferentes no es posible, para el caso de este modelo, como se tienen diferentes diámetros la propuesta es convertirlos equivalentemente a un solo término que se denomina Unidad Tipo y de esta manera poder realizar cálculos matemáticos directos. Para el caso del CEDI Colombia se seleccionó como Unidad Tipo la referencia *Pranna* debido a que es una de las referencias top en ventas y es emblemática de la organización. Como *Pranna* es la Unidad Tipo seleccionada todas las demás referencias se modificarán matemáticamente para convertirlas equivalentemente a unidades de *Pranna*. A continuación, se detalla el modelo de equivalencias:

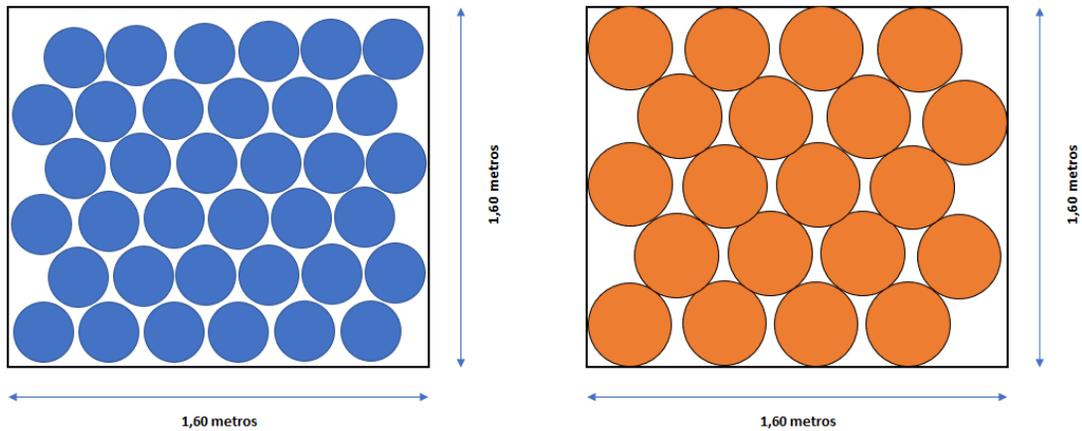


Ilustración 41 Modelo de Equivalencias

En la ilustración 41, en la parte izquierda, se encuentran 36 rollos de Pranna (Diámetro de 23 centímetros) y en la parte derecha otra referencia indeterminada de 26 centímetros de diámetro, en este ejemplo es adecuado afirmar que el pallet de la izquierda es igual a la derecha en términos de medidas ya que los dos son iguales, por ello es posible afirmar qué:

1 pallet lleno de Pranna = 1 pallet lleno de SKU 1 (Indeterminado)

Por otro lado, teniendo en cuenta que ambos pallets están llenos, también es correcto afirmar que sus contenidos también son iguales, en este caso tenemos:

36 rollos de Pranna = 20 rollos indeterminados de diámetro entre 30 y 33 centímetros

Ahora con lo expuesto anteriormente es posible realizar la conversión de cualquier rollo, de cualquier referencia y cualquier diámetro, a la Unidad Tipo establecida que es Pranna. A continuación, se muestra un ejemplo de como funcionaría el modelo:

Ejemplo1 (Almacenamiento de un solo SKU en un pallet): Se tiene en un pallet con 15 rollos de un SKU indeterminado, se conoce que su diámetro es de 17 centímetros, a continuación, se mostrará a cuantos rollos de Pranna equivalen.

1. Realizar conversión de cualquier referencia a Pranna:

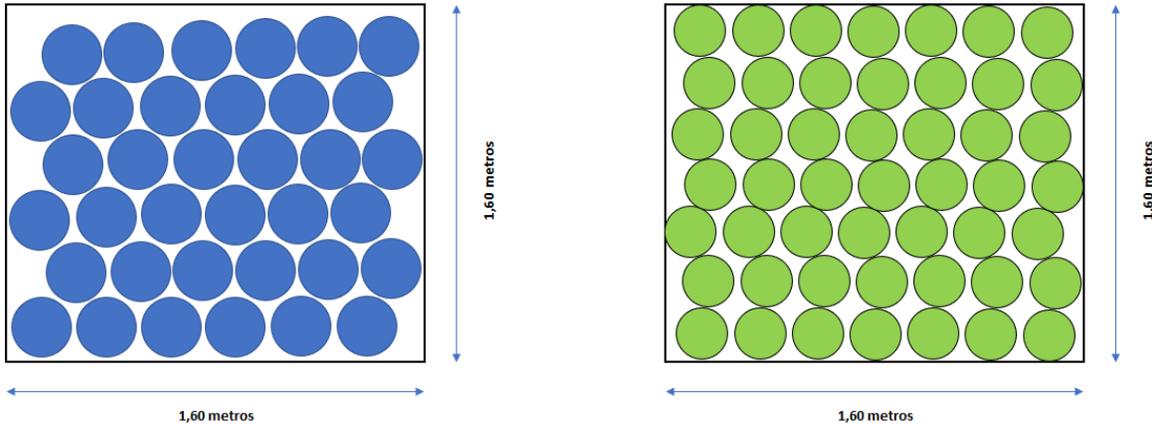


Ilustración 42 Ejemplo 1 modelo de equivalencias, pallets llenos

Realizamos un cálculo basado en una regla de tres simple directa:

$$\frac{36 \text{ rollos de Pranna}}{?} = \frac{49 \text{ rollos de diametro entre 18 y 20 centímetros}}{15 \text{ rollos de diametro entre 18 y 20 centímetros}}$$

$$\frac{36 \text{ rollos de Pranna} * 15 \text{ rollos de diametro entre 18 y 20 centímetros}}{49 \text{ rollos de diametro entre 18 y 20 centímetros}} = ?$$

$$\frac{36 \text{ rollos de Pranna} * 15}{49} = ?$$

$$11 \text{ rollos de Pranna (Equivalentes)} \approx ?$$

Debido a que esta variable es discreta se realizarán aproximaciones por defecto al entero más cercano según corresponda, para este caso el resultado de la operación es: 11,02040816 por lo que se aproxima por defecto al entero 11, lo anterior debido a que es adecuado que el pallet se encuentre un poco por debajo de su capacidad nominal pero nunca por encima

ya que esto trae consigo problemas de exceso de peso en el pallet. Como conclusión se afirma que 15 rollos de diámetro entre 18 y 20 centímetros equivalen a 11 rollos de Pranna.

2. Estimar la ocupación de la posición porcentualmente:

Nuevamente se usa el concepto de regla de tres simple directa solo que se realizará en función de la capacidad máxima que es 100% con el fin de conocer a que porcentaje correspondiente a los 11 rollos de Pranna equivalentes, como premisa es importante resaltar que un pallet al 100% de su capacidad equivale a 36 rollos de Pranna:

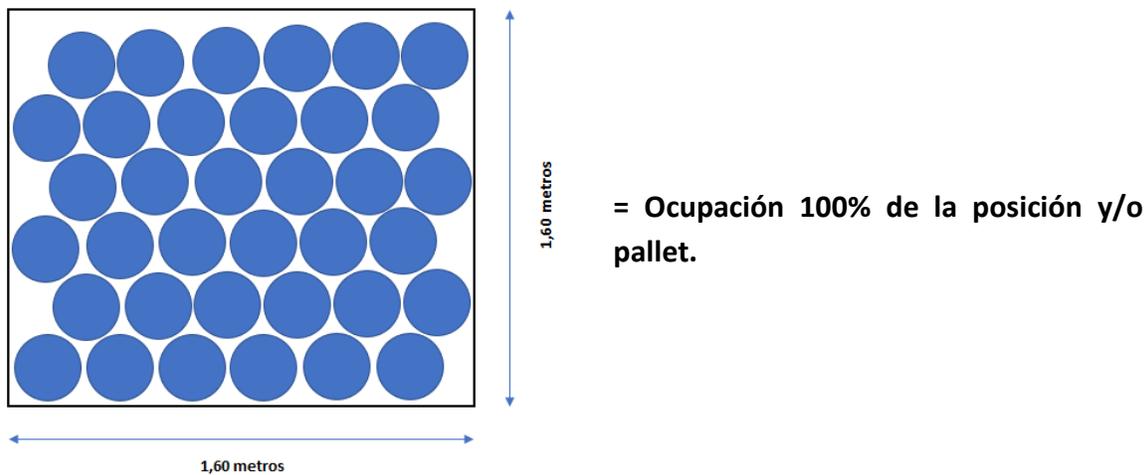


Ilustración 43 Imagen de un pallet lleno de Pranna

Realizamos un cálculo basado en una regla de tres simple directa:

$$\frac{36 \text{ rollos de Pranna}}{11 \text{ rollos de Pranna}} = \frac{100\% \text{ del pallet}}{?}$$
$$? = \frac{100\% \text{ del pallet} * 11 \text{ rollos de Pranna}}{36 \text{ rollos de Pranna}}$$
$$? = \frac{100\% \text{ del pallet} * 11}{36}$$

? = 30,5% del pallet

? \simeq 31% del pallet

A continuación, se detalla el resultado de ocupación, en síntesis esto quiere decir que los 15 rollos de un SKU indeterminado que se encuentran entre 18 y 20 centímetros de diámetro equivalen a 11 rollos de Pranna y ocupan un pallet en un 31% aproximadamente:

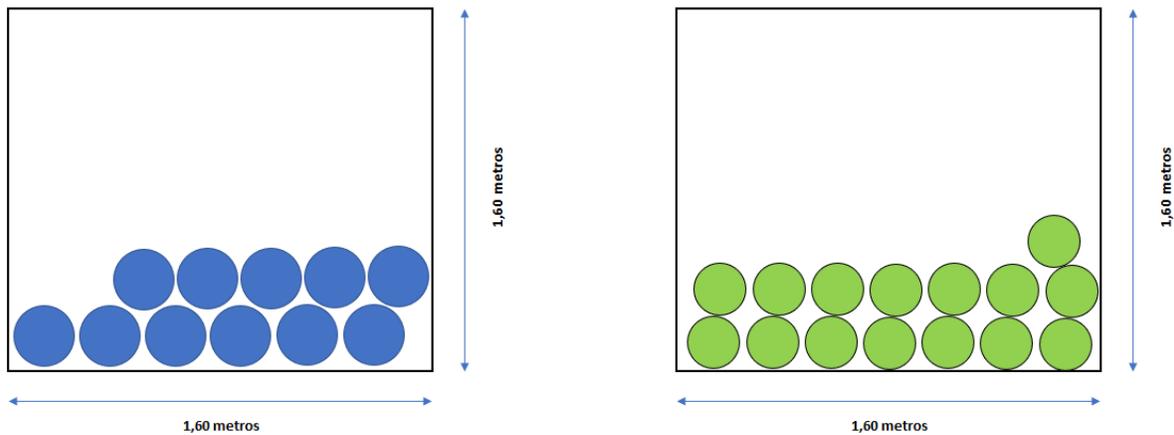


Ilustración 44 Imagen de rollos de equivalencias

En la ilustración 44 se muestra la comprobación de los cálculos del modelo, se evidencia que los 11 rollos de Pranna equivalente coinciden con alta aproximación al 31% que arrojó el resultado de los cálculos:

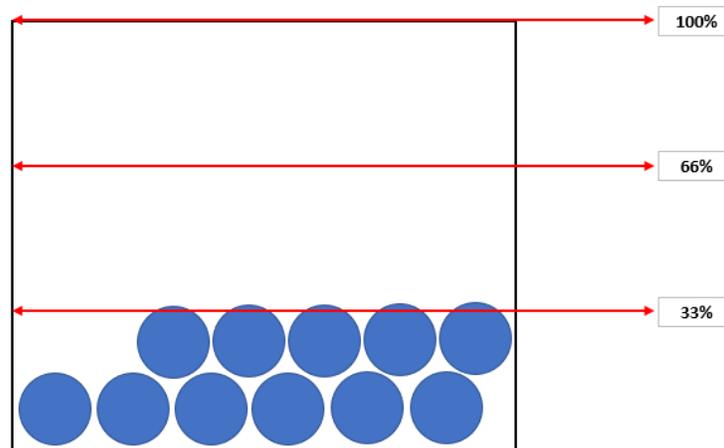


Ilustración 45 Comprobación gráfica de funcionalidad del modelo propuesto

Ejemplo2 (Almacenamiento de múltiples SKU en un pallet): Se tiene un pallet con 3 referencias almacenadas: se tienen 15 rollos de un SKU 1 con diámetro de 12 centímetros, 6 rollos de un SKU 2 con diámetro de 18 centímetros y 7 rollos de un SKU 3 de un diámetro de 21 centímetros. Para ello se usa el mismo modelo anteriormente expuesto:

SKU 1:

3,6 rollos de Pranna (Equivalentes)

SKU 2:

4,4 rollos de Pranna (Equivalentes)

SKU 3:

7 rollos de Pranna (Equivalentes)

Teniendo los resultados de cada una de las conversiones de este ejemplo se procederá a sumar estos valores, ya que como se mencionó anteriormente son términos iguales, cabe resaltar que en este caso no se deben aproximar por defecto inicialmente:

$$3,6 \text{ rollos de Pranna} + 4,4 \text{ rollos de Pranna} + 7 \text{ rollos de Pranna} = 15 \text{ rollos de Pranna}$$

Los resultados obtenidos por el modelo indican que en el pallet del *Ejemplo2* hay 15 rollos de Pranna equivalente, paso seguido se procede a determinar el valor en porcentaje que corresponde a:

$$15 \text{ rollos de Pranna (Equivalentes)} \approx 42\% \text{ del pallet}$$

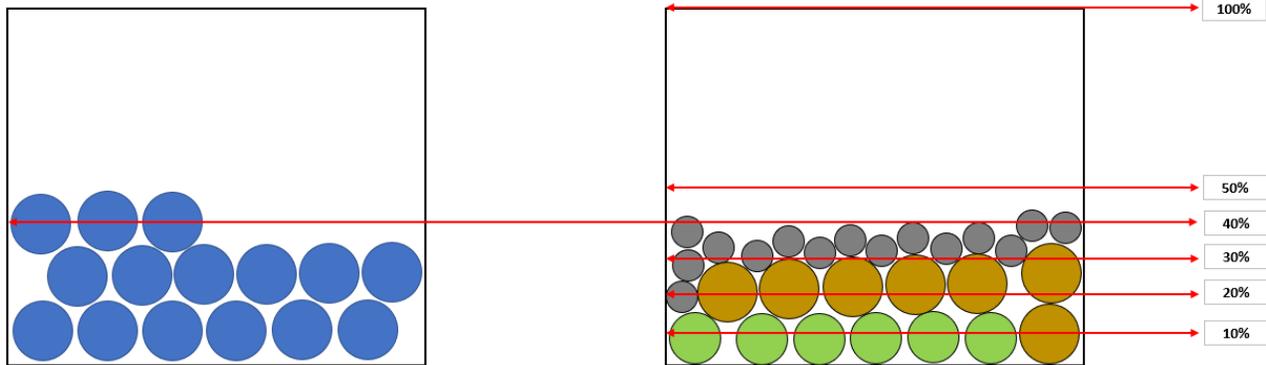


Ilustración 46 Comprobación 2 de funcionalidad del modelo

Se puede apreciar que los datos equivalentes son bastante cercanos a la que sucede en la modulación de almacenamiento real, aunque vale la pena mencionar que el modelo tiene un margen de error debido a que no contempla la diferencia que existe en los espacios que dejan los rollos al colocarse unos encima de otros; por otro lado, es importante mencionar que este modelo se considera de alta practicidad a pesar de que se tiene un pequeño error en la conversión de los diámetros.

Después de mostrar el detalle del modelo de equivalencias, el objetivo siguiente es poder establecer la cantidad máxima de rollos de Pranna equivalentes que puede almacenar el CEDI Colombia en total y en cada una de las posiciones, a continuación se detallan los cálculos para determinar esta capacidad:

$$\text{Capacidad Máxima CEDI Colombia} = \text{N}^\circ \text{ de posiciones} * 36 \text{ rollos de Pranna}$$

$$\text{Capacidad Máxima CEDI Colombia} = 2.200 * 36 \text{ rollos de Pranna}$$

$$\text{Capacidad Máxima CEDI Colombia} = 79.200 \text{ rollos de Pranna}$$

De acuerdo con el modelo de almacenamiento propuesto se tiene una capacidad máxima de 79.200 rollos de Pranna equivalentes, este dato permite tener una idea clara de la cantidad de rollos que se pueden almacenar como máximo en el CEDI Colombia con las condiciones

actuales, a continuación, se mostrará un ejercicio realizado durante los meses de Febrero y Marzo de 2022 en días hábiles utilizando el modelo de almacenamiento antes mencionado con los inventarios de PT de esos días:

Tabla 14 Aplicación del modelo de almacenamiento propuesto (General CEDI)

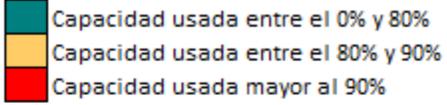
Capacidad Máxima Establecida (Rollos)		
79.200		
Fecha	Rollos Equivalentes	% Capacidad Utilizada
1-feb	64.774	Sin Datos - Sin Modelo
2-feb	69.230	Sin Datos - Sin Modelo
3-feb	65.525	Sin Datos - Sin Modelo
4-feb	64.773	Sin Datos - Sin Modelo
7-feb	66.840	Sin Datos - Sin Modelo
8-feb	64.020	Sin Datos - Sin Modelo
9-feb	69.141	Sin Datos - Sin Modelo
10-feb	65.781	Sin Datos - Sin Modelo
11-feb	68.616	Sin Datos - Sin Modelo
14-feb	65.887	Sin Datos - Sin Modelo
15-feb	64.019	Sin Datos - Sin Modelo
16-feb	67.520	Sin Datos - Sin Modelo
17-feb	65.476	Sin Datos - Sin Modelo
18-feb	69.861	Sin Datos - Sin Modelo
21-feb	64.710	Sin Datos - Sin Modelo
22-feb	69.408	Sin Datos - Sin Modelo
23-feb	69.290	Sin Datos - Sin Modelo
24-feb	68.625	Sin Datos - Sin Modelo
25-feb	65.342	Sin Datos - Sin Modelo
28-feb	68.103	Sin Datos - Sin Modelo
Fecha	Rollos Equivalentes	% Capacidad Utilizada
1-mar	66.275	83,7%
2-mar	63.063	79,6%
3-mar	67.601	85,4%
4-mar	63.664	80,4%
7-mar	69.728	88,0%
8-mar	64.768	81,8%
9-mar	69.635	87,9%
10-mar	69.342	87,6%
11-mar	63.700	80,4%
14-mar	72.373	91,4%
15-mar	64.774	81,8%
16-mar	70.804	89,4%
17-mar	71.147	89,8%
18-mar	64.178	81,0%
21-mar	71.749	90,6%
22-mar	71.226	89,9%
23-mar	65.741	83,0%
24-mar	69.904	88,3%
25-mar	65.785	83,1%
28-mar	69.127	87,3%
29-mar	63.546	80,2%
30-mar	69.461	87,7%
31-mar	64.361	81,3%

- Capacidad usada entre el 0% y 80%
- Capacidad usada entre el 80% y 90%
- Capacidad usada mayor al 90%

En caso siguiente se mostrará el estado de cada una de las posiciones del *Pasillo A* para ver el detalle del modelo a nivel de posiciones:

Tabla 15 Aplicación del modelo de almacenamiento propuesto (Por ubicaciones)

Capacidad Máxima Establecida Por Ubicación (Rollos)		
36		
Fecha	Rollos Equivalentes	% Capacidad Utilizada
A-01-A	29	80,6%
A-03-A	31	86,1%
A-05-A	27	75,0%
A-07-A	29	80,6%
A-09-A	36	100,0%
A-11-A	36	100,0%
A-13-A	36	100,0%
A-15-A	24	66,7%
A-17-A	35	97,2%
A-19-A	24	66,7%
A-21-A	27	75,0%
A-23-A	29	80,6%
A-25-A	31	86,1%
A-27-A	28	77,8%
A-29-A	36	100,0%
A-31-A	36	100,0%
A-33-A	36	100,0%
A-35-A	21	58,3%
A-37-A	15	41,7%
A-41-A	34	94,4%



Capacidad usada entre el 0% y 80%
Capacidad usada entre el 80% y 90%
Capacidad usada mayor al 90%

En la imagen anterior se aprecia que con el modelo propuesto se conoce el uso de la capacidad máxima de cada una de las posiciones del CEDI Colombia, esto supone una mejora en tema de optimización del almacenamiento ya que con estos datos podemos realizar unificación de productos para obtener mejores resultados. Supóngase que la ubicación A-35-A y A-37-A son de la misma referencia en este caso podríamos unificar estas dos ubicaciones en una sola: $A-35-A = 58,3\% + A-37-A = 41,7 = 100\%$ y dejar la otra posición vacía para almacenar otro producto.

Cantidad de pallets para almacenamiento: En la actualidad la compañía no cuenta con un modelo que indique cuantos pallets se necesitan para almacenar el producto que se fabricará y permanecerá en stock, por ello es necesario almacenar a piso, esto refiere una mala práctica logística ya que se puede dañar, ensuciar o extraviar el PT, es de resaltar que a Febrero de

2022 se cuenta con un total de 1.273 palletes metálicos. A continuación, se detalla un ejemplo del método empleado para calcular la cantidad de pallets metálicos necesarios para la operación:

1. Se tomó el pronóstico de ventas estimado para cada uno de los meses con proyección a un año (Por razones visuales no se incluye toda la tabla que contiene 3.500 líneas que corresponde a cada uno de los SKU's que la compañía maneja:

Tabla 16 *Tabla Pronóstico de Ventas (Metros Lineales)*

FORECAST VENTAS EN METROS LÍNEALES												
SKU / Mes	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23
SKU1	1.830	4.037	4.023	1.083	3.966	4.245	1.335	4.319	1.465	1.857	3.152	2.107
SKU2	3.468	2.604	4.490	3.697	4.705	1.428	2.140	4.852	4.567	1.491	3.690	4.654
SKU3	4.709	4.372	3.270	3.513	3.916	1.159	1.210	2.959	3.447	4.213	2.752	4.729
SKU4	1.992	2.411	3.653	3.958	1.807	1.859	3.446	4.194	1.583	4.582	3.992	3.081
SKU5	3.651	1.351	2.501	4.991	2.024	3.463	4.039	2.874	4.964	3.729	2.207	1.387
SKU6	4.835	2.749	2.966	4.166	1.433	4.778	3.077	2.329	3.284	4.732	4.772	3.498
SKU7	2.011	1.863	3.800	4.324	2.974	4.697	3.595	3.319	1.802	4.032	3.481	1.912
SKU8	2.642	2.953	4.420	4.159	2.992	1.312	4.201	2.643	4.617	4.520	1.228	2.193
SKU9	4.633	3.836	4.031	1.927	2.603	2.216	2.811	3.746	3.079	2.477	2.627	4.610
SKU10	3.804	2.716	2.105	1.849	4.160	2.209	3.013	3.710	2.730	1.705	4.044	2.859
....												
SKU3500	2.087	2.024	3.691	3.453	1.443	1.986	2.011	3.785	1.395	2.977	4.017	4.140

2. Realizar la conversión de metros lineales a rollos de cada uno de los SKU's del pronóstico con el propósito de identificar cual será la cantidad de rollos a almacenar:

Tabla 17 *Pronóstico de ventas en rollos equivalentes*

FORECAST VENTAS EN ROLLOS												
SKU / Mes	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23
SKU1	46	101	101	27	99	106	33	108	37	46	79	53
SKU2	116	87	150	123	157	48	71	162	152	50	123	155
SKU3	236	219	164	176	196	58	61	148	172	211	138	236
SKU4	50	60	91	99	45	46	86	105	40	115	100	77

SKU5	122	45	83	166	67	115	135	96	165	124	74	46
SKU6	242	137	148	208	72	239	154	116	164	237	239	175
SKU7	51	47	95	108	74	117	90	83	45	101	87	48
SKU8	89	98	147	139	100	44	140	88	154	151	41	73
SKU9	232	192	202	96	130	111	141	187	154	124	131	231
SKU10	96	68	53	46	104	55	75	93	68	43	101	71
....												
SKU3500	70	67	123	115	48	66	67	126	47	99	134	138

3. Realizar la conversión de rollos estándar a rollos equivalentes de Pranna ya que cada SKU tiene diámetro diferente (Modelo de equivalencias propuesto anteriormente):

Tabla 18 *Pronóstico de Ventas en Rollos de Pranna Equivalentes*

FORECAST VENTAS EN ROLLOS DE PRANNA EQUIVALENTES												
SKU / Mes	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23
SKU1	11	24	24	6	24	25	8	26	9	11	19	13
SKU2	85	64	110	91	115	35	52	119	112	37	90	114
SKU3	236	219	164	176	196	58	61	148	172	211	138	236
SKU4	60	72	110	119	54	56	103	126	47	137	120	92
SKU5	176	65	120	240	97	166	194	138	238	179	106	67
SKU6	379	215	232	326	112	374	241	182	257	370	373	274
SKU7	92	84	171	195	134	211	162	149	81	181	157	86
SKU8	139	154	231	217	156	68	219	138	241	236	64	114
SKU9	334	276	290	139	187	160	202	270	222	178	189	332
SKU10	115	81	63	55	125	66	90	111	82	51	121	86
....												
SKU3500	70	67	123	115	48	66	67	126	47	99	134	138

4. Realizar la conversión de rollos a pallets, esto se logra dividiendo cada valor en 36 ya que es la cantidad de rollos de Pranna que caben en un pallet metálico:

Tabla 19 Cantidad de pallets necesarios para cubrir el pronóstico de ventas

PALLETS NECESARIOS PARA SOPORTAR EL FORECAST DE VENTAS												
SKU / Mes	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23
SKU1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
SKU2	2	2	3	3	3	1	1	3	3	1	3	3
SKU3	7	6	5	5	5	2	2	4	5	6	4	7
SKU4	2	2	3	3	2	2	3	3	1	4	3	3
SKU5	5	2	3	7	3	5	5	4	7	5	3	2
SKU6	11	6	6	9	3	10	7	5	7	10	10	8
SKU7	3	2	5	5	4	6	4	4	2	5	4	2
SKU8	4	4	6	6	4	2	6	4	7	7	2	3
SKU9	9	8	8	4	5	4	6	7	6	5	5	9
SKU10	3	2	2	2	3	2	3	3	2	1	3	2
....												
SKU3500	2	2	3	3	1	2	2	4	1	3	4	4

Los datos que se muestran en la tabla anterior corresponden a los pallets necesarios para almacenar el producto que se va a fabricar, en el estudio realizado en Junio de 2022 con las 3.500 SKU's indicó que se requieren 1.753 pallets, la compañía cuenta con 1.026 por lo que se propone realizar la compra de 727 pallets para eliminar el problema de almacenamiento a piso.

Exactitud del Inventario: Es de alta relevancia el control del inventario una vez se haya almacenado el producto, es decir, evitar que el producto se pueda extraviar en el CEDI bajo cualquier condición (Ikasari et al., 2021). Para garantizar el control mencionado se plantea trabajar desde dos aristas:

- **Exactitud en Registro de Inventarios (ERI General):** Este control se realizará mediante un conteo físico el cual se realizará por medio de drones que leerá las etiquetas RFID antes mencionadas y transmitirá esta información al WMS, esto es lo que se

reflejaría como inventario físico. Se recomienda realizar por lo menos 4 veces en el año, es decir cada 3 meses, el valor mínimo del ERI debe ser mínimo del 95% como política propuesta. A continuación, se detalla la fórmula propuesta para el cálculo del ERI General:

$$ERI\ General = \frac{N^{\circ}\ de\ SKU's\ sin\ diferencias}{N^{\circ}\ de\ SKU's\ con\ existencia\ en\ sistema\ WMS} * 100\%$$

- Exactitud en Registro de Inventarios (ERI Cíclico):** Este control se realizará mediante un conteo físico diario a ciertos SKU's de acuerdo con una programación aleatoria establecida en un diagrama tipo Gantt, es de resaltar que la totalidad de SKU's se deben barrer en un mes, a continuación, se muestra un ejemplo con 20 SKU's en el mes de Octubre de 2022 donde evidencia la aleatorización de los SKU's en la parte izquierda y su relación con cada una de las fechas donde debe realizarse el conteo:

Tabla 20 Ejemplo de programación de ERI Cíclico

REFERENCIA/FECHA	03/10/22	04/10/22	05/10/22	06/10/22	07/10/22	10/10/22	11/10/22	12/10/22	13/10/22	14/10/22	18/10/22	19/10/22	20/10/22	21/10/22	24/10/22	25/10/22	26/10/22	27/10/22	28/10/22	31/10/22
SKU 20	■																			
SKU 4		■																		
SKU 18			■																	
SKU 1				■																
SKU 15					■															
SKU 7						■														
SKU 8							■													
SKU 19								■												
SKU 2									■											
SKU 11										■										
SKU 6											■									
SKU 13												■								
SKU 3													■							
SKU 5														■						
SKU 17															■					
SKU 9																■				
SKU 14																	■			
SKU 10																		■		
SKU 16																			■	
SKU 12																				■

A continuación, se detalla la fórmula propuesta para el cálculo del ERI Cíclico:

$$ERI \text{ Cíclico} = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades contadas físicamente del SKU 1}}{N^{\circ} \text{ de unidades del SKU 1 registradas en sistema WMS}} * 100\%$$

A continuación, se muestra el cálculo del ERI General y Cíclico con datos del primer trimestre de 2022 para el caso del general y de un día del mes de Febrero para el caso del cíclico:

ERI General para el primer trimestre de 2022:

$$ERI \text{ General Q1} = \frac{N^{\circ} \text{ de SKU's sin diferencias}}{N^{\circ} \text{ de SKU's con existencia en sistema WMS}} * 100\%$$

$$ERI \text{ General Q1} = \frac{3.017}{3.500} * 100\%$$

$$ERI \text{ General Q1} = 0,862 * 100\%$$

$$ERI \text{ General Q1} = 86,2\%$$

Como resultado se obtuvo un 86,2% como ERI General del primer trimestre lo que indica que se tiene una brecha importante debido a que se planteó una meta mínima del 95%. Con lo anterior se evidencia que la propuesta muestra la salud del CEDI Colombia en cuanto inventarios refiere.

ERI Cíclico para el 03 de Octubre de 2022:

$$ERI \text{ Cíclico SKU 20} = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades contadas físicamente del SKU 1}}{N^{\circ} \text{ de unidades del SKU 1 registradas en sistema WMS}} * 100\%$$

$$ERI \text{ Cíclico SKU 20} = \frac{278}{278} * 100\%$$

ERI Cíclico SKU 20 = 100%

El principal objetivo del conteo diario (ERI Cíclico) es detectar irregularidades tempranas entre el inventario físico versus el inventario teórico y de esta manera evidenciar si existen o no, fugas de producto en el CEDI Colombia. Para el cálculo del anterior SKU se obtuvo un 100% de exactitud por lo que se afirma que el producto está completo y no es necesario realizar correcciones.

Basado en lo anterior, esta propuesta es una mejora para el proceso de almacenamiento ya que se pueden tomar decisiones basados en datos y hechos, es de resaltar que en la actualidad no se tiene un indicador establecido para el control de inventarios.

Este modelo de control de inventarios propuesto reduce la pérdida de inventario debido a que se controla de forma sistemática y frecuente, el ahorro estimado es de 30 millones de pesos mensuales que corresponde a unidades no encontradas al contarlas físicamente.

Alistamiento:

Toma de tiempos y productividad: En el proceso de Alistamiento se tomará el mismo dato que el realizado en el ítem de Recepción, lo anterior debido que los procesos de recepción y alistamiento son inversas, es decir, la recepción es ingresar producto a las ubicaciones mientras que el alistamiento es retirar producto de éstas para enviar a clientes, como en esencia son procesos semejantes la meta de productividad por persona se estima en 300 rollos/turno (Snowdon et al., 2022).

Definición de estrategia para lanzamiento de Pedidos: En la actualidad no se tiene un concepto claro de lanzamiento de pedidos, es decir con qué frecuencia se deben alistar los pedidos, en algunas ocasiones se lanzan pedidos con estrategia Batch (Lote) y en otras

ocasiones con estrategia Wave (Ola) sin razones lógicas precisas, en el sistema que actualmente se maneja tiene las dos opciones y los supervisores de operación que son los encargados de administrar este tema seleccionan indiscriminadamente la estrategia ya que se tiene la hipótesis que no tienen claridad sobre los beneficios y contras de cada una de estas estrategias (Guo et al., 2022).

- **Batch (Lote):** Es el lanzamiento de pedidos para alistarse en un único recorrido en el CEDI Colombia, es decir, se consolidan todos los pedidos en un único pedido de mayor tamaño, este alistamiento se realizará visitando una única vez una ubicación y tomando la totalidad de producto que se necesitan para todos el listado de clientes, esto sugiere una optimización en el número de recorridos pero un incremento sustancial en el tiempo de alistamiento ya que no se dará por finalizado hasta que se tome el último rollo.
- **Wave (Ola):** Es el lanzamiento de pedidos para alistarse en múltiples recorridos en el CEDI Colombia, a cada recorrido se le denomina *Wave* u *Ola*, es decir, cada cierto tiempo se realiza el lanzamiento de una cantidad determinada de pedidos (Ola), ésta contiene solamente un conjunto de pedidos específicos, por lo anterior este alistamiento se realizará visitando una ubicación de determinado SKU cada cierto tiempo, esto sugiere una optimización en el tiempo de segregación de los pedidos al momento del despacho pero incrementa sustancialmente los recorridos.

De acuerdo con lo anterior, se recomienda usar y estandarizar el método de alistamiento tipo Batch (Lote), debido a que la operación se propone que sea dividida en lapsos de 8 horas (Guo et al., 2022):

- Alistamiento de productos para Operación Nacional: 6 am a 2 pm, lanzamiento de lote de pedidos a las 6 am para ejecutar alistamiento durante 8 horas.
- Alistamiento de productos para Operación Bogotá: 2 pm a 10 pm, lanzamiento de lote de pedidos a las 2 pm para ejecutar alistamiento durante 8 horas.

- Alistamiento de productos para Operación Exportación: 10 pm a 6 am, lanzamiento de lote de pedidos a las 10 pm para ejecutar alistamiento durante 8 horas.

Lo anterior es de carácter lógico ya que no es necesario tener listo pedidos parciales antes de las 2pm, 10 pm y 6 am respectivamente, sino todo lo contrario, es necesario tener la totalidad del producto listo antes de esas horas ya que debe despacharse completo.

Despacho:

Indicadores clave de despacho: En el proceso de despacho es importante medir la efectividad del proceso de entrega de acuerdo con lo pactado con los clientes, en la actualidad no se cuenta con un modelo claro para medir la eficiencia general del mismo, por lo anterior se plantea un modelo de indicadores claves a medir (Yuan & Xin, 2022):

- **On Time (A tiempo):** Indicador porcentual que mide la cantidad de pedidos que llegaron el mismo día o antes de la fecha solicitada por el cliente durante un lapso (Sanchez et al., 2021):

$$On\ time = \frac{N^{\circ}\ pedidos\ entregados\ a\ tiempo}{N^{\circ}\ total\ de\ pedidos\ solicitados} * 100\%$$

- **In Full (Completo):** Indicador porcentual que mide la cantidad de pedidos que llegaron exactamente con la cantidad de producto (metros lineales) solicitada por el cliente durante un lapso definido (Sanchez et al., 2021):

$$In\ full = \frac{N^{\circ}\ pedidos\ entregados\ completos}{N^{\circ}\ total\ de\ pedidos\ solicitados} * 100\%$$

- **OTIF - On Time In Full (A tiempo y completo):** Indicador porcentual que mide la relación de pedidos completos y a tiempo, finalmente es un indicador que permite medir directamente la satisfacción total del cliente (Sanchez et al., 2021):

$$OTIF = On Time * In Full$$

A continuación, se presenta el modelo para la obtención del OTIF del proceso de despacho con datos del mes de Abril de 2022:

- **On Time** calculado para Abril de 2022 CEDI Colombia:

$$On\ time = \frac{N^{\circ}\ pedidos\ entregados\ a\ tiempo}{N^{\circ}\ total\ de\ pedidos\ solicitados} * 100\%$$

$$On\ time = \frac{4.411}{4.874} * 100\%$$

$$On\ time = 0,905 * 100\%$$

$$On\ time = 90,5\%$$

El resultado obtenido indica que por cada 100 pedidos que ingresan a compañía estamos entregado 90 a tiempo.

- **In Full** calculado para Abril de 2022 CEDI Colombia:

$$In\ full = \frac{N^{\circ}\ pedidos\ entregados\ completos}{N^{\circ}\ total\ de\ pedidos\ solicitados} * 100\%$$

$$In\ Full = \frac{4.279}{4.874} * 100\%$$

$$In\ Full = 0,878 * 100\%$$

$$In\ Full = 87,8\%$$

El resultado obtenido indica que por cada 100 pedidos que ingresan a compañía estamos entregado 87 completos.

- **OTIF** calculado para Abril de 2022 CEDI Colombia:

$$OTIF = On\ Time * In\ Full$$

$$OTIF = 90,5\% * 87,8\%$$

$$OTIF = 79,4\%$$

El resultado obtenido indica que por cada 100 pedidos que ingresan a compañía estamos entregado solamente 79 a tiempo y completos, este valor es muy bajo de cara a la satisfacción de los clientes, se recomienda establecer como meta inicial un 90% de OTIF e ir incrementando 1 punto porcentual cada 3 meses hasta llegar a incorporar una meta del 98%.

Tabla 21 Indicador OTIF propuesto

Fecha	N° Pedidos	N° Pedidos a tiempo	N° Pedidos completos	On Time	In Full	OTIF
1/04/2022	281	231	241	82,2%	85,8%	70,5%
4/04/2022	280	225	224	80,4%	80,0%	64,3%
5/04/2022	222	222	204	100,0%	91,9%	91,9%
6/04/2022	246	224	215	91,1%	87,4%	79,6%
7/04/2022	244	214	237	87,7%	97,1%	85,2%
8/04/2022	211	211	205	100,0%	97,2%	97,2%
11/04/2022	298	268	261	89,9%	87,6%	78,8%
12/04/2022	298	292	269	98,0%	90,3%	88,5%
13/04/2022	262	258	205	98,5%	78,2%	77,0%
18/04/2022	275	238	217	86,5%	78,9%	68,3%

19/04/2022	226	222	222	98,2%	98,2%	96,5%
20/04/2022	274	219	231	79,9%	84,3%	67,4%
21/04/2022	252	215	228	85,3%	90,5%	77,2%
22/04/2022	286	255	204	89,2%	71,3%	63,6%
25/04/2022	268	238	260	88,8%	97,0%	86,2%
26/04/2022	226	207	221	91,6%	97,8%	89,6%
27/04/2022	272	220	212	80,9%	77,9%	63,0%
28/04/2022	239	238	222	99,6%	92,9%	92,5%
29/04/2022	214	214	201	100,0%	93,9%	93,9%
TOTAL	4.874	4.411	4.279			

Número de pedidos en Backorder: En una operación logística como la que se realiza en los centros de distribución es importante no perder de vista los pedidos que se encuentran en Backorder (Atrasados), es decir, aquellos que por algún motivo no se despacharon en la fecha necesaria para cumplir la fecha de entrega a cliente. A estos pedidos se debe dar una especial atención ya que deben ser despachados con la mayor brevedad para no incrementar la afectación del cliente en cuanto a tiempo se refiere. Esta es otra forma de poder medir la eficiencia de los procesos en el CEDI Colombia por lo que se plantea implementarla, a continuación se detalla el cálculo porcentual realizado con datos de Abril de 2022 (Ho et al., 2020):

$$\text{Porcentaje de Pedidos en Backorder} = \frac{\text{N}^\circ \text{ pedidos Atrasados}}{\text{N}^\circ \text{ total de pedidos solicitados}} * 100\%$$

Tabla 22 Cálculo de Backorder para Abril de 2022

Fecha	Nº Pedidos	Nº Pedidos Atrasados	% de Pedidos Atrasados
1/04/2022	281	33	11,7%
4/04/2022	280	17	6,1%
5/04/2022	222	22	9,9%
6/04/2022	246	32	13,0%
7/04/2022	244	34	13,9%
8/04/2022	211	39	18,5%

11/04/2022	298	10	3,4%
12/04/2022	298	20	6,7%
13/04/2022	262	18	6,9%
18/04/2022	275	21	7,6%
19/04/2022	226	29	12,8%
20/04/2022	274	32	11,7%
21/04/2022	252	26	10,3%
22/04/2022	286	21	7,3%
25/04/2022	268	24	9,0%
26/04/2022	226	35	15,5%
27/04/2022	272	28	10,3%
28/04/2022	239	16	6,7%
29/04/2022	214	30	14,0%
TOTAL	4.874	487	10,0%

Para el mes de Abril en general:

$$\text{Porcentaje de Pedidos en Backorder} = \frac{487}{4.874} * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de Pedidos en Backorder} = 0,099 * 100\%$$

$$\text{Porcentaje de Pedidos en Backorder} \approx 10\%$$

El resultado obtenido indica que en el mes de Abril aproximadamente el 10% de los pedidos recibidos estuvieron atrasados en alguna medida, esto afecta a los clientes debido a que las telas vinílicas solicitadas no llegan en el momento requerido para sus procesos. Como propuesta se recomienda establecer como máximo un 2% de Pedidos en Backorder.

Sobrantes y Faltantes: En la actualidad el proceso no cuenta con un control que muestre la cantidad de rollos sobrantes y faltantes que llegan al proceso de despacho, básicamente se propone modelar las decisiones a tomar cuando un operario en alistamiento se equivoque y pueda llevar rollos de más o rollos de menos a la zona de despacho. Este control se realizaría

con la ayuda del WMS antes descrito, el despachador validará sistemáticamente la cantidad de rollos que debe haber en la zona despacho y la contrastará con las unidades físicas para identificar si existen diferencias, a continuación se detalla las consecuencias:

- **Sobrantes:** Los rollos sobrantes tienen un alto riesgo de salir del centro de distribución sin control alguno, de esta manera se desajusta el inventario y la compañía pierde dinero en producto terminado. Cálculo:

$$(Cantidad\ en\ sistema - Cantidad\ Real) < 0 = Sobrante$$

- **Faltantes:** Los rollos faltantes afectan al indicador de *In full* antes descrito y directamente al cliente ya que cabe la posibilidad de no enviar la cantidad completa (*OTIF*). Cálculo:

$$(Cantidad\ en\ sistema - Cantidad\ Real) > 0 = Faltante$$

Toma de tiempos y productividad: En el proceso de despacho se realizó el mismo ejercicio de toma de tiempos y métodos que en el proceso de Recepción, con los mismos instrumentos y parámetros. Como resultado de este estudio se definió que un operario de Despacho es capaz de revisar un total de 700 rollos en un turno de 8 horas con suplementos.

- **Objetivo específico número 3:**

Simulación Montecarlo: Para finalizar el trabajo de investigación y debido que las propuestas antes mencionadas establecen métricas y datos de referencia, es posible en este punto poder emplear un modelo de simulación para estimar los posibles resultados de la operación en el futuro. El método de simulación empleado es Montecarlo, a continuación se detallan los parámetros (de Carvalho Oliveira & Delgado, 2015):

- Comprobación de distribución de datos para 250 días de Recepción del año 2021 (SPSS):

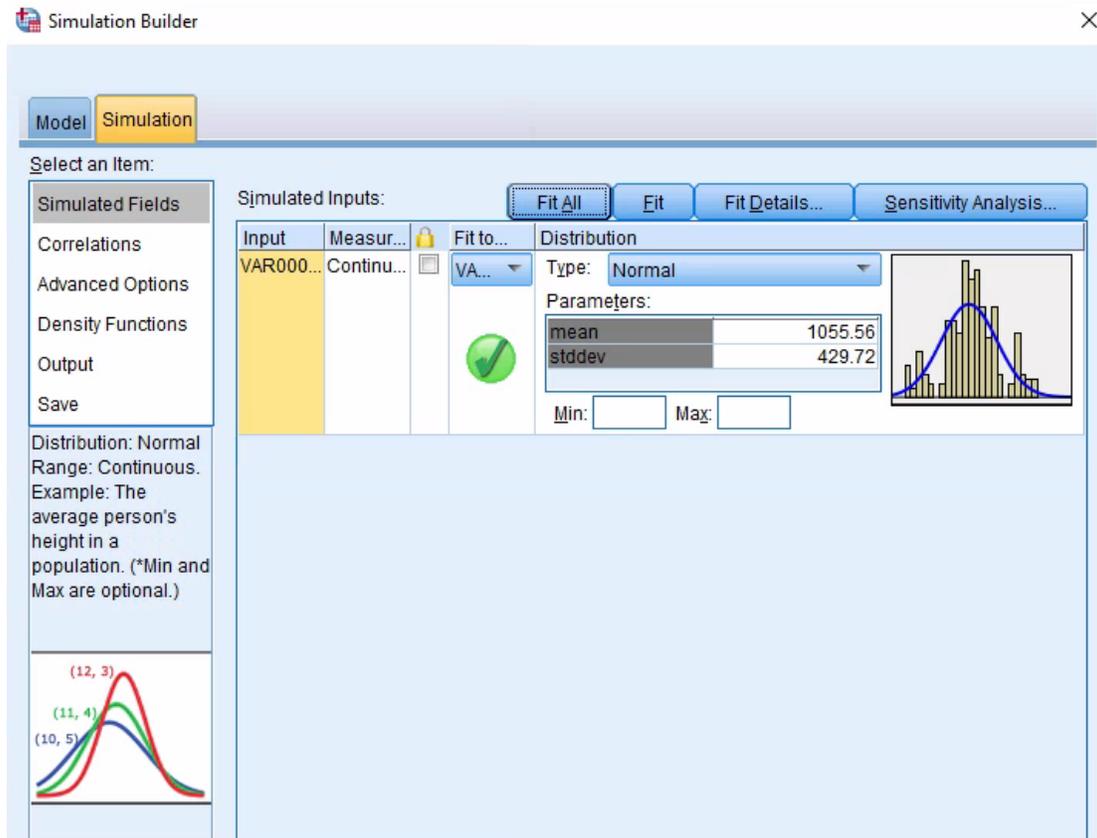


Ilustración 47 Distribución de datos de Recepción

- Comprobación de distribución de datos para 250 días de Alistamiento del año 2021 (SPSS):

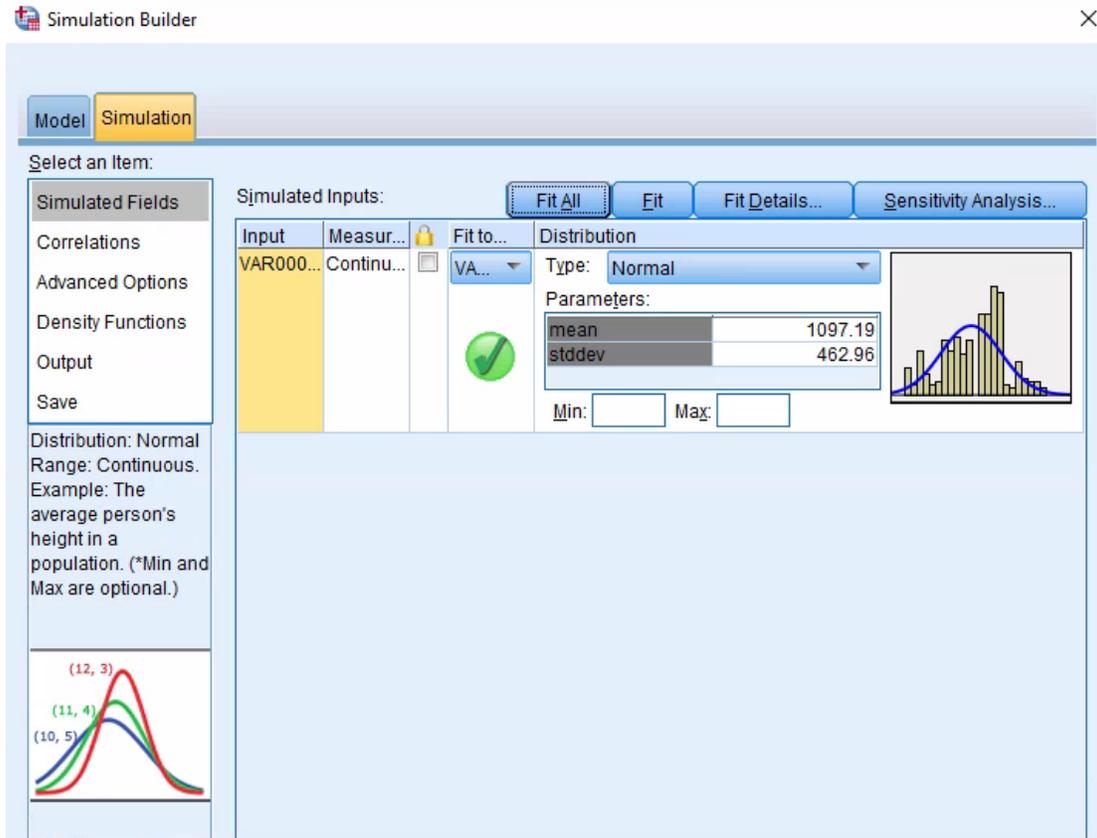


Ilustración 48 Distribución de datos de Alistamiento

- Para el proceso de Despacho no es relevante realizar una comprobación debido a que este proceso va dirigido por el Alistamiento, por lo que es natural pensar que sí la distribución de datos es normal para para el Alistamiento de igual forma lo será para el despacho.
- Se establece como simulación un total de 60 réplicas (5 años) de operación de un mes con 26 días hábiles.
- En el modelo se obtienen resultados de futuros de: Inventario Inicial, Inventario Final, Cantidad de Operarios a requerir por día durante el mes (Recepción, Alistamiento y Despacho), Número de rollos a recibir, alistar y despachar.

- Se diseñan tres escenarios posibles con probabilidades propias de la distribución normal, Escenario 1: Inventario Inicial por debajo del 75%, Escenario 2: Inventario Inicial entre el 90 y 100% y Escenario 3: Inventario Inicial por encima del 100%.
- El enlace de acceso al modelo se encuentra en el Anexo3.

A continuación, se muestran 3 resultados obtenidos de la simulación:

Escenario 1:

Tabla 23 Simulación Montecarlo - Escenario 1

SIMULACIÓN DE 60 MESES (5 AÑOS DE OPERACIÓN)								
Réplica	Inventario Inicial	Rollos Recibidos	Rollos Alistados	Rollos Despachados	Op. Recibo	Op. Alistamiento	Op. Despacho	Inventario Final
1	56.787	24.063	25.766	30.479	5	4	3	50.587
2	57.504	24.300	32.115	32.271	4	4	3	52.943
3	57.326	27.882	28.227	34.664	5	4	3	55.718
4	56.665	28.899	25.268	35.280	4	4	2	50.903
5	58.068	26.127	27.466	36.776	5	4	3	51.347
6	57.747	27.884	29.538	29.212	5	4	3	50.609
7	57.670	29.421	27.414	34.021	5	5	3	51.334
8	58.362	25.977	27.457	34.768	4	4	3	47.598
9	56.407	25.035	23.689	33.782	4	4	3	50.620
10	59.450	27.049	27.466	31.229	4	4	3	53.833
11	58.835	22.452	30.296	34.011	5	4	3	55.395
12	56.727	31.641	30.465	30.587	4	4	3	51.070
13	55.152	27.975	28.393	33.051	4	4	3	51.472
14	59.107	25.417	28.328	26.069	5	4	3	53.580
15	59.353	24.889	30.619	31.925	4	4	3	54.454
16	59.565	27.628	26.759	35.206	5	4	2	47.007
17	59.957	33.760	28.443	32.541	5	5	2	54.258
18	55.663	27.237	27.242	31.308	4	4	2	51.860
19	58.518	26.406	28.549	31.635	4	4	3	54.596
20	57.620	26.668	29.484	32.859	4	4	3	53.642
21	55.626	24.328	27.477	33.386	4	4	2	54.299
22	59.354	27.652	28.190	31.803	5	4	3	54.493
23	56.489	26.261	26.651	34.691	4	4	3	56.967
24	56.374	27.771	28.325	31.548	4	5	3	45.963
25	58.761	30.102	28.850	33.387	5	4	3	55.811
26	55.871	24.054	29.103	34.185	4	4	2	55.712
27	57.329	25.285	30.930	35.041	5	5	3	54.570
28	58.747	28.172	30.184	30.933	4	4	3	50.323
29	55.764	29.809	28.726	33.320	4	4	3	54.428
30	59.506	26.700	28.726	31.935	5	4	3	56.168
31	58.758	25.336	26.020	33.155	5	4	3	50.392
32	58.683	26.707	28.955	33.275	4	4	3	53.653
33	56.057	24.596	28.688	31.690	4	4	3	50.702
34	57.008	27.273	28.671	31.708	5	4	3	54.503
35	55.207	26.194	25.970	33.405	4	4	3	52.573
36	56.796	29.639	33.555	31.204	4	4	3	51.125
37	59.114	27.083	30.931	35.285	4	5	3	52.269
38	59.422	27.260	29.160	34.827	4	4	3	52.791
39	56.114	26.305	28.898	32.515	5	4	3	52.577
40	57.977	27.939	29.497	32.492	5	4	2	56.752
41	59.046	26.954	25.397	29.824	5	4	3	50.073
42	57.084	28.477	30.367	33.355	4	4	2	53.944
43	56.298	27.131	28.981	34.455	4	4	3	55.920
44	56.929	27.967	24.663	37.641	5	4	2	52.365
45	55.416	24.652	29.098	31.028	5	4	3	51.729
46	59.346	29.620	26.509	36.111	5	4	3	51.431
47	59.832	26.849	31.003	30.392	5	4	3	51.745
48	59.509	26.453	30.343	33.075	5	4	3	54.725
49	55.556	24.822	29.814	32.067	5	4	3	52.277
50	55.338	29.739	27.737	34.346	4	5	3	46.662
51	57.470	24.853	27.344	28.850	4	5	3	48.116
52	56.053	31.760	27.958	29.019	4	4	3	56.911
53	57.733	26.255	27.287	30.892	5	4	2	51.924
54	58.271	27.675	28.556	34.540	5	4	3	54.375
55	58.949	24.825	31.651	36.139	4	4	3	52.530
56	56.305	25.624	29.389	33.741	5	5	3	53.440
57	56.633	23.234	22.823	30.827	4	4	3	50.547
58	59.434	26.813	25.898	27.749	4	4	3	52.830
59	59.286	28.132	26.618	31.263	4	4	3	45.649
60	55.239	22.564	27.623	31.886	5	5	3	54.211

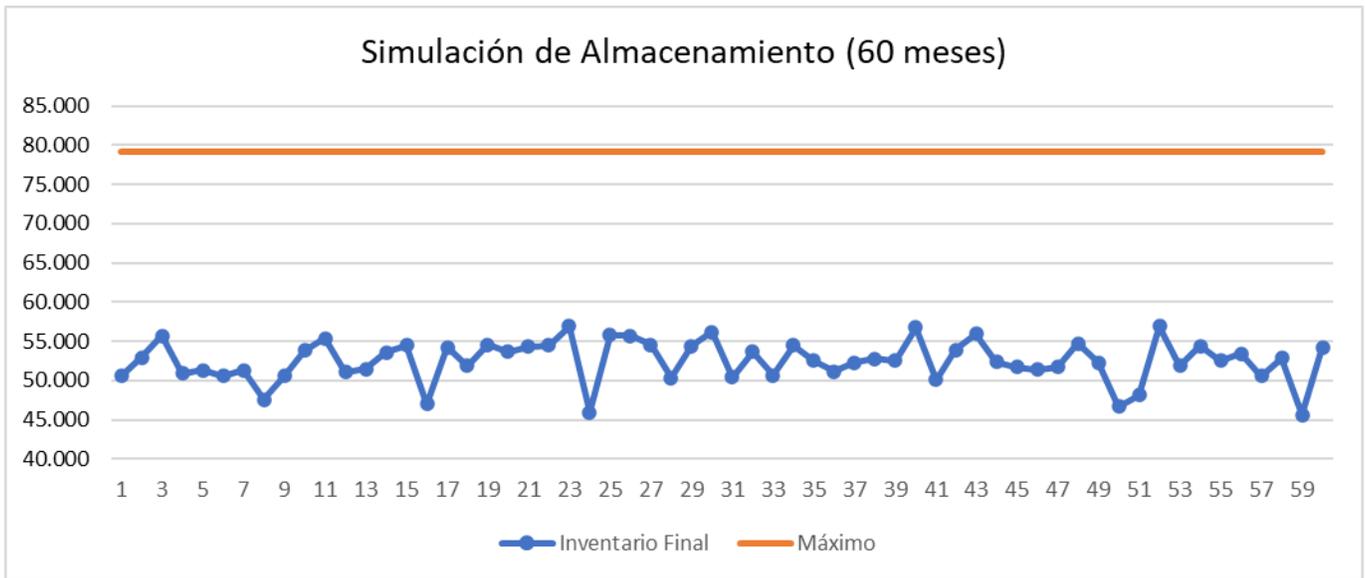


Ilustración 49 Gráfico Simulación Almacenamiento - Escenario 1

Escenario 2:

Tabla 24 Simulación Montecarlo - Escenario 2

SIMULACIÓN DE 60 MESES (5 AÑOS DE OPERACIÓN)								
Réplica	Inventario Inicial	Rollos Recibidos	Rollos Alistados	Rollos Despachados	Op. Recibo	Op. Alistamiento	Op. Despacho	Inventario Final
1	75.879	26.371	26.115	36.655	5	4	3	63.662
2	71.755	26.849	34.768	28.171	5	4	3	64.333
3	72.607	25.365	25.837	31.366	5	5	3	67.592
4	76.144	29.536	26.943	30.671	4	4	3	66.494
5	75.341	26.671	27.468	29.669	5	4	3	76.022
6	77.256	28.235	30.030	35.340	4	4	3	72.676
7	78.356	27.559	29.601	32.616	4	4	3	68.799
8	77.082	29.456	28.140	32.098	4	4	2	67.984
9	77.247	26.159	28.492	31.827	4	4	3	63.662
10	78.991	27.540	28.143	33.154	5	4	2	71.757
11	73.967	28.887	29.673	31.481	5	5	3	73.617
12	71.294	26.945	29.829	35.826	5	4	3	69.059
13	77.715	24.343	25.997	34.241	4	4	2	64.748
14	75.539	31.726	30.642	35.463	5	5	3	65.379
15	77.354	23.833	28.521	34.777	4	4	3	63.796
16	76.132	29.494	32.258	33.468	4	4	2	71.494
17	73.269	32.450	27.346	35.399	4	4	2	70.382
18	73.537	27.895	25.581	27.336	5	4	3	68.243
19	72.980	28.217	32.488	30.899	5	4	3	68.088
20	71.958	28.012	29.264	32.890	5	4	3	66.979
21	75.550	24.281	27.193	31.947	4	4	3	72.199
22	75.217	26.140	30.003	31.184	5	4	2	69.423
23	79.188	26.409	27.719	34.072	4	4	3	70.517
24	72.333	26.528	31.168	31.178	4	4	3	75.846
25	71.546	22.857	31.849	34.913	5	4	2	69.572
26	77.488	28.583	25.316	31.716	5	4	3	64.687
27	74.943	25.376	29.830	33.709	4	4	2	71.854
28	71.846	27.677	27.062	32.835	5	4	2	68.150
29	78.162	24.341	24.401	33.801	4	4	3	68.646
30	75.432	30.927	27.438	30.312	4	4	3	75.983
31	71.928	28.877	28.461	33.466	4	4	2	67.671
32	73.080	29.117	27.809	30.774	5	4	3	69.249
33	78.020	28.792	29.030	34.316	4	4	3	63.865
34	72.360	29.089	30.808	32.182	4	4	3	74.312
35	77.997	26.881	29.764	34.325	4	4	3	71.460
36	72.990	27.399	30.428	32.392	4	4	3	70.090
37	77.669	29.878	24.847	34.430	4	4	3	70.822
38	77.840	31.475	30.819	32.965	4	4	3	73.344
39	75.968	26.658	33.207	30.868	4	4	3	72.665
40	79.128	25.018	26.667	32.715	4	4	3	71.091
41	77.333	24.713	30.062	31.189	4	4	2	67.592
42	73.184	26.119	26.886	33.477	4	4	3	71.967
43	72.028	30.290	29.955	32.550	4	4	3	62.929
44	74.420	25.340	30.502	30.633	4	4	3	71.206
45	74.147	28.536	30.447	30.491	5	4	3	72.369
46	77.234	29.113	31.066	33.463	5	4	3	73.138
47	75.370	28.638	30.587	31.112	4	4	3	65.856
48	75.860	28.956	26.293	34.680	4	4	3	68.302
49	78.361	23.531	29.080	32.820	4	4	2	66.401
50	72.688	25.654	30.463	34.793	4	4	3	66.907
51	78.532	28.656	32.188	32.899	5	4	3	76.376
52	76.256	27.224	25.362	30.803	5	4	3	63.866
53	71.723	26.336	32.045	32.201	5	4	3	75.736
54	71.653	24.993	29.125	34.670	4	4	3	66.898
55	72.277	26.200	28.302	32.426	5	4	3	70.333
56	72.349	24.906	26.102	31.521	5	4	3	68.369
57	74.316	26.770	30.421	31.609	4	4	2	70.149
58	72.920	26.454	27.560	33.286	4	4	3	72.323
59	73.778	29.861	32.047	33.866	4	4	2	64.636
60	78.379	26.722	25.905	32.868	5	4	2	69.557

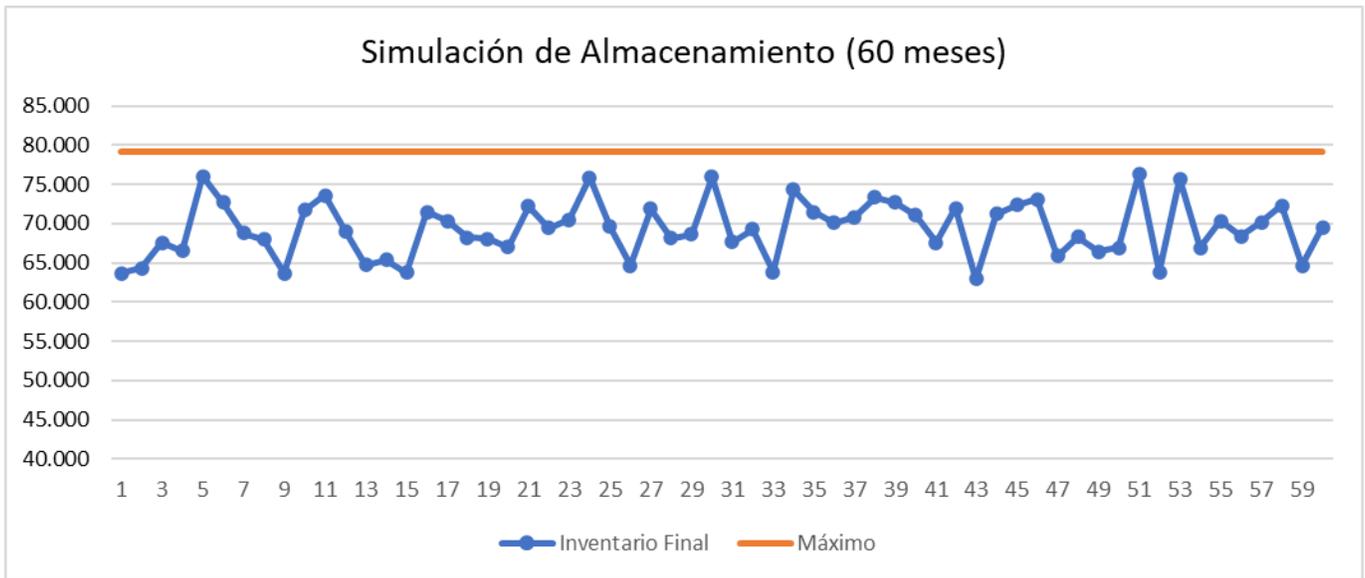


Ilustración 50 Gráfico Simulación Almacenamiento - Escenario 2

Escenario 3:

Tabla 25 Simulación Montecarlo - Escenario 3

SIMULACIÓN DE 60 MESES (5 AÑOS DE OPERACIÓN)								
Réplica	Inventario Inicial	Rollos Recibidos	Rollos Alistados	Rollos Despachados	Op. Recibo	Op. Alistamiento	Op. Despacho	Inventario Final
1	80.620	27.997	28.650	34.528	5	4	3	72.120
2	83.116	28.532	22.815	33.096	4	4	3	82.323
3	81.453	27.376	22.857	31.419	4	4	3	78.819
4	82.066	29.624	31.147	33.394	4	4	3	78.459
5	81.324	30.897	26.075	33.340	5	4	3	73.635
6	80.918	25.861	28.587	33.439	4	4	3	75.430
7	82.412	28.070	24.764	32.809	4	4	3	79.036
8	81.187	26.999	30.393	34.031	4	4	3	77.907
9	84.283	27.208	30.727	32.168	5	4	3	80.254
10	84.381	26.852	29.885	33.881	4	4	3	78.567
11	81.476	25.903	30.373	32.421	4	4	3	77.072
12	81.619	25.094	29.877	32.827	5	4	2	74.154
13	80.027	27.132	30.017	32.189	4	4	3	73.065
14	84.850	27.537	28.357	33.053	5	4	3	75.562
15	81.548	27.354	29.415	31.897	4	4	2	78.458
16	84.114	24.564	28.020	33.249	5	4	3	79.593
17	81.050	26.648	24.839	32.123	4	4	3	76.380
18	83.477	23.844	28.342	31.142	4	4	2	82.651
19	81.507	32.810	31.810	31.729	4	4	2	74.724
20	81.549	28.339	28.110	33.924	5	5	3	77.966
21	82.103	28.285	29.999	32.183	4	4	3	80.180
22	83.100	26.886	30.061	32.267	4	5	3	77.906
23	84.597	28.899	27.229	36.281	5	4	3	80.526
24	84.742	28.664	31.332	33.510	4	4	3	77.720
25	83.242	29.107	34.806	30.403	4	5	3	84.740
26	83.788	25.282	29.505	28.683	5	4	3	76.473
27	80.048	24.758	28.608	32.806	5	4	2	71.931
28	83.494	24.848	28.899	31.156	4	4	3	75.259
29	84.064	23.419	27.070	31.108	5	4	3	81.089
30	80.032	28.075	26.078	31.184	5	4	3	72.850
31	84.367	25.934	26.403	31.715	4	4	3	75.063
32	84.573	24.482	24.553	31.669	4	4	2	75.946
33	80.842	27.949	24.018	30.960	4	4	3	78.349
34	84.279	27.891	30.732	30.527	4	4	3	77.219
35	82.051	26.788	30.858	33.045	4	5	2	77.324
36	83.282	25.781	29.119	30.307	4	4	3	75.732
37	80.666	27.735	30.163	34.886	5	4	3	78.217
38	82.746	25.183	30.377	31.951	4	4	3	78.772
39	84.285	26.543	30.795	31.557	5	4	3	78.459
40	82.760	23.869	28.556	32.617	5	5	3	79.524
41	82.596	26.345	29.335	30.290	4	5	3	75.055
42	83.560	27.382	29.198	33.767	4	4	3	80.716
43	81.913	25.872	25.534	31.100	4	4	3	71.944
44	84.506	26.873	28.191	33.949	5	4	3	75.044
45	84.372	27.254	26.131	35.342	4	4	3	80.886
46	83.616	24.824	31.989	34.558	4	4	3	73.790
47	81.320	26.330	32.053	32.722	4	4	3	74.766
48	80.972	28.808	29.093	32.530	4	5	3	70.518
49	82.777	29.211	32.000	30.982	5	4	2	84.777
50	84.827	24.306	33.101	32.998	4	4	3	72.825
51	84.312	21.620	26.394	30.376	4	4	3	81.052
52	81.052	26.969	27.070	32.518	4	4	3	83.380
53	81.915	24.100	27.359	32.146	4	4	3	78.402
54	81.844	25.710	31.714	33.294	5	4	3	77.330
55	83.411	28.829	27.558	26.962	4	4	3	73.444
56	83.275	27.542	27.269	31.428	4	4	3	81.277
57	84.749	25.659	33.320	36.900	4	4	3	78.370
58	83.273	26.580	30.217	31.222	4	4	3	80.323
59	84.382	26.803	27.643	32.094	5	4	2	71.475
60	84.675	30.339	22.535	34.839	5	4	2	78.362

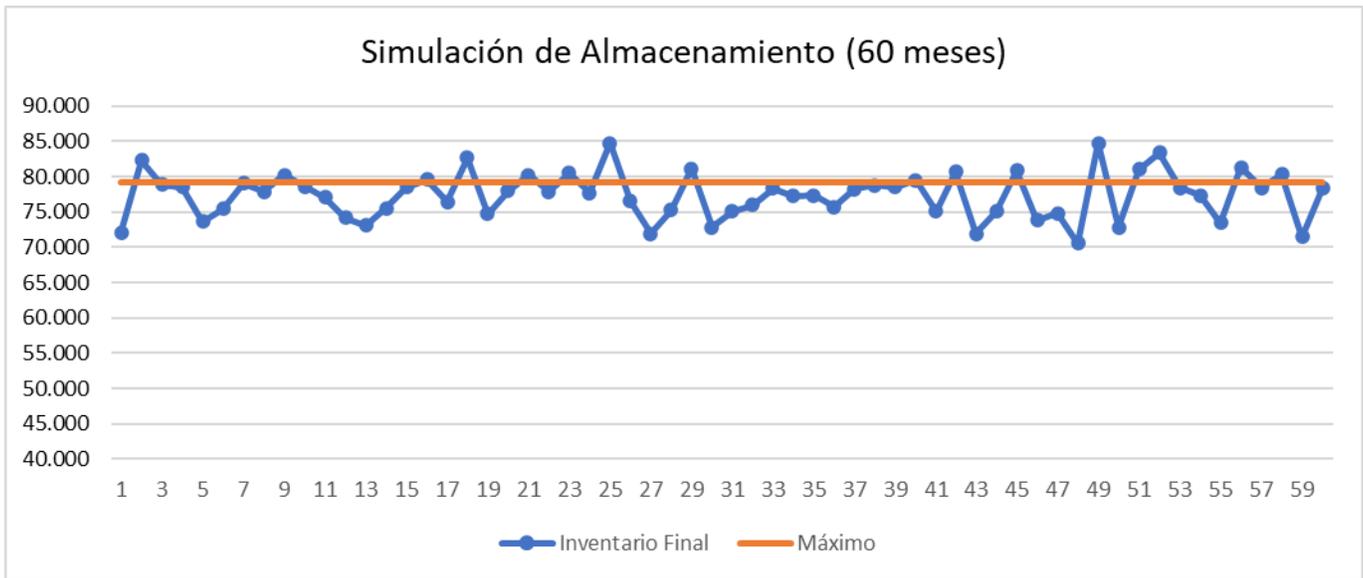


Ilustración 51 Gráfico Simulación Almacenamiento - Escenario 3

Como se pudo apreciar en las ilustraciones 49, 50 y 51 se simuló diferentes niveles de inventario partiendo de un supuesto de inventario inicial, estos tres escenarios muestran el comportamiento de la operación del CEDI Colombia en un horizonte de simulación de 60 meses en funciones de probabilidad de distribución normal. Se toman solo los primeros 60 meses (5 años) ya que no es adecuado simular tanto tiempo debido a la alta variabilidad y rápidos cambios que presenta el mundo en muchos aspectos: políticos, económicos, sociales, salubridad pública, diplomáticos, gubernamentales etc. Lo anterior muestra que la operación del centro de distribución Colombia de Proquinal S.A cuenta con un modelo de simulación funcional que permitirá tomar decisiones basados en datos que eran inexistentes gracias al rediseño de sus procesos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES: Debido a la alta relevancia del papel que juegan los centros de distribución en las organizaciones del mundo se considera imperativo brindar soluciones prácticas a problemas cotidianos en los procesos propios de estos almacenes.

- En este trabajo se inició con el diagnóstico del estado actual del centro de distribución con el objetivo de precisar los focos de mejora en el proceso, lo anterior dio paso al despliegue de una serie de propuestas basadas en el estado del arte, las cuales se aplicaron en diferentes procesos que arrojaron como resultado una mejora significativa para la organización, por ello se puede concluir que identificar el estado actual de un proceso es una fuente de información relevante para la ejecución de un proyecto de investigación.
- Gracias a los conceptos y técnicas propias de la Gerencia de Operaciones es posible resolver problemas en las empresas reales previos conocimientos de las problemáticas particulares y generales.
- El Control Estadístico de proceso en conjunto con un ejercicio de métodos y tiempos permitió establecer una métrica clara que posibilitó medir la operación de Recepción y Alistamiento, y consecuentemente con esto se concluye que hay una sobreasignación de mano de obra al proceso y como resultado reduce a los operarios involucrados en el proceso y directamente los costos asociados al mismo.
- El Diseño de Experimentos y la Anova fueron determinantes en este trabajo ya que por medio de esta técnica se comprobó que no existen diferencias en las medias cuando se habla de “Rollo” como medida estándar para los procesos del centro de distribución, la selección de esta medida operacional se fundamenta en un método matemático, en lo que se concluye que estas herramientas son de alta relevancia en la práctica real en las organizaciones.
- El uso de conceptos propios de la logística y las operaciones tales como: Put Away, Slotting, Inventarios ABC, FIFO, Spaghetti Charter, etc., son complementarios a los modelos matemáticos aplicados en las operaciones en

general y la combinación de ambos generan resultados relevantes como los que se evidencian en el presente trabajo, para mencionar algunos resultados se tuvo la separación del centro de distribución en zonas ABC, se evidenció la necesidad de programar tres turnos para mejorar el flujo de materiales, personas y equipos, el concepto de Slotting permitió determinar dónde deben almacenarse los SKU's con más rotación y la aplicación del FIFO con una perspectiva diferente a la tradicional, permitió garantizar la correcta rotación del producto minimizando costos, movimientos innecesarios y mejorando la calidad del trabajo ergonómico de los operarios involucrados.

- Mediante las propuestas dadas a lo largo de este trabajo de grado se pueden estimar ahorros cercanos a los 120 millones de pesos mensuales lo que correspondería a 1.440 millones de pesos/año. Se estima una duración de ejecución de la propuesta planteada en este documento de un año y una inversión de 500 millones de pesos/año (salario de un profesional con Maestría en Gerencia de Operaciones o similares, computador de alta gama y licencias SaaS de herramientas estadísticas entre otros). Con base en lo anterior se obtiene un ROI (Return Of Investment) de un 188% y un Payback aproximado de 4 meses, estos datos hacen de este documento una propuesta atractiva para el desarrollo e implementación en la realidad de Proquinal S.A.
- Para finalizar, con los datos obtenidos de las mejoras fue posible brindar a la organización un modelo de simulación que antes era inexistente, este modelo permite simular diferentes escenarios con diferentes condiciones y de esta manera poder tomar decisiones anticipadas en función de los inputs (probabilidades) dados por la historia de la misma operación. Como conclusión general es posible afirmar de acuerdo con lo argumentado anteriormente que el estudio de la Gerencia de Operaciones es de alta relevancia para el desarrollo, optimización y mejora de las operaciones de cualquier organización en el mundo.

6.2 RECOMENDACIONES: El presente trabajo tuvo como base artículos de compañías diferentes al sector textil-manufacturero con recubrimiento vinílico, por lo que se hizo necesario adaptarlos al contexto de la organización en mención.

- Se recomienda mantener especial atención al momento de adoptar conceptos de otras ramas o sectores, principalmente con relación a: aplicabilidad, método y resultados.
- El presente trabajo no contempló el tema de calidad de rollos debido a temas de confidencialidad del negocio, esto hubiese cambiado la aplicación de algunos conceptos y resultados obtenidos dentro del presente trabajo.
- El presente trabajo incorporó conceptos de diferentes asignaturas de la Gerencia de Operaciones usadas desde diferentes perspectivas, lo que no indica que haya que seguir al pie de la letra las indicaciones del presente trabajo, la Gerencia de Operaciones es altamente versátil y rica en conceptos y métodos matemáticos.
- El propósito general de este trabajo fue cubrir una necesidad y aprovechar una oportunidad de mejora, lo cual convergió en el rediseño de procesos clave de un centro de distribución y dio paso a un modelo de aplicación real de conceptos propios de la Gerencia de Operaciones en una compañía textil-manufacturera en Colombia. De acuerdo con lo anterior, se recomienda revisar la aplicación de lo mencionado en el documento debido a la especificidad del estudio.
- El presente trabajo podría ser útil para industrias que manejen cilindros como forma geométrica de sus productos, no necesariamente la organización debe pertenecer al sector textil.

REFERENCIAS

- Accorsi, R., Manzini, R., & Maranesi, F. (2014). A decision-support system for the design and management of warehousing systems. *Computers in Industry*, 65(1), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.08.007>
- Ali, A., & Haseeb, M. (2019). Radio frequency identification (RFID) technology as a strategic tool towards higher performance of supply chain operations in textile and apparel industry of Malaysia. *Uncertain Supply Chain Management*, 7(2), 215–226. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2018.10.004>
- Bao, S., Zhang, M., & Cai, Z. (2017). The slotting optimization of tobacco automated stereoscopic warehouse based on fault tree and field test. *2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*, 346–351. <https://doi.org/10.1109/ICITE.2017.8056936>
- Bottani, E., Volpi, A., & Montanari, R. (2019). Design and optimization of order picking systems: An integrated procedure and two case studies. *Computers and Industrial Engineering*, 137(September), 106035. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106035>
- Brogan, E., Clevenger, C. M., & Vandemark, L. (2023). Evaluating Design-Level Designation of Owner-Provided Data for Transportation Design-Build Projects Based on Case Studies. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 15(2). <https://doi.org/10.1061/JLADAH.LADR-901>
- Canito, J., Ramos, P., Moro, S., & Rita, P. (2018). Unfolding the relations between companies and technologies under the Big Data umbrella. *Computers in Industry*, 99, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.018>
- de Carvalho Oliveira, R. A., & Delgado, K. V. (2015). Capacitated vehicle routing system applying Monte Carlo methods | Sistema para roteamento de veículos capacitados aplicando Métodos de Monte Carlo. *SBSI 2015 - Proceedings of the Annual Conference on Brazilian Symposium on Information Systems, Information Systems: A Computer Socio-Technical Perspective*, 1–8.

- Donthu N, Gustafsson A. (2020). Effects of COVID-19 on business and research. *J Bus Res.* *Epub. Sep*; 117:284-289. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.06.008>
- Eduardo-Díaz, C., Arias-Osorio, J., & Lamos, H. (2014). Logistics process improvement of warehousing and picking in a Colombian company textile sector. *DYNA (Colombia)*, 81(186), 267–275. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.45217>
- Efrilianda, D. A., Mustafid, & Isnanto, R. R. (2018). Inventory control systems with safety stock and reorder point approach. *2018 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2018, 2018-Janua*, 844–847. <https://doi.org/10.1109/ICOIACT.2018.8350766>
- Guo, S., Singh, M., & Goodarzi, S. (2022). Enhance picking viability in E-commerce warehouses under pandemic. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2101400>
- Hékis, H. R., Medeiros Araújo de Moura, L. C., Pires de Souza, R., & De Medeiros Valentim, R. A. (2014). Sistema De Informação: Benefícios Auferidos Com a Implantação De Um Sistema Wms Em Um Centro De Distribuição Do Setor Têxtil Em Natal/Rn. *Review of Administration and Innovation - RAI*, 10(4), 85. <https://doi.org/10.5773/rai.v10i4.920>
- Ikasari, D. M., Lestari, E. R., & Ni'Matul, Y. (2021). Inventory control analysis of frozen processed shrimp using silver meal heuristic method (case study at PT. X Malang, East Java, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012062>
- Ingram, C., Chen, Y., Buggy, C., Downey, V., Archibald, M., Rachwal, N., Roe, M., Drummond, A., & Perrotta, C. (2022). Development and validation of a multi-lingual online questionnaire for surveying the COVID-19 prevention and control measures used in global workplaces. *BMC Public Health*, 22(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12500-w>
- Karim, N. H., Abdul Rahman, N. S. F., Md Hanafiah, R., Abdul Hamid, S., Ismail, A., Abd Kader, A. S., & Muda, M. S. (2021). Revising the warehouse productivity measurement indicators: ratio-based benchmark. *Maritime Business Review*, 6(1), 49–71. <https://doi.org/10.1108/MABR-03-2020-0018>

- Kim, G. E., Hwang, H. S., Lee, K. K., & Han, S. H. (2021). Fault detection of rolling bearing using performance index of statistical process control. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, A*, 45(1), 51–57. <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2021.45.1.051>
- Kunrath, T. L., Dresch, A., & Veit, D. R. (2023). Supply chain management and industry 4.0: A theoretical approach. *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, 20(1). <https://doi.org/10.14488/BJOPM.1263.2023>
- Lagarda-Leyva, E. A., Morales-Mendoza, L. F., Segura-Campos, M. R., Bojorquez-Alvarado, A. L., & Romero-Guzmán, M. P. (2023). Coupling reverse logistics and dynamic modeling for waste management: a food service provider case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02474-7>
- Lanza, G., Passacantando, M., & Scutellà, M. G. (2022). Sequencing and routing in a large warehouse with high degree of product rotation. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10696-022-09463-w>
- Lebuda, A., Roszak, M., & Nowosielski, R. (2015). Appraisal of the effectiveness of chosen management processes. *International Journal of Materials and Product Technology*, 50(3–4), 319–339. <https://doi.org/10.1504/IJMPT.2015.068546>
- Liu, X., Yin, J., Liu, J., Zhang, S., & Xiao, B. (2022). Time Efficient Tag Searching in Large-Scale RFID Systems: A Compact Exclusive Validation Method. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 21(4), 1476–1491. <https://doi.org/10.1109/TMC.2020.3021678>
- Liu, Y., Wang, B., Wang, J., Liu, W., & Zhao, S. (2022). Design of intelligent warehousing management system based on MES and WMS system integration. *ACM International Conference Proceeding Series*, 672–679. <https://doi.org/10.1145/3544109.3544332>
- Milojević, I., Krstić, S., & Ćurčić, M. (2021). Optimisation of accounting model of inventory management in the textile industry. *Industria Textila*, 72(2), 198–202. <https://doi.org/10.35530/IT.072.02.1769>
- Orozco-Crespo, E., Sablón-Cossío, N., Taboada-Rodríguez, C. M., & Hedler Staudt, F. (2021). Cadena de suministro del sector textil: indicador integral para la evaluación del desempeño.

Revista Venezolana de Gerencia, 26(6 Edición Especial), 574–591.
<https://doi.org/10.52080/rvgluz.26.e6.35>

Raghuram, P., & Singh, A. (2020). Warehouse optimisation using demand data analytics - A case study-based approach. *International Journal of Business Information Systems*, 35(4), 519–538. <https://doi.org/10.1504/IJBIS.2020.111643>

Sanchez, N. Y. E., Santos, P. Y. S., Lastra, G. E. M., Flores, J. C. Q., & Merino, J. C. A. (2021). Implementation of Lean and Logistics Principles to Reduce Non-conformities of a Warehouse in the Metalworking Industry. *2021 10th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*, 89–93. <https://doi.org/10.1109/ICITM52822.2021.00024>

Sari, A., & Butun, I. (2021). A Case Study of Decision Support System and Warehouse Management System Integration. In *Decision Support Systems and Industrial IoT in Smart Grid, Factories, and Cities* (pp. 111–138). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7468-3.ch006>

Silva, A., Roodbergen, K. J., Coelho, L. C., & Darvish, M. (2022). Estimating optimal ABC zone sizes in manual warehouses. *International Journal of Production Economics*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108579>

Snowdon, D. A., King, O. A., Dennett, A., Pinson, J.-A., Shannon, M. M., Collyer, T. A., Davis, A., & Williams, C. M. (2022). Delegation of patient related tasks to allied health assistants: a time motion study. *BMC Health Services Research*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08642-7>

Sridhar, A., Honkapuro, S., Ruiz, F., Stoklasa, J., Annala, S., Wolff, A., & Rautiainen, A. (2023). Residential consumer preferences to demand response: Analysis of different motivators to enroll in direct load control demand response. *Energy Policy*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113420>

Turkeš, R., Sörensen, K., & Cuervo, D. P. (2022). Design of experiments in humanitarian logistics: facility decision making in disaster preparedness. *International Transactions in Operational Research*. <https://doi.org/10.1111/itor.13142>

Witkowski, K., Kiba-Janiak, M., & Saniuk, S. (2012). Map of logistics processes as a part of

creating an enterprise supply chain in the metallurgical company. *METAL 2012 - Conference Proceedings, 21st International Conference on Metallurgy and Materials, 1914–1919.*

Yuan, H. S., & Xin, X. Z. (2022). Establishment of Multi-Type Differentiated Warehouse KPI Evaluation System Based on Principal Component Analysis. *ACM International Conference Proceeding Series*, 162–167. <https://doi.org/10.1145/3564858.3564884>

ANEXOS

- **Anexo1:**

https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-1vT_MQegGyOg0DqkOGCixC_MzffdFtXxMVeV521GsQ24HH7XzYQjnP4JDCSke9109KBi7e6YkbaDE_DY/pub

- **Anexo2:**

<https://renteki.com/product/estibador-electrico-lpe200/>
<https://www.logiscenter.com/terminal-intermec-ck3x>
<https://quecartucho.es/blog/impresoras/impresoras-matriciales/>
<https://acavisaindustrial.com/producto/escaleras-moviles/>
https://es.made-in-china.com/co_xyxmetal/product_Hot-Sale-Metal-Stackable-Fabric-Roll-Storage-Rack_rgyrhyiig.html
<https://users.dcc.uchile.cl/~jbarrios/J2EE/node105.html>

- **Anexo3:**

https://drive.google.com/drive/folders/1rgOysSDW4VfQ-dN9upngnMCxOxAKJuwq?usp=share_link