



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR DE CIUDAD SAHAGÚN

**MAESTRÍA EN GESTIÓN Y DESARROLLO
DE NUEVAS TECNOLOGÍAS**

TESIS

**ESTRATEGIA TECNOLÓGICA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE
INVENTARIO EN TIEMPO REAL EN UNA FÁBRICA FERROVIARIA**

**Para obtener el grado de
Maestro en Gestión y Desarrollo de Nuevas Tecnologías**

PRESENTA

Ing. Ángel Luna González

Director

Dr. Jesús Isidro González Hernández

Comité tutorial

Dr. Rafael Granillo Macías

Dra. Francisca Santana Robles

Dr. Isaías Simón Marmolejo

Dra. Beatriz Sauza Ávila

Ciudad Sahagún, Hgo., mayo 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Escuela Superior de Ciudad Sahagún
Campus Sahagún

MTRA. OJUKI DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE

Por medio de la presente, le informo que en virtud de haber cumplido las modificaciones y correcciones que el grupo de sinodales realizó a la tesis "Estrategia tecnológica para la administración de inventario en tiempo real en una fábrica ferroviaria", presentada por el Ing. Ángel Luna González, con matrícula 429599, de la Maestría en Gestión y Desarrollo de Nuevas Tecnologías, se ha decidido en reunión de sinodales autorizar la impresión de dicha tesis.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

PRESIDENTE	Dr. Rafael Granillo Macías	
PRIMER VOCAL	Dr. Jesús Isidro González Hernández	
SEGUNDO VOCAL	Dr. Isaías Simón Marmolejo	
TERCERA VOCAL	Dra. Beatriz Sauza Ávila	
SECRETARIA	Dra. Francisca Santana Robles	
PRIMER SUPLENTE	Dr. Justo Fabián Montiel Hernández	

Sin más por el momento, reitero a usted mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
Cd. Sahagún, Hgo., a 8 de mayo de 2023

DRA. SULY SENDY PÉREZ CASTAÑEDA
COORDINADORA DE POSGRADO



c.c.p. Archivo.



Carretera Ciudad Sahagún-Otumba s/n, Zona industrial Ciudad Sahagún, Tepeapulco, Hidalgo, C.P. 43990
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 ext 5300
jorge_zuno@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

Agradecimientos

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida, quiero extender un profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este sueño, aquéllos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Hago mención especial para mi esposa Linda G. Flores y para mi hijo Leonardo, a mis padres, hermanos y amigos de posgrado, muchas gracias a ustedes por siempre impulsarme a seguir adelante y por demostrarme que «El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que éste se supere».

Mi gratitud también a la Escuela Superior de Ciudad Sahagún, mi agradecimiento sincero al asesor de mi tesis, Dr. Isidro de Jesús, y a los asesores Dra. Francisca Santana, Dr. Isaías Simón, a la Dra. Suly Sendy Pérez Castañeda, Coordinadora de la Maestría en Gestión y Desarrollo de Nuevas Tecnologías; gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.

Gracias infinitas a todos.

INDICE

Resumen	7
Abstract.....	8
CAPÍTULO 1. CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO:.....	9
1.1. Introducción.....	9
1.2. Antecedentes del problema.....	13
1.3. Planteamiento del problema	17
1.4. Justificación.....	18
1.5. Objetivos de la investigación.....	20
1.6. Preguntas de la investigación	21
1.7. Hipótesis	21
1.8. Alcance	22
1.9. Limitaciones	22
1.10. Organización del trabajo	23
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	25
2.1. Marco teórico.....	25
2.2. Problemas de toma de decisiones	31
2.3. Elección de los sistemas de almacenaje	31
2.4. Sistemas de almacenamiento	33
2.5. Sistemas de manipulación de materiales	36
2.6. Sistemas de identificación	39
2.7. RFID	41
2.8. Tipos de etiquetas	46
2.9. Lector de código de barras.....	48
2.10. Costos de inventario	50
2.11. Políticas de inventario	54

2.12. Industria 4.0.....	61
2.13. Computación en la nube	62
2.14. Sistema de Gestión de Calidad	63
2.15. Marco referencial.....	64

CAPITULO 3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN..... 67

3.1. Exploración.....	67
3.2. Internet de las Cosas	67
3.3. Ventajas del uso del IoT	69
3.4. Arquitectura de IoT	70
3.5. Implantación del IoT en los almacenes	75
3.6. Cadena de suministro	76
3.7. Implementación a hardware	77
3.8. Consideraciones para una instalación de lector.....	77
3.9. Antenas y cables	78
3.10. Base de datos	78
3.11. Recomendaciones	79

CAPÍTULO 4. RESULTADOS..... 80

4.1. Propósito.....	80
4.2. Integración de dispositivos móviles	81
4.3. Requerimientos no funcionales	84
4.4. RFID y código de barras.....	85
4.5. Soluciones Smart Factory 4.0.....	86
4.6. Prueba Piloto	88

CONCLUSIONES 91

Referencias bibliográficas	94
----------------------------------	----

ANEXOS

Anexo 1.....	99
--------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cadena de suministro.....	13
Figura 2. Ejemplos de pallets	33
Figura 3. Estanterías convencionales.....	34
Figura 4. Estanterías convencionales.....	35
Figura 5. (a) Transpaleta manual; (b) transpaleta eléctrico para peatones; (c) transpaleta eléctrico de pie.....	37
Figura 6. (a) Carretilla elevadora contrapesada; (b) carretilla retráctil; (c) recogedor de pedidos vertical.....	38
Figura 7. Vehículo eléctrico de arrastre Taylor-Dunn Huskey	38
Figura 8. (a) Código de barras; (b) etiqueta logística	40
Figura 9. (a) Ejemplos de etiquetas RFID; (b) lector RFID portátil; (c) lector RFID fijo ...	42
Figura 10. Diagrama del principio de funcionamiento de la RFID.....	47
Figura 11. Etiqueta con código de barras EAN-13	49
Figura 12. Clasificación de los modelos de tamaño de lote	56
Figura 13. Receta de agotamiento	58
Figura 14. Diagrama de cadena de suministro	59
Figura 15. IoT Building Blocks	71
Figura 16. Arquitectura IoT	73
Figura 17. RFID y sus componentes	76
Figura 18. Diagrama de control de inventario.....	84
Figura 19. Filtros de la inspección de calidad	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etiquetas RFID por frecuencia.....	46
Tabla 2. Cuadro comparativo	86

Resumen

Las empresas ferroviarias se enfrentan actualmente a un mercado más competitivo y tecnológico. Los almacenes son un componente esencial de la infraestructura de la cadena de suministro y se consideran cada vez más como instalaciones estratégicas para proporcionar ventajas competitivas. Para enfrentar estos desafíos, la incorporación de tecnologías de la Industria 4.0 en la gestión de cadena de suministro puede contribuir activamente para acelerar las soluciones relacionadas con las operaciones y la gestión de control de inventarios. El aumento en el uso de la RFID está preparando el camino para el internet de las cosas, impulsado por una demanda de mercados.

Bajo este contexto, el estudio de sistema de gestión de control de inventario inteligente basado en la tecnología IoT va a conducir a mejorar la eficiencia en el almacenamiento, el control de entradas y salidas de materia prima y en la transmisión de información en tiempo real y optimización. Al ser implementado el internet de las cosas se logra precisión y alta eficiencia para adquirir información, procesamiento, producto terminado y se mejora el nivel de servicio de almacenamiento.

Así que en este proyecto se desean implementar tecnologías como son: el Internet de las cosas, RFID y código de barras. Es un caso de estudio en una empresa de la industria dedicada a la fabricación de vagones de trenes, que tiene como propósito controlar la gestión de control de inventarios, desde el almacén hasta las diferentes áreas de producción, mejorando la eficiencia, optimización y productividad. Se diseña una estrategia basada en la implementación de código de barras, RFID e Internet de las cosas que cumpla con la identificación, ubicación, historial y la ejecución de procesos de selección contra la orden de trabajo.

Palabras claves: competitivo, control de inventarios, optimización, cadena de suministro, Internet de las cosas, almacenamiento.

Abstract

Railway companies are currently facing a more competitive and technological market. Warehouses are an essential component of the supply chain infrastructure and are increasingly viewed as strategic facilities to provide competitive advantages. To meet these challenges, the incorporation of Industry 4.0 technologies into supply chain management can actively contribute to accelerate solutions related to operations and inventory control management. The increased use of RFID is paving the way for the Internet of Things, driven by market demand.

In this context, the study of an intelligent inventory control management system based on IoT technology will lead to improve the low efficiency in storage, control of inputs and outputs of raw materials and in the transmission of information in real time and optimization. When the Internet of Things is implemented, precision and high efficiency are achieved to acquire information, processing, finished product and the level of storage service is improved.

In this project, we want to implement the technologies such as: the Internet of Things, RFID, and barcodes. It is a case study in the industry dedicated to the manufacture of train wagons, whose purpose is to control inventory control management, from the warehouse to the different production areas; improving efficiency, optimization and productivity. A strategy is designed based on the implementation of barcode, RFID and Internet of Things that comply with the identification, location, history, and execution of selection processes against the work order.

Keywords: competitive, inventory control, optimization, supply chain, Internet of Things, storage.

CAPÍTULO I. CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

1.1. Introducción

Actualmente las empresas se enfrentan a un mercado más competitivo y tecnológico (el comercio a través del e-comercio y la Industria 4.0). Debido a esta competencia, la administración de la cadena de suministro representa uno de los factores más críticos en la rentabilidad de un negocio. En un mercado tan complejo, el diseño, la integración y la operación de la cadena de suministro son elementos estratégicos para producir y distribuir un producto (bienes) o servicio. Esta complejidad ha provocado que las empresas se enfrenten al desafío de identificar, seguir, controlar y mejorar el rendimiento de todos los procesos de la cadena. Entre los diferentes eslabones de la cadena de suministro, el control de inventario es un componente esencial de la infraestructura de la cadena de suministro y se considera cada vez más como instalación estratégica para proporcionar ventajas competitivas.

D. Singh & Verma (2018) mencionan que la cadena de suministro se define como un sistema de organizaciones, personas, actividades, información y recursos que se encargan de trasladar un producto o servicio. Por otra parte, Ortega-Palma, et al. (2020) explica que las actividades de la cadena de suministro implican la transformación de recursos naturales, materias primas y componentes en un producto acabado que se entrega al cliente final. De tal forma que el término “administración de la cadena de suministro” es considerado como un principio de integración y coordinación entre departamentos y empresas para planificar, administrar y controlar todas las actividades de la cadena, con el objetivo de maximizar el valor al cliente y lograr una ventaja competitiva sostenible.

Entre las diferentes actividades de la cadena de suministro, la gestión de almacenes tiene uno de los papeles más esenciales, ya que proporciona la información central para las funciones de entrada: lo que es la recepción de materia prima, productos semielaborados, transferencia

de la materia prima a producción, identificación de materia prima, clasificación y envío a sus ubicaciones asignadas, productos terminados y funciones de salida: la recolección, empacar, enviar y actualizar el registro. Los almacenes proporcionan economía de escala, ya que las operaciones de almacenamiento permiten actuar como amortiguador, equilibrando la oferta y demanda a corto y largo plazo (González-Hernández, et al., 2019; Jabbar, et al., 2018).

Un diseño de red de la cadena de suministro (SCND) eficaz y con capacidad de respuesta es un componente vital del alto rendimiento caracterizado por una alta eficiencia y un nivel adecuado de servicio al cliente. A medida que las organizaciones cambian dinámicamente sus operaciones y se involucran en el abastecimiento global junto con ciclos de vida de los productos más cortos, los ejecutivos de hoy se ven obligados a revisar y rediseñar sus redes de distribución con más frecuencia que nunca (Darmawan, et al., 2021).

La creciente interdependencia de la cadena de suministro ha introducido un mayor nivel de volatilidad; este nuevo entorno requiere cadenas de suministro flexibles y con mayor integración. Reaidy, et al. (2015) menciona que una interconexión de cadena de suministro no se trata simplemente de la interconexión entre la propia producción, almacenes y envíos; significa que existe una conexión entre empresas, procesos, producto semielaborado, producto terminado y sistemas de tecnologías de la información y comunicación.

La logística en la Industria 4.0 debe basarse en el uso de conocimientos y experiencia de la empresa en función de las necesidades, que es considerado como parte del proceso de creación de valor y no como un consumidor pasivo de bienes y servicios. Como resultado, la empresa obtendrá la oportunidad de analizar las actividades claves en términos de competitividad (Evtodieva, et al., 2019; Ortega-Palma, et al., 2020).

Con la dinámica actual del comercio, las operaciones (recibo-almacenamiento-despacho) de alta velocidad se están convirtiendo en la norma de los almacenes. De tal forma que las dificultades para administrar y controlar el inventario en entornos operativos complejos se deben a la incertidumbre o aleatoriedad de los diversos procesos comerciales entrelazados, ya que es difícil monitorear, recopilar y procesar la información necesaria para tomar

decisiones en tiempo real. El control de inventario es un área importante en la que toda empresa tiene que concentrarse y diferenciarse con la creciente demanda. Si una empresa quiere sobrevivir a largo plazo, debe prestar especial atención a la cadena de suministro y al control de inventario (Ortega-Palma, et al., 2020).

La gestión de inventarios es la parte de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo eficiente, eficaz y almacenamiento de bienes, servicios e información. Por lo tanto, la importancia de la eficiencia de la cadena de suministro como ventaja competitiva ha generado desafíos significativos para el desarrollo de cadenas más robustas (Huang, et al., 2020).

A lo largo de la cadena de suministro los sistemas de tecnologías de la información permiten visibilidad, trazabilidad, interoperabilidad y colaboración en la toma de decisiones, esto implica el uso de la infraestructura del internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Estas tecnologías pueden mejorar el rendimiento en la cadena de suministro, aumentar la visibilidad del rendimiento, la disponibilidad del inventario, la mejora de la coordinación y la reducción de los costos de mano de obra y de inventario, mejorando la coordinación (Reaidy, et al., 2015).

Dentro de las tecnologías se encuentra la implementación de un sistema de código de barras, el cual afectará casi todas las partes de una empresa. Manthou & Vlachopoulou (2001) mencionan que la implementación de un sistema de código de barras es una estrategia sólida y una cuidadosa preparación de los elementos claves para evitar posibles inconvenientes futuros, por lo que se requiere un análisis detallado y su cronología para que el sistema de código de barras propuesto no se convierta en un obstáculo en el desarrollo de la empresa. Es de gran importancia que el sistema de código de barras propuesto no se convierta en un cuello de botella operativo.

Por lo tanto, en este proyecto se propone diseñar una arquitectura para gestionar y controlar el inventario de forma inteligente, es decir, automatizar los procesos de identificación, ubicación (rastreo), historial (trazabilidad), selección correcta de los materiales y recopilar e

intercambiar información en tiempo real, utilizando las tecnologías de la Industria 4.0 como Identificación por Radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés) e Internet de las Cosas, además se plantea integrar una interfaz aérea, es decir, montar un lector RFID.

Autores como Jabbar et al. (2018) y Nayyar, et al. (2020) citan que las tecnologías impulsadas por la Industria 4.0 como el Internet de las Cosas, Sistemas Identificación por Radiofrecuencia, sensores de identificación automática, vehículos autónomos, vehículos aéreos no tripulados, realidad aumentada y simulación, han creado un entorno ideal para la implementación e integración de estas tecnologías en la administración de almacenes, lo que permitirá transformar las operaciones con el objetivo de maximizar la productividad del almacén y minimizar el costo de las operaciones. La tecnología RFID puede desempeñar un papel importante en la infraestructura del Internet de las Cosas como medio de comunicación y proveedor de datos para la gestión de cadena de suministro (Ready, et al., 2015).

Las plataformas de inteligencia ambiental permiten al Internet de las Cosas conectar diferentes objetos del mundo físico a la infraestructura de la tecnología de información y ser supervisados y potencialmente controlados. Los estudios relacionados con la RFID en la gestión de los inventarios son relativamente nuevos. En lugar de analizar el valor de la RFID de una cadena de suministro, se estudia la RFID a nivel de artículo para hacer frente a la pérdida de existencias (Fan, et al., 2014).

Ortega-Palma, et al. (2020) citan que, en la cuarta revolución industrial, los sistemas RFID y sensores son considerados la principal fuente de generación de datos en entornos inteligentes. Se debe tener en cuenta que la necesidad de mejorar la productividad en la cadena de suministro depende de un control de inventarios de forma inteligente utilizando las tecnologías impulsadas por la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas y Sistemas de Identificación por Radiofrecuencia.

Ready, et al. (2015) y Zhou, et al. (2017) mencionan que el uso de la infraestructura del Internet de las Cosas para la gestión de almacenes mejora la visibilidad, la trazabilidad y la transparencia de los almacenes y apoya el desarrollo de un enfoque ascendente para la gestión de almacenes. Este enfoque mejora la reactivación y la competitividad de la gestión.

En la figura 1 se muestra una representación de una cadena de suministro.



Figura 1. Cadena de suministro. Dmitry Ivanov, et al., 2016.

1.2. Antecedentes del problema

Actualmente las empresas ferroviarias se enfrentan a un mercado más competitivo y tecnológico. Se enfrentan día a día a manejar grandes cantidades de inventario, lo cual genera mucho residuo (Scrap, por sus siglas en inglés); si no se lleva un control adecuado, se incrementa el costo de materia prima. Debido a esta competencia, la administración de la cadena de suministro representa uno de los factores más críticos en la rentabilidad de un negocio. Una administración eficiente de la cadena permite a las empresas implementar estrategias competitivas para lograr una ventaja en el mercado y garantizar un nivel adecuado de servicio al cliente. De tal forma que las empresas enfrentan el desafío de identificar, seguir,

controlar y mejorar el rendimiento de todos los procesos de la cadena. Singh & Verma (2018) citan que la gestión de control de inventarios se refiere a las finas líneas entre el tiempo de reposición, costes de transporte, gestión de activos, inventario físico, gestión de calidad, el reabastecimiento de materia prima dentro de almacén, devoluciones, materia prima defectuosa y previsión de la demanda. La gestión de control de inventarios es la parte de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el flujo eficiente, eficaz y almacenamiento de bienes y servicios.

Singh & Verma (2018) mencionan que la gestión de inventarios se define como el proceso continuo de planificación, organización y control de inventarios que tiene como objetivo minimizar la inversión en inventarios al tiempo que se equilibra la oferta y la demanda. El proceso consiste en supervisión del suministro, el almacenamiento y la accesibilidad de los artículos, con el fin de garantizar un suministro adecuado sin un excesivo. La globalización económica y la gestión de la cadena de suministro han introducido un mayor nivel de volatilidad y vulnerabilidad (Reaidy, et al., 2015).

Kucharavy, et al. (2018) mencionan que la decisión estratégica relativa a la evolución del control de inventario debe tener en cuenta los cambios dinámicos de las actividades y funciones, así como las características específicas del ciclo de vida del sistema. Al respecto, Li, et al. (2015) mencionan que las tecnologías de la industria 4.0, como el IoT, se pueden aplicar para resolver problemas de la administración tradicional de inventarios, como la dificultad para obtener información en tiempo real, la alta dependencia artificial, el bajo nivel de automatización de la gestión de inventario y el control de entradas y salidas de materia prima.

Al implementar tecnológica IoT para la administración y el control de inventarios, las empresas obtendrán ventajas competitivas, ya que se minimizarán los recursos humanos y económicos, además de mejorar la eficiencia del control de inventarios (Li, et al., 2015).

El término cadena de suministro es utilizado por primera vez por Banbury (1975) y describe una vinculación de actividades relacionadas con el suministro a través de múltiples funciones

y organizaciones. Para reducir el exceso de inventario y evitar la escasez, el ingeniero necesita tomar decisiones, coordinar la cantidad y la ubicación del inventario, cuándo, qué y la cantidad de productos acabados que debe transportar en su control de inventario. La función logística puede encargarse de almacenar y transportar las materias primas y las piezas; de este modo, la función logística desempeña el papel de gestión integrada de las existencias y el flujo de materiales. Las funciones de una cadena de suministro incluyen las compras, la producción y la logística (Nakano, 2020).

Por otra parte, el término “administración de la cadena de suministro” fue utilizado por primera vez en la literatura por Oliver & Webber en 1982. Actualmente, este término es considerado como un principio de integración y coordinación entre departamentos y empresas para planificar, administrar y controlar todas las actividades de la cadena con el objetivo de maximizar el valor al cliente y lograr una ventaja competitiva sostenible (Ivanov, Tsipoulanidis & Schönberger, 2017).

La cadena de suministro describe el proceso de entrega de un servicio de principio a fin. Su objetivo es lograr la coordinación y la vinculación entre todos los procesos a lo largo de la cadena de suministro como proveedores, los clientes y la propia organización, mejorando así el rendimiento de la misma y reduciendo los costes. La cadena de suministro ayuda a reducir las reservas de inventario compartiendo información relacionada con la demanda y los niveles de control de inventario (Hamdy, et al., 2018).

Los sistemas de almacenamiento y manipulación deben estar diseñados y gestionados de forma que el producto pueda mantenerse en un estado adecuado. Esto implica la existencia de sistemas para reducir residuos y los daños, así como para satisfacer la rotación de las existencias (Nakano, 2020).

Entre las diversas funciones de la cadena de suministro, el control de inventario y la gestión de almacenes proporcionan la información central para las funciones de entrada (recepción de materia prima o productos, transferencia de los materiales o productos al almacén, identificación de productos o materia prima, clasificación y envío a sus ubicaciones

asignadas) y funciones de salida (recolección, empaquetar, enviar y actualizar el registro). En los almacenes cada espacio debe utilizarse de manera óptima para garantizar que la materia prima o artículos se puedan recuperar, procesar y entregar de la manera más rápida posible (Jabbar, et al., 2018).

Actualmente la dinámica del comercio y operaciones de velocidad alta se están transformando en la norma de un control de inventario. En la forma tradicional de una gestión de control de inventario es difícil recopilar, monitorear y procesar información para tomar decisiones en tiempo real. Las empresas que manejan grandes volúmenes, plazos de entrega cortos se enfrentan día a día a diferentes desafíos (Zhou, et al., 2017).

Bajo este contexto, Soheilrad, et al. (2018) mencionan que desde la década de 1990, la administración de la cadena de suministro ha evolucionado rápidamente mostrando un crecimiento exponencial en trabajos publicados en diferentes revistas de interés para académicos y profesionales (administración y tecnología). Las investigaciones en esta área se han centrado principalmente en mejorar la eficiencia y la ventaja competitiva de los involucrados. Desde la perspectiva de Jabbar, et al. (2018), para enfrentar los desafíos del mercado globalizado altamente competitivo de hoy, la incorporación de tecnologías emergentes de la Industria 4.0 en los procesos de logística y cadena de suministro contribuyen activamente a acelerar las soluciones relacionadas con las operaciones, la productividad y la rentabilidad.

Autores como Jabbar, et al. (2018) y Nayyar, et al. (2020) mencionan que las tecnologías impulsadas por la Industria 4.0 como el Internet de las Cosas, sistemas de identificación por radiofrecuencia, sensores de identificación automática, vehículos autónomos, vehículos aéreos no tripulados y realidad aumentada (simulación) han creado un entorno ideal para la implementación e integración de estas tecnologías en la administración de almacenes para transformar las operaciones con el objetivo de maximizar la productividad del almacén y minimizar el costo de las operaciones.

Basado en la necesidad de mejorar la productividad en la cadena de valor y motivado por el tema de adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en la administración de almacenes, este proyecto de tesis pretende implementar e integrar tecnologías como el Internet de las Cosas y RFID en un caso de estudio en una empresa de la industria ferroviaria, con el fin de identificar, mover, posicionar y controlar el inventario (componentes ferroviarios) desde el almacén hasta las diferentes líneas de producción, para mejorar la eficiencia y la productividad del almacén.

Además, con el fin de diseñar una solución basada en Internet de las Cosas y RFID que no sólo cumpla con los requisitos de automatización de los componentes ferroviarios de identificación, su ubicación (rastreo), su historial (trazabilidad) y la correcta ejecución de los procesos de selección contra la orden de producción antes de enviar los componentes a las diferentes líneas de producción. En este proyecto se propone diseñar una estrategia tecnológica para el diseño de una arquitectura que utilice una interfaz entre el Internet de las Cosas.

1.3. Planteamiento del problema

La administración y control de inventario en empresas multinacionales que se encuentran en el sector metal mecánico y en específico en el sector de fabricación de ferrocarriles se vuelve complejo, ya que el control de la materia prima y los componentes semi elaborados se encuentran en almacenes grandes y al aire libre, debido a la naturaleza de los procesos de fabricación.

En el área de control de inventario y distribución de materia prima se presentan grandes desafíos como atrasos y residuos generando tiempos muertos en las líneas de producción y creando cuellos de botellas en dichas áreas, incrementando tiempo extra para recuperar hora hombre. Produciendo una fabricación de costo más alto y teniendo una disminución de

utilidad por producto terminado. Este problema se va generando día a día por una mala estrategia en la fabricación de componentes de materia prima, ya que no existe una trazabilidad funcional de los materiales de acuerdo con su ruta específica de la orden de trabajo.

De ahí que este proyecto se enfoca a diseñar una estrategia tecnológica que permita administrar y controlar el inventario de producto semi elaborado en tiempo real en un almacén que se encuentra al aire libre. Lo que llevará a un beneficio a la empresa, porque disminuirá los tiempos de entrega, pérdida de materia prima y se obtendrá un flexible y eficaz control de inventario.

De tal forma que es de gran importancia conocer las tecnologías que son aplicadas a este proceso de logística e inventario. En la actualidad, las empresas crean innovaciones para generar mayor competitividad y obtener mejores resultados en sus productos terminados, aumentando la demanda y reduciendo los costos.

1.4. Justificación

Los almacenes son un componente esencial de la infraestructura de la cadena de suministro y se consideran cada vez más como instalaciones estratégicas para proporcionar ventajas competitivas en una empresa. A medida que aumenta la producción, la personalización de productos, plazos de entrega más cortos, un mejor control de calidad y la reducción de costos laborales, se necesitan tecnologías avanzadas en la administración de control de inventarios (Ma, 2019).

El objetivo principal de una solución tecnológica en la gestión de los almacenes debe proporcionar transparencia y control de la información, la trazabilidad y localización de los materiales y/o productos en tiempo real para garantizar la entrega de los materiales a las

líneas de producción o la entrega de productos en el momento, lugar, cantidad, condición y costos correctos. Por lo tanto, se requiere de un seguimiento inteligente de la materia prima en toda la cadena de suministro para facilitar a los administradores la toma de decisiones y maximizar el nivel de servicio al cliente (Affia & Aamer, 2021).

Una administración de inventario en tiempo real, con el uso de la tecnología, puede llegar a ser una herramienta poderosa que no sólo sea de apoyo para la empresa en cuestión, sino también para brindar al cliente experiencias de venta satisfactorias, así como pronosticar y monitorear las demandas de material para las áreas de fabricación, además de reducir errores humanos que pueden retrasar entregas (Singh, 2019).

El uso de la tecnología IoT en el control de inventario tiene como objetivo lograr que las empresas sean óptimas, eficientes, flexibles y además, puedan atender de manera inmediata las variaciones en los pedidos en cualquier momento que se requiera, esto exige que las estructuras de proceso dentro de las empresas sean más rápidas. Cuando existen valores inciertos de demanda, costos e inventario generan un nivel bajo de transparencia de información, tanto para la empresa como para los clientes, arrojando valores que no son los reales de acuerdo al desempeño de producción y ventas (Schuh, et al., 2011).

En este sentido, la incorporación del Internet de las Cosas, RFID, drones y simulación en la administración y control de los inventarios da como resultado:

- Optimiza los procesos logísticos.
- Optimiza los costos operativos.
- Minimiza trabajos manuales.
- Reduce tiempos de operación en los almacenes.
- Genera un mayor control del inventario (aumenta la visibilidad en los niveles de existencias).
- Recopila y procesa datos (información) en tiempo real.
- Genera mayor precisión de la información sobre la trazabilidad y rastreo de la materia prima o productos.

- Aumenta la seguridad de los trabajadores.
- Aumenta la productividad.

Finalmente, la importancia de este proyecto tiene un enfoque principal en el diseño de un control de inventario para llevar a cabo una automatización, actualización y atender necesidades dentro de una empresa para que tenga un producto de calidad. Donde se aplicarán las tecnologías internet de las cosas, uso de RFID para la localización adecuada de la materia prima e implementación de código de barras, buscando obtener flexibilidad, menos costos, menos pérdidas de residuos, menos inversión en tiempo y operadores, trabajando correctamente y sin tiempos muertos en las líneas de producción.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general:

Diseñar una estrategia tecnológica para administrar y controlar el inventario en un almacén de una empresa ferroviaria para automatizar los procesos de identificación, ubicación, trazabilidad, selección correcta de los productos de acuerdo con la orden de trabajo y recopilación e intercambio de información en tiempo real, mediante la utilización de tecnologías de la Industria 4.0 como el Internet de las Cosas, vinculada con dispositivos como lectores de código de barras y RFDI, con el fin de mejorar el flujo continuo del producto durante los procesos hasta la entrega a almacén para maximizar la productividad y minimizar los costos de operación por manejo de control de inventarios.

1.5.2. Objetivos específicos:

1. Realizar una revisión de la literatura para identificar los principales avances científicos y tecnológicos que se han utilizado para administrar y controlar los inventarios.

2. Estudiar e identificar los factores críticos de éxito para la adopción de tecnologías como el Internet de las Cosas, lectores de código de barras y RFID en los procesos logísticos y en la administración de inventarios.
3. Diseñar una arquitectura para la administración y control de inventarios de forma inteligente mediante la fusión de tecnologías RFID, lector de código de barras e Internet de las Cosas.
4. Validar teóricamente el marco de arquitectura propuesto para identificar los requisitos de infraestructura que se requieren para implementar Internet de las Cosas, RFID y código de lector de barras en la administración de inventarios.

1.6. Preguntas de la investigación

1. ¿Cuál es el estado del arte sobre la administración y control de inventarios que existe en la literatura científica?
2. ¿Cuáles son los factores críticos de éxito para la adopción de tecnologías como el Internet de las Cosas, RFID y lector de código de barras en la administración de inventarios?
3. ¿La integración y fusión de tecnologías como el Internet de las cosas, RFID y lector de código de barras permite una administración y control de los inventarios de forma inteligente?
4. ¿Implementar tecnologías como Internet de las cosas, RFID y lector de código de barras proporcionará ventajas competitivas?

1.7. Hipótesis

Durante muchos años, la administración y el control de inventarios había sido una tarea difícil, ya que actividades como el recuento de existencias y verificación de ubicaciones correctas se hacían en su mayoría en forma manual, lo que implicaba invertir horas hombre

para complementar el proceso y la información recopilada en muchos casos era incorrecta. Ahora, con las nuevas tecnologías impulsadas por la Industria 4.0, este proceso ha evolucionado y se ha vuelto más sencillo. Por lo tanto, la hipótesis de este proyecto de investigación es:

- H1: La aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 (como el Internet de las Cosas, RFID, lectores de código de barras) en la administración y control de inventarios permite una administración inteligente de los almacenes, maximiza la productividad y minimiza los costos de las operaciones.

1.8. Alcance

En este trabajo se hará un análisis en la literatura existente para identificar metodologías, técnicas y tecnologías que sean aplicado en la administración y control de inventarios.

En segunda instancia se hará un diagnóstico situacional de la administración del almacén central de una empresa ferroviaria para identificar las áreas de oportunidad que existe en el control de inventarios.

Y finalmente se propondrá una estrategia tecnológica para administrar y controlar de forma inteligente y en tiempo real el almacén central de una empresa ferroviaria.

1.9. Limitaciones

- La recopilación de la información para el diagnóstico situacional estuvo sujeta a la información que proporcionó la empresa.

- La viabilidad técnica de la propuesta tecnológica se realizó mediante una “prueba de concepto”¹.

1.10. Organización del trabajo

La presente tesis está dividida en cuatro secciones o capítulos, en cada uno de ellos se describe de manera descriptiva, ordenada y científicamente el desarrollo del trabajo para cumplir con el objetivo. El orden que sigue este trabajo se describe brevemente a continuación:

Sección 1: “Propósito y organización de la tesis”

En esta sección se realiza una revisión de la literatura para realizar el planteamiento del problema, además se establece el propósito de la investigación, el objetivo general y objetivos específicos, la justificación, alcances y limitaciones.

Sección 2: “Estado del arte”

Aquí se presenta la teoría sobre la cual se basa el proyecto de tesis, en donde se establecen conceptos y la explicación de metodologías de apoyo para el desarrollo de la investigación. Además, se proporciona el marco referencial sobre los últimos avances en procedimientos, técnicas y tecnologías que se han aplicado en la administración de inventarios.

Sección 3: “Propuesta de intervención”

En esta etapa se busca identificar el modelo conceptual para la administración y control de inventarios, con el propósito de analizar los principales elementos y recursos que conforman la administración de un almacén, para lo cual se deberán identificar las condiciones de operación del mismo, en donde se incluya aspectos como la incertidumbre en el suministro, disponibilidad de recursos, infraestructura, abastecimiento, asignación de ubicaciones, órdenes de producción, recolección, niveles de inventario y costos logísticos asociados con

¹ Una prueba de concepto o PoC es, fundamentalmente, una implementación de una idea, un método, una aplicación o un programa que, de forma generalizada, se lleva a cabo de manera incompleta o resumida.

el desempeño del almacén. También se debe especificar los componentes de software y hardware necesarios, su organización y configuración funcional, sus principios y procedimientos operativos, y los formatos de datos utilizados para el funcionamiento de la administración y control de los inventarios de forma inteligente.

Sección 4: “Resultados y conclusiones”

En este apartado se mostrarán los resultados de la “prueba concepto” (prueba piloto a pequeña escala) de la propuesta tecnológica. Además, se presentarán las conclusiones de este proyecto de tesis, así como la bibliografía en la que se fundamenta esta investigación.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

2.1. Marco teórico

Desde el punto de vista de Ghiani, et al. (2013), las empresas y la logística se consideran un sistema que incluye todas las actividades funcionales que determinan el flujo de materiales e información indispensable para la ejecución de determinadas actividades. Un sistema logístico está formado por instalaciones en las que se realizan una o varias actividades funcionales.

El almacenamiento es una actividad logística clave que ha adquirido un papel cada vez más determinante en la organización de los sistemas logísticos. Esta actividad se refiere a una instalación específica del sistema logístico, identificada genéricamente con el término de almacén, aunque existen diferentes denominaciones más específicas según su funcionalidad y a su posicionamiento dentro del sistema logístico.

Es necesario conocer las siguientes definiciones.

Almacén propio:

Es la solución menos costosa a largo plazo, principalmente en el caso de productos continuos de alta demanda y es la única solución posible en el caso de que las operaciones de control de inventario requieran equipos y personal altamente especializados. Además, puede utilizarse como zona de aparcamiento para los vehículos de la empresa o como base para la oficina de ventas o compras.

Almacén alquilado:

Ofrece los mismos servicios que un almacén en propiedad, pero no necesita inversiones a largo plazo y, por tanto, es menos costoso a corto plazo. Debe preferirse cuando se prevea una reorganización del sistema de distribución a medio plazo.

Almacén público:

Es frecuente encontrarlo en zonas como puertos y aeropuertos. Este tipo de almacén cuenta con un equipamiento estándar para satisfacer las necesidades generales y comunes, por lo que es poco adecuado para usos muy especializados. Sus costos son directamente proporcionales a la superficie ocupada en el almacén, al tiempo de utilización y a los servicios utilizados. Esta solución permite un rápido ajuste de la estructura del sistema logístico.

Depósito:

Es un área de almacenamiento de materias primas, productos semielaborados y productos utilizados prevalentemente para garantizar a la empresa la correcta realización de las fases de fabricación.

Almacén central:

Es un almacén que, además de almacenar, asegura la distribución de los productos a los clientes, posiblemente mediante el uso de zonas periféricas de zonas.

Almacén periférico:

Es un almacén servido por un almacén central y utilizado para la distribución de los productos a los clientes. Su objetivo es garantizar una mejor calidad del servicio al cliente.

Centro de distribución:

Se utiliza principalmente en la gran distribución para el almacenamiento de productos procedentes de diferentes fabricantes.

Almacén automático:

Es un almacén en el que las unidades de carga y recepción en la zona de almacenamiento están automatizadas, normalmente mediante el uso de una máquina electromecánica que se desplaza sobre raíles.

Almacén de repuestos:

Se utiliza para almacenar los consumibles, las herramientas necesarias para que una planta de fabricación funcione eficazmente.

Depósito aduanero:

Es un depósito gestionado por una autoridad donde las mercancías proceden de estados extranjeros y se almacenan a la espera de que se realicen operaciones aduaneras regulares.

De acuerdo a las definiciones anteriores, se hará referencia generalmente a un depósito como una instalación donde se realizan las actividades de recepción, almacenamiento y expedición de productos (ésta, a su vez, se subdivide en actividades de *picking*² de la zona de almacenamiento).

Cada una de estas actividades puede ser más o menos importante, según la tipología del almacén, el número de artículos (que puede variar de unas pocas unidades a varias decenas de miles) y la demanda de cada producto (que puede variar desde unas pocas unidades al mes hasta algunos cientos de unidades al día). En los casos más sencillos, las operaciones de carga de gran tamaño de un mismo producto y, por lo tanto, las principales actividades realizadas se refieren a la fase de almacenamiento. Sin embargo, si las unidades de carga se componen de muchos artículos, la actividad de *picking* se vuelve mucho más complicada y laboriosas las operaciones de ensamblaje, empaquetado y embalaje.

Las ventajas de los almacenes en un sistema logístico están relacionadas esencialmente con el almacenamiento y la expedición de productos. En particular, gracias a los almacenes la producción se disocia de la demanda, lo que contribuye a atenuar los efectos de la falta de fiabilidad de los datos de previsión de la demanda de productos y de las plantas de fabricación, así como de los servicios de transporte y de la estacionalidad de los productos, etc.

² Picking hace referencia al método de preparación de pedidos que, utilizando un número de mínimos de pasos, consigue agilizar el proceso, con el fin de hacer el proceso lo más eficiente posible.

El almacén permite a las empresas garantizar un ritmo de producción regular para minimizar los costos, manteniendo un nivel de existencias suficiente para satisfacer la variabilidad de la demanda. Además, los almacenes garantizan la utilización de los mejores medios de transporte desde un factor económico tanto en la fase de recepción, como en las operaciones de entrega posteriores. El transporte de cantidades agregadas de productos permite reducir los volúmenes de transporte con respecto a las expediciones individuales, ya que los datos de previsión agregados de la mayoría de los productos son más fiables que los datos desagregados.

Por último, cabe señalar que a medida que aumenta el número de almacenes, la distancia entre ellos y los clientes disminuye, mientras que la distancia total de las instalaciones anteriores en el sistema logístico aumenta. En consecuencia, los costos de transporte de entrada aumentan, pero cuando los vehículos viajan totalmente los costes de transporte de salida disminuyen más rápidamente que los de entrada, lo que garantiza un mejor servicio para los clientes, lo que se refleja en un mejor servicio para el cliente, ya que los plazos de entrega se reducen. Sin embargo, la apertura y gestión de un almacén conlleva inevitablemente costos que se pueden clasificar convenientemente de la siguiente manera:

Costos de inversión:

Se pagan en la fase de creación de la actividad logística de un almacén y son, por ejemplo, el costo de adquisición de la propiedad, el costo de planificación y el costo del equipamiento.

Costos de explotación:

Son los costos asociados a la gestión de las unidades de carga recopiladas en el almacén y a su manipulación. Son los costos ligados a las actividades de recepción de materias primas, productos semielaborados, de productos acabados y semiacabados y de preparación de pedidos, los costes de embalaje, los administrativos y las tasas de depreciación.

Costos del riesgo:

Los costos totales del riesgo pueden calcularse considerando tanto los riesgos operativos como los comerciales. Los costos de los riesgos operativos se refieren, por ejemplo, a los productos que pueden quedar obsoletos en un plazo determinado, a los productos dañados y a los desabastecimientos. Los costos de los riesgos comerciales se refieren, en cambio, a las pérdidas de ventas a los clientes.

Costos de funcionamiento:

Se refieren al consumo de energía, al mantenimiento de las instalaciones, las pólizas de seguro, las medidas de seguridad, etc.

Se pueden utilizar varios indicadores para evaluar el rendimiento de un almacén, la capacidad de explotación del espacio de almacenamiento disponible. Los siguientes parámetros de utilización del espacio son los siguientes:

- Índice de utilización de la superficie, definido por la relación entre la superficie efectivamente utilizada para almacenar unidades de carga respecto a la superficie total del almacén.
- Índice de utilización del volumen, dado por la relación entre el volumen ocupado por las unidades de carga almacenadas y el volumen total del almacén.

La capacidad potencial del almacén de gestionar unidades de carga se evalúa mediante los siguientes índices:

- La receptividad potencial, dada por el número máximo de unidades de carga almacenables; se trata de una medida estática de la capacidad del almacén.

- Rendimiento, expresado por el número máximo de unidades de carga en tránsito en el almacén en una unidad de tiempo determinada; este parámetro expresa la capacidad dinámica del mismo.

La eficiencia del almacén puede evaluarse por su capacidad de explotación. Para calcularse se recomiendan los siguientes parámetros:

- Coeficiente de saturación de la receptividad potencial, que representa un porcentaje de la receptividad potencial teórica, normalmente utilizable en un periodo de referencia (diario o mensual) y se define como la relación entre el número de unidades de carga presentes por término medio en el almacén dentro del período de tiempo considerado, a la receptividad potencial.
- Índice de selectividad, expresado por la relación entre el número de unidades de carga directamente accesibles en la fase de *picking* con respecto a la receptividad potencial. Una baja selectividad suele indicar un elevado número de operaciones de manipulación de materiales necesarias para recoger las mercancías que componen las unidades de carga salientes. Los valores bajos reflejan la posibilidad de producir un menor flujo de productos en comparación con los almacenes que tienen las mismas características físicas, pero valores de selectividad más elevados.
- Índice de acceso, expresado por la relación entre el número de operaciones de manipulación de materiales en el período de referencia considerado (día, mes o año) con respecto a la receptividad potencial del almacén. Indica la frecuencia de las operaciones de manipulación. Los almacenes con índices de acceso elevados son, por tanto, almacenes muy dinámicos, en los que la mercancía almacenada se caracteriza por un tiempo reducido de permanencia en el almacén y, por lo tanto, se manipulan con frecuencia; por el contrario, los almacenes con un índice de acceso bajo son almacenes más estáticos, con operaciones de manipulación de materiales menos frecuentes.

- El índice de rotación de las existencias, que se calcula como la relación entre el valor de las salidas de mercancías en un periodo de tiempo determinado con respecto al valor del nivel medio del nivel de inventario en el almacén en el mismo horizonte temporal. El índice de rotación es, por tanto, un número adimensional que, definido así, expresa el grado de manera, el grado de movilidad de los capitales inmovilizados en stock.

2.2. Problemas de toma de decisiones

Las decisiones relativas al diseño, organización y gestión del almacén desde el punto de vista de la planificación logística pueden clasificarse en estratégicas, tácticas y operativas.

El diseño de un almacén o la reorganización de uno existente es un problema de planificación logística, cuyo objetivo es la minimización de la suma de los costos estimados de inversión, gestión, riesgo y operación para un conjunto dado de los flujos de materiales entrantes y salientes, en presencia de limitaciones en la disponibilidad de espacio, capital y mano de obra.

Un estudio de diseño completo prevé, entre otras, las siguientes fases de decisión.

- Selección del emplazamiento.
- Elección de los sistemas de almacenaje.
- Elección de la distribución del almacén.

2.3. Elección de los sistemas de almacenaje

La elección de los sistemas de almacén se realiza teniendo en cuenta una serie de factores. Uno de los más importantes viene dado por las características de embalaje (unidades de carga) de los productos almacenados en el almacén. En general, se consideran tres posibles

embalajes en función del tipo de producto, su valor, su tamaño, las cantidades medias entregadas y cantidades entregadas:

Embalaje primario (unidades de distribución)

Este envase entra en contacto directo con el producto. Es la unidad de venta destinada al cliente. La determinación de las características del envase primario está asociada a consideraciones de marketing. En los almacenes, algunos productos específicos pueden almacenarse en su forma de envase primario forma de envase primario en los diferentes almacenes.

Paquete secundario

Envases que contienen uno o varios envases primarios. El número y la disposición de las unidades de distribución deben tenerse en cuenta para la correcta formación de los paquetes secundarios. Las limitaciones tienen que ver con la facilidad de manipulación de los paquetes en los almacenes y en las instalaciones a las que se entregan los paquetes secundarios.

Paquetes terciarios (pallets)

La actividad de recepción y almacenamiento de unidades de carga en un almacén suele consistir en la llamada unidad de carga paletizada, utilizando bases adecuadas (pallets), como se observa en la figura 2, que también se utilizan para identificar los paquetes terciarios.

Un palé es una plataforma portátil, generalmente de madera, cartón ondulado o plástico, sobre la que se apilan las mercancías para su transporte y almacenamiento.

Las ventajas relacionadas con los palés son las siguientes:

- Facilitan el movimiento de las mercancías gracias al uso de maquinarias automáticas.
- Permiten aumentar el peso y el volumen de carga.
- Permiten un mejor uso de los espacios del almacén, ya que se pueden formar pilas de diferentes alturas.

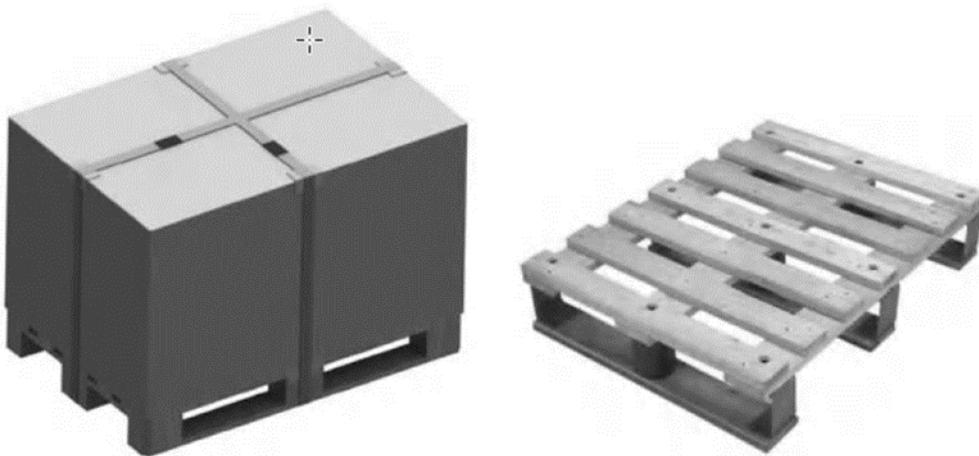


Figura 2. Ejemplos de pallets. Ghiani, et al., 2013.

Además, el uso de pallets permite aislar la mercancía de la superficie subyacente, reduciendo así los daños causados, por ejemplo, por el contacto con un suelo mojado. La gama de paletas utilizadas en los distintos sectores industriales y comerciales es, en lo que respecta a los tamaños, notablemente diversificada: 80 cm × 120 cm, 100 cm × 120 cm, 120 cm × 120 cm, 112 cm × 112 cm, etc.

Una vez definidos los paquetes, el sistema de almacén se subdivide en las tres categorías: sistemas de almacenamiento, sistemas de manipulación de materiales y sistemas de identificación.

2.4. Sistemas de almacenamiento

Existen dos tipos de sistemas de almacenamiento de paquetes:

- Estáticos, que incluyen pilas, estanterías (convencionales, drive-in, drive-through y voladizos), estanterías multinivel, taquillas y cajoneras.
- Dinámicos, como las estanterías móviles, los carruseles de almacenamiento, las estanterías de paletas vivas y estanterías push-back.

Las unidades de carga paletizadas se apilan en bloques separados por pasillos como se muestra en la figura 3, cuya anchura depende del tipo de maquinaria utilizada para el movimiento. La pila es útil para gestionar un número limitado de productos sin un alto de obsolescencia y cuyo movimiento se produce en grandes cantidades y con poca frecuencia. Este sistema es menos costoso y es más flexible, ya que no requiere inversiones en infraestructura y la superficie destinada a la pila puede estar rápidamente disponible.

Las estanterías convencionales permiten el acceso directo a todas las unidades de carga y, por tanto, son especialmente adecuadas para almacenar grandes volúmenes de artículos individuales. La altura de las estanterías convencionales, al igual que la anchura de los pasillos, está influida por la elección de los medios utilizados para manipular las unidades de carga.

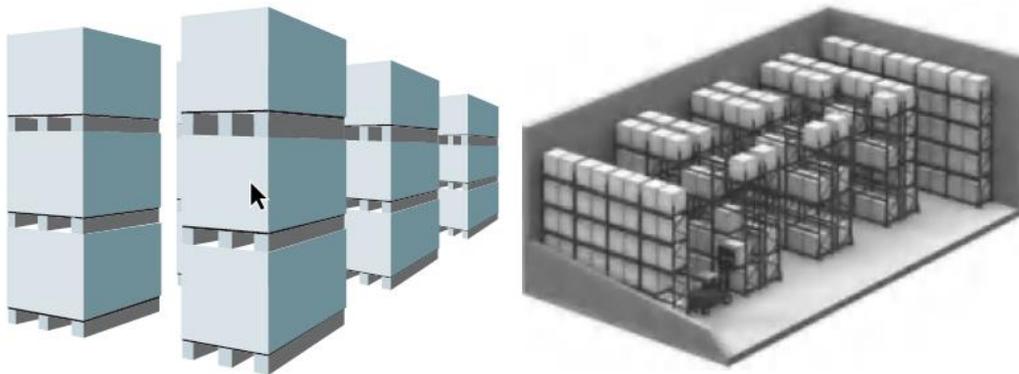


Figura 3. Estanterías convencionales. Ghiani, et al., 2013.

Estanterías drive-in o drive-through se trata de sistemas similares a las convencionales, con la diferencia de que se utiliza una estructura adecuada para soportar las unidades de carga paletizadas. Este sistema es útil para el almacenamiento de productos homogéneos, en particular los de temporada y reduce los posibles daños en los paquetes. Con las estanterías drive-in o drive-through, las unidades de carga se almacenan a varios palés de profundidad.

Una estantería multinivel está conformada por componentes de tamaño estándar para obtener diferentes alturas, diferentes longitudes entre los montantes y diferentes profundidades entre los estantes. Se trata de una solución relativamente económica que permite la colocación de envases primarios y secundarios, cuyos tamaños son relativamente pequeños.

Estanterías cantiléver es un sistema de estanterías formado por elementos verticales y brazos de soporte como se observa en la figura 4. Es adecuada para el almacenamiento de productos largos y voluminosos, como barras, tubos, placas de acero, vigas y perfiles, también a diferentes alturas. Suelen encontrarse al aire libre y en este caso están equipados con un techo a dos aguas para protegerlos de los agentes atmosféricos (sol, lluvia, nieve, etc.).

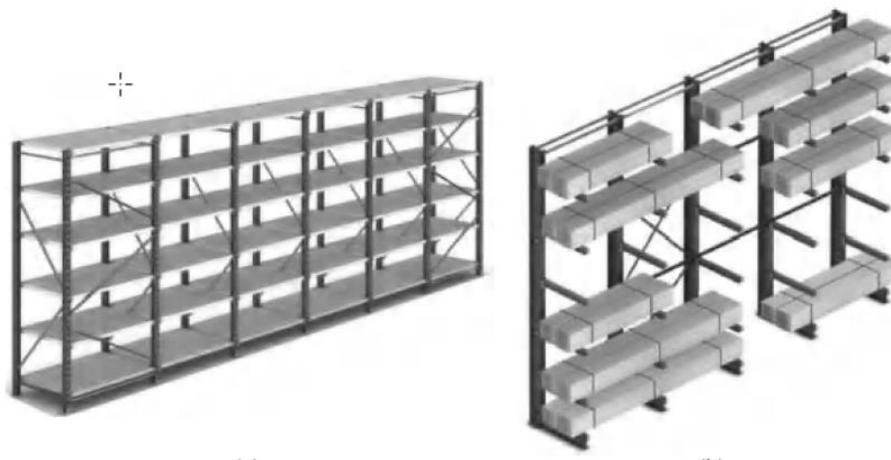


Figura 4. Estanterías convencionales. Ghiani, et al., 2013.

Las taquillas y cajoneras se utilizan como unidades independientes para el almacenamiento de paquetes primarios o pueden insertarse en estanterías de varios niveles.

Los carruseles de almacenamiento son sistemas motorizados en los que los compartimentos se mueven simultáneamente (vertical u horizontalmente). Permiten el acopio de muchos paquetes en pequeños volúmenes y hacen que las fases de almacenamiento y recogida sean muy rápidas. Esta solución tiene dos desventajas: necesita inversiones elevadas y no es adecuada para unidades de carga voluminosas o muy pesadas.

Estanterías de paletas dinámicas incorporan tramos de vías de rodillos colocados en un carril inclinado para permitir que los pallets se deslicen sobre ellos. Las paletas se colocan en la parte más alta de la sección de rodillos y se desplazan por la fuerza de la gravedad y a una velocidad controlada hacia el otro extremo.

Estanterías Push-back son sistemas similares a las estanterías dinámicas. Las secciones se cargan y descargan desde un único punto final. Se trata de un sistema de almacenamiento que prevé un enfoque de tipo LIFO en las operaciones de manipulación de las unidades de carga.

2.5. Sistemas de manipulación de materiales

El número y la variedad de sistemas utilizados para manipular los paquetes dentro de un almacén y una presentación detallada de cada uno de ellos están fuera del alcance de este volumen. Los sistemas de manipulación de materiales subdivididos en las siguientes categorías:

- Sistemas de manipulación de materiales sin limitaciones de movilidad (transpaletas, carretillas contrapesadas, carretillas de brazo de apoyo, carretillas retráctiles, carretillas recoge pedidos y transelevadores).
- Sistemas de manipulación de materiales con limitaciones de movilidad, que son sistemas de transporte de unidades de carga siguiendo rutas preestablecidas de carga siguiendo rutas preestablecidas (transportadores fijos, transportadores continuos en el suelo y transportadores aéreos).
- AGVS (sistemas de vehículos de guiado automático).

Carretillas transpaletas: son carretillas con horquillas, capaces de levantar paquetes terciarios de peso relativamente bajo de forma que puedan ser manipulados horizontalmente, como se muestran en la figura 5.

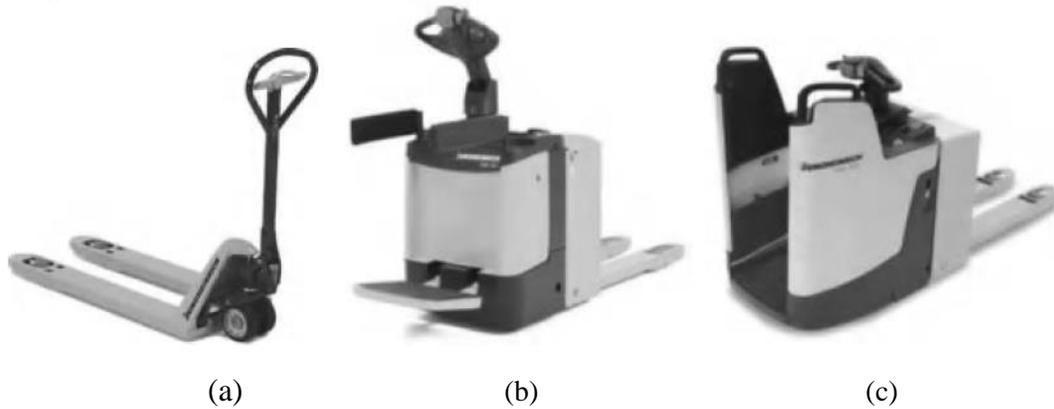


Figura 5. (a) Transpaleta manual; (b) transpaleta eléctrico para peatones; (c) transpaleta eléctrico de pie. Ghiani et al., 2013.

Carretillas elevadoras contrapesadas. Se caracterizan por la presencia de un contrapeso en la parte trasera del vehículo, para equilibrar la carga que sostendrán las horquillas. Por lo general, las carretillas contrapesadas se identifican como carretillas de carga frontal, donde las horquillas levantan el paquete terciario, paquete frontal, o carretillas de carga lateral, las que las horquillas se levantan perpendicularmente también al eje longitudinal de la propia carretilla.

Las carretillas elevadoras contrapesadas se utilizan para cargar y descargar vehículos desde el suelo y desde una puerta de carga, como se muestra en la figura 6; pueden desplazarse por diferentes tipos de superficie de suelo, operar sobre cualquier tipo de estantería y también pueden hacer frente a pendientes considerables.



Figura 6. (a) Carretilla elevadora contrapesada; (b) carretilla retráctil; (c) recogedor de pedidos vertical. Ghiani, et al., 2013.

Dentro de un almacén industrial otro vehículo para transportar la materia prima es el vehículo eléctrico de arrastre (Taylor - Dunn Huskey), como se muestra en la figura 7. Es un vehículo industrial de arrastre eléctrico con diseño de gran maniobrabilidad y seguridad. Tiene un tren atractivo de 16.3 hp con sistema GT ensamblado a un diferencial automotriz que le da potencia y durabilidad para proporcionar un excelente servicio por mucho tiempo, es un vehículo muy cómodo y flexible para el operador.



Figura 7. Vehículo eléctrico de arrastre Taylor-Dunn Huskey. Sowmya, et al., 2018.

2.6. Sistemas de identificación

Son sistemas para la codificación de los paquetes dentro del almacén mediante códigos que pueden ser escaneados por dispositivos automáticos. La codificación de los bultos es de fundamental importancia para la gestión informatizada del almacén. Los principales sistemas de identificación son: códigos de barras, etiquetas logísticas y etiquetas inteligentes basadas en tecnología de radiofrecuencia (identificación por radiofrecuencia o RFID).

Bajo este contexto, se deben tener en cuenta las siguientes definiciones:

Códigos de barras

El código de barras es la conversión óptica de un código numérico o alfanumérico que se utiliza para identificar un paquete. Esta conversión óptica está se representa mediante una secuencia alternada de barras verticales y espacios.

Existen varios sistemas de composición de los códigos de barras, que corresponden a diferentes requisitos de codificación (cantidad de información, longitud del código de barras etc.), determinadas por el tipo de envases y, por tanto, por las necesidades de los clientes.

El EAN (European Article Number) es uno de los códigos más extendidos y se utiliza sobre todo en la gran distribución. Desde el punto de vista tecnológico, se pueden distinguir dos tipos de dispositivos de lectura de códigos de barras: los escáneres ópticos y los escáneres láser.

Escáneres ópticos

Utilizan una fuente de luz que ilumina la superficie del código permitiendo que un sensor adecuado registre las variaciones del rayo reflejado. En cada paso, éstos realizan un único escaneo del código. En cambio, el escáner láser explora repetidamente la superficie codificada en cada paso, tomando una serie de imágenes que permiten una mayor precisión de la exploración y, por tanto, una menor sensibilidad a las variaciones de las características

de la propia superficie. Esto permite el escaneo de códigos compactos, a alta intensidad, también en paquetes en movimiento.

Etiquetas logísticas

La etiqueta logística registra información, tanto en formato legible (caracteres, números y elementos gráficos), como en forma de código de barras. En la figura 8 se muestran los diferentes tipos de etiquetas logísticas existentes.

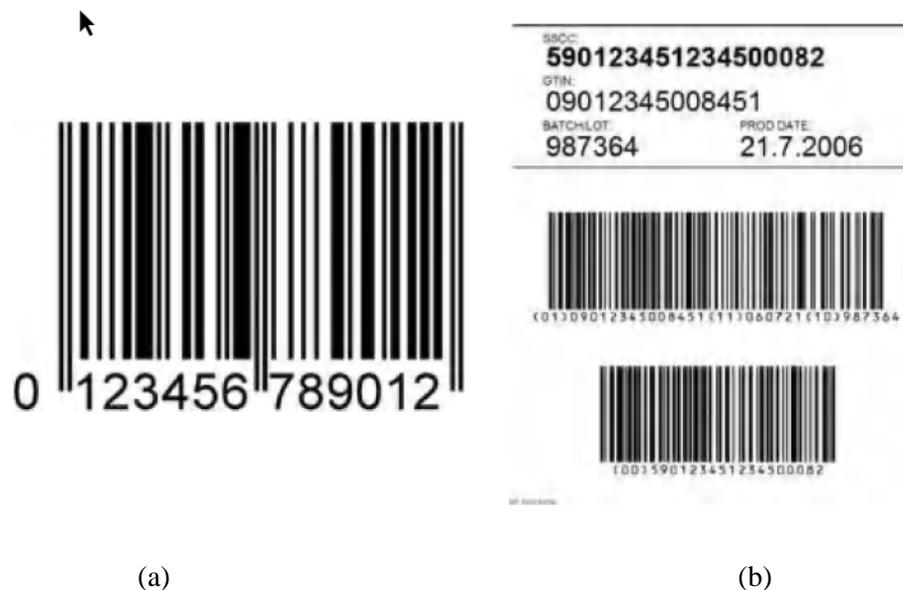


Figura 8. (a) Código de barras; (b) etiqueta logística. Ghiani, et al., 2013.

Parte de la etiqueta logística es el SSCC (Serial Shipping Container Code), mediante el cual se puede rastrear la trayectoria física de los distintos paquetes y el flujo de información asociado a él. Gracias al escaneo del SSCC, relativo a los documentos de transporte transmitidos en formato electrónico, se puede comprobar cada momento del envío y la entrega de los productos y los inventarios, catalogando las mercancías y siguiendo las distintas fases del transporte.

La etiqueta también contiene información relacionada con el tamaño del paquete, el código EAN de cualquier envase que deba devolverse, el precio por unidad de medida, el código de referencia para cualquier oferta económica asociada a la mercancía, etc.

Las etiquetas inteligentes son los principales componentes de un sistema de identificación automática que se basa en la tecnología RFID y se conoce como etiqueta o transpondedor.

2.7. RFID

La tecnología RFID tuvo sus inicios en el sector logístico, de defensa y seguridad. El RFID se compone de una etiqueta, un lector, middleware, programadores e impresoras para tags específicos, permitiéndole al sistema que funcione, en la figura 9 se muestran ejemplos de etiquetas RFID. Una señal de radio es la etiqueta RFID, donde se han grabado los datos del objeto al que está adherida. Un lector físico se encarga de recibir esta señal, transformarla en datos y transmitir dicha información a la aplicación informática específica que gestiona RFID.

El tamaño de la etiqueta, el nivel de almacenaje, la facilidad de rastrear objetos sin tener contacto y la durabilidad en condiciones adversas favorece la utilización de esta tecnología. Existen diversos segmentos de etiquetas con usos variados para la actividad que se desea realizar con ella.

La estandarización favorece el desarrollo de sistemas RFID que puedan trabajar entre sí, facilitando la incursión de estos en un ambiente internacional.

Las normas ISO se pueden dividir por los tipos de productos a los que éstas se aplican:

- Privacidad
- Seguridad



Figura 9. (a) Ejemplos de etiquetas RFID; (b) lector RFID portátil; (c) lector RFID fijo. Ghiani, et al., 2013.

Una etiqueta RFID puede ser activa o pasiva. Las etiquetas pasivas, que son más económicas y extendidas, están formadas por una antena de aluminio o cobre, un microchip y un soporte para la protección de este chip. No tienen una batería y no requieren mantenimiento. Las etiquetas pasivas están hechas para transmitir un código de serie único cuando reciben un estímulo electromagnético adecuado.

La tecnología RFID puede desempeñar un papel importante en la infraestructura del IoT como medio de comunicación y proveedor de datos para los actores de la cadena de suministro. Las plataformas de inteligencia ambiental permiten al IoT conectar diferentes objetos del mundo físico a la infraestructura de TI y, por tanto, ser supervisados y potencialmente controlados. Las tecnologías de IOT son capaces de mejorar el nivel de gestión, reducir los costos de funcionamiento y mejorar la calidad del servicio.

La combinación exacta entre el sistema de gestión de almacenes con las tecnologías del Internet de las Cosas, como lo son el RFID y lector de código de barras; presenta un sistema de almacén inteligente, simplificando el proceso de inventario de mercancías y la mejora del nivel de gestión de la automatización de los almacenes. En el ámbito de la logística, la inteligencia ambiental se ha asociado a la tecnología RFID para mejorar el proceso de los almacenes, la gestión de los accidentes en el almacén y la interacción con los productos que se manipulan a lo largo de la cadena de suministro; confirman que el procesamiento logístico mediante sistemas RFID aplicables puede mejorar el servicio al cliente y reducir los costos

de procesamiento logístico. Además, la combinación de estas tecnologías proporciona una supervisión y un control automatizados de los recursos y procesos de la industria (Reaidy, et al., 2015).

El Internet de las Cosas y RFID dan como resultado:

- Optimización de procesos logísticos.
- Optimización de los costos operativos.
- Minimización de trabajos manuales.
- Reducción de tiempos de operación en los almacenes.
- Generación de un mayor control del inventario (aumenta la visibilidad en los niveles de existencias).
- Recopilación y procesamiento de datos (información) en tiempo real.
- Generación de mayor presión de la información sobre la trazabilidad y rastreo de la materia prima.
- Incremento en la seguridad de los trabajadores.
- Incremento de la productividad.

Las etiquetas activas son dispositivos electrónicos más sofisticados. Disponen de una batería interna que las alimenta y que permite alcanzar distancias de transmisión muy grandes (más de 400 m en campo abierto en algunos modelos), están equipadas con un sistema electrónico muy complicado que permite personalizar la aplicación en función de las necesidades individuales. Suelen utilizarse en almacenes para controlar los palés que se transportan con frecuencia y, en caso necesario, para hacer un seguimiento de los datos de inventario relacionados con el historial de fabricación de la mercancía o de información relativa a las características físicas y organolépticas de la mercancía almacenada (temperatura, humedad, etc.).

La etiqueta, como ya se ha señalado, se activa mediante un campo electromagnético generado por el escáner (lector), que es el dispositivo electrónico utilizado para el intercambio de información con la propia etiqueta. Los lectores pueden ser portátiles y son utilizados por los

operadores o se instalan en los vehículos, integrados con una antena. Los lectores RFID fijos se integran con grupos de antenas como puertas, portales o túneles.

El inventario se usa en la mayor parte de las actividades de manufactura, servicio, distribución y venta, y debido a que puede resaltar la rentabilidad y la competitividad, se estudia ampliamente en el sector de manufactura.

Las economías de escala pueden hacer que un inventario sea deseable, aun cuando sea posible balancear el suministro y la demanda. Existen ciertos costos fijos asociados con la producción y la compra; éstos son los costos de preparación y los costos de ordenar, respectivamente. Para recuperar este costo fijo y reducir el costo unitario promedio se pueden comprar o producir muchas unidades. Estos tamaños de lote grandes se ordenan con poca frecuencia y se colocan en inventario para satisfacer la demanda futura.

El inventario acumulado en periodos de demanda baja se usa para satisfacer la demanda alta de otros periodos; ello permite que las instalaciones de producción operen a una tasa relativamente constante de producción, característica deseable en la manufactura.

El servicio a clientes es otra razón para mantener un inventario. El inventario se forma para poder cumplir de inmediato con la demanda, lo que lleva a la satisfacción del cliente. El proceso de reabastecimiento es otra fuente de incertidumbre que puede justificar mantener un inventario de seguridad. El que transcurre entre emitir una orden y recibirla. Cuando el tiempo de entrega es incierto, puede ser que no se reciba la orden en la fecha planeada. El inventario de seguridad ofrece cierta protección contra un paro en la producción por la incertidumbre en el tiempo de entrega.

El ambiente de demanda se puede clasificar en dos grandes categorías: determinístico o estocástico e independiente o dependiente.

Determinístico o estocástico:

Determinístico significa que se conoce con certidumbre la demanda futura de un artículo en inventario; esta demanda aleatoria se llama estocástica. Cada caso requiere un análisis diferente. El caso estocástico es más realista, pero su manejo es más complicado.

Demanda independiente o dependiente:

La demanda de un artículo no relacionada con otro artículo y afectada principalmente por las condiciones del mercado se llama demanda independiente.

Los tipos de inventario en los sistemas de producción se clasifican según el valor agregado durante el proceso de manufactura. Las clasificaciones son materia prima, producto en proceso (PEP) y productos terminados. La materia prima incluye todos los materiales requeridos para los procesos de manufactura y ensamble. Normalmente son los siguientes:

- Material que necesita más procesamiento (harina, madera, barras de acero).
- Componentes que forman parte de un producto tal como están (chips de computadora, tornillos).
- Artículos de consumo (soldadura, electrodos, pegamento, tornillos).

El producto en proceso es inventario en el sistema de producción que espera para ser procesado o ensamblado y puede incluir productos semiterminados (una tuerca roscada, pero sin recubrimiento) o subensambles (cinescopios de televisor).

Los productos terminados son las salidas de los procesos de producción, en ocasiones llamados artículos finales. La demanda de productos terminados por lo general es independiente. Los productos terminados de una organización de manufactura pueden ser materia prima para otra.

2.8. Tipos de etiquetas

La etiqueta RFID recibe una señal electromagnética que es emitida por un lector y responde a ella mediante otra señal en la que se envía codificada la información contenida en la etiqueta. El circuito integrado en este proceso es un circuito mixto, es decir, analógico-digital. La parte analógica se encarga de controlar la alimentación y la comunicación por radiofrecuencia. Por otro lado, la parte digital gestiona la información almacenada en la etiqueta.

Hay una variedad de etiquetas RFID, existiendo diferentes tipos de la fuente de energía que utilicen, la forma física que posean, el mecanismo que utilicen para almacenar datos, la cantidad de datos que puedan almacenar, la frecuencia de funcionamiento o de la comunicación que utilizan para transmitir la información al lector. Gracias a esto es posible elegir la etiqueta más adecuada para cada aplicación específica.

Existen etiquetas de primera generación las cuales trabajan a 64 bits, y de segunda generación que funcionan a 96 bits, que son las que se emplean actualmente.

Las etiquetas de RFID por frecuencia determinan el radio de alcance de las tarjetas al estar ubicadas en su posición de almacen. Esto requiere decir que a menor frecuencia, menos alcance. En tabla 1 se presentan los tipos de frecuencia de las etiquetas RFID.

Tabla 1.

Etiquetas RFID por frecuencia

Frecuencia	Denominación	Rango
125 kHz – 134 kHz	LF (Baja frecuencia)	Hasta 45 cm
1.75 MHz -13.56 MHz	HF (Alta frecuencia)	De 1 a 3 m
400 MHz – 1000 MHz	UHF (Ultra Alta Frecuencia)	De 3 a 10 m
2.45 GHz – 5.4 GHz	Microondas	Más de 10 m

RFID es identificación por radiofrecuencia, una identificación automática sin contacto. Puede identificar automáticamente el objetivo a través de una señal de radiofrecuencia y obtener los datos relacionados con el objeto. Al transmitirlos al sistema informático, estos datos pueden completar el seguimiento, la identificación, el almacenamiento, la detección y otros procesos. El principio de funcionamiento del sistema RFID se muestra en la figura 10.

Cuando la etiqueta entra en la zona de inducción del campo magnético y emite la información transportada al lector y el lector obtendrá la información mediante el envío de una determinada frecuencia de radio a través de antena y transmite la información al ordenador central para su procesamiento (Liu & Geng, 2016).

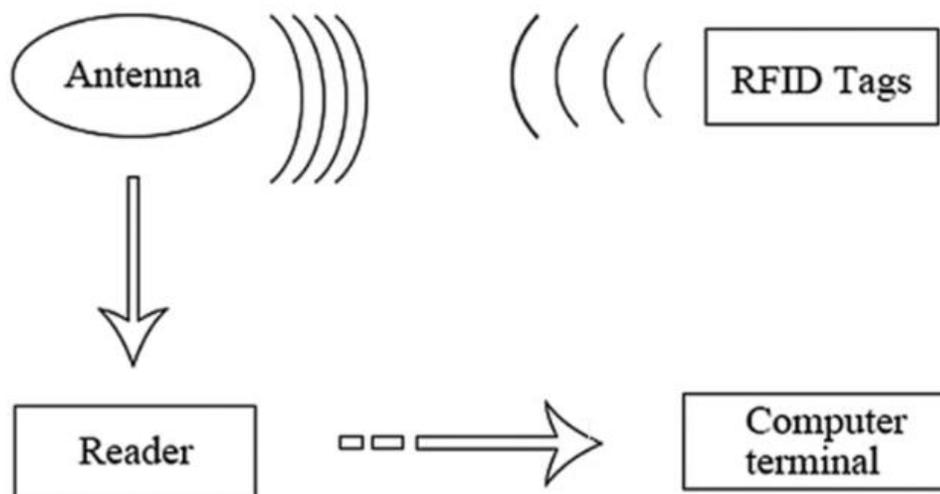


Figura 10. Diagrama del principio de funcionamiento de la RFID. Zhou, et al., 2017.

Liu & Geng (2016) mencionan que las características de la RFID pueden proporcionar el reconocimiento individual más directo y se considera importante en las tecnologías clave del Internet de las Cosas. La misma tecnología puede utilizarse en el sistema logístico moderno, que no sólo puede mejorar la capacidad de carga y descarga, inventario, seguimiento de productos en la empresa de logística, sino que también puede adquirir la investigación de la arquitectura del sistema de almacenamiento inteligente basado en el IoT.

También puede proporcionar un mejor servicio al cliente y sentar las bases para la realización de un sistema logístico automático e inteligente. El sistema de almacenamiento es un sistema muy complicado que requiere una gestión unificada del hardware, software y mercancías en el almacén para lograr una inteligente gestión del almacén. Para realizar la sincronización del flujo de información de datos y el flujo real en el proceso de gestión del almacén en el tiempo y el espacio (Zhou, et al., 2017).

La arquitectura del sistema debe prestar atención a los diversos aspectos de la información de la operación, como la carga, el procesamiento, el análisis sintáctico y la encapsulación, etc., para mantener la integridad de la información y acelerar la carga y procesamiento de los datos, para que los datos se puedan asociar rápidamente a la información empresarial superior y proporcionar datos eficaces. Un prototipo de sistema de almacén inteligente se extrae de acuerdo con la investigación de la función empresarial, basándose en la arquitectura. Para mejorar el nivel de la tecnología de la información y acelerar el funcionamiento del almacén (Liu & Geng, 2016; Zhou, et al., 2017).

2.9. Lector de código de barras

La aplicación de la tecnología al almacén no se limita a la gestión de las instalaciones y las mercancías o a la comunicación con los operarios, también se emplea en la identificación de los artículos que se manejan.

Este tipo de sistema de identificación consiste en la impresión gráfica de unas barras en unas etiquetas (que después son pegadas a los artículos) o en los propios embalajes o envases. La generación de estas barras siguen unos estándares de codificación homologados, que actualmente son el EAN-13 y el EAN-128.

Cuando las barras son escaneadas (leídas) con una terminal láser, éste interpreta los datos e informa al software de gestión. Este sistema de etiquetado se emplea, además de para los

artículos, como se observa en la figura 11, para identificar las ubicaciones de los racks, así como las tarimas o contenedores.



Figura 11. Etiqueta con código de barras EAN-13. Manthou & Vlachopoulou, 2001.

Todos los sistemas automáticos, tanto de gestión como de movimiento, necesitan disponer de estos códigos para realizar la comunicación de los datos relativos a la carga que se maneja en cada momento.

En la actualidad, la gran mayoría de los productos llevan grabado o impreso un código de barras o integran un chip de RFID (un identificador que utiliza la radiofrecuencia para transmitir los datos). Uno u otro sistema permiten identificar cada unidad que se gestiona en el almacén mediante lectores láser o de radio, respectivamente.

Por otra parte, el desarrollo e implementación de un sistema de código de barras afecta al control de inventario de una empresa. El código de barras no debe identificarse como la solución antes de definir los objetivos de la empresa; los objetivos típicos pueden ser la

reducción de errores, los datos para el control de inventarios, la determinación de la política de marketing y la mejora del servicio al cliente (Manthou & Vlachopoulou, 2001).

Manthou & Vlachopoulou (2001) y Singh & Verma (2018) mencionan que un sistema de código de barras propuesto no se debe convertir en un cuello de botella operativo. El sistema de código de barras deberá interactuar con otros sistemas, al igual que la interacción con los usuarios de la organización, desde la gestión de ventas y distribución, hasta el almacén, logística, contabilidad y gestión de la producción. La selección de hardware y software para un sistema de código de barras depende del entorno de la empresa, criterios requeridos de la información actualizada de la empresa, la cantidad que se deberá enviar a una sola transmisión, el entorno de trabajo y el presupuesto (Manthou & Vlachopoulou, 2001).

El efecto de la estructura de datos en el resto del sistema es el tiempo de la transmisión al ordenador central. Hay que tener en cuenta que estos sistemas nunca son independientes, y si no se utiliza una buena técnica de planificación en la fase de diseño podrían ocasionarse problemas de integración. De tal forma que será necesario una solicitud de propuestas que garantizará que tanto el equipo como el proveedor entiendan lo que se va a entregar (Manthou & Vlachopoulou, 2001).

2.10. Costos de inventario

Se define un inventario como una "cantidad de un bien", como tal, incurre en costos. El costo de compra es obvio. Otros tipos de costos son el costo de ordenar (de preparación), el costo de almacenaje, el costo por faltantes y el costo de operación del sistema. Se explicará cada uno en detalle.

El costo de compra es el costo por artículo que se paga a un proveedor (llamado también costo de materiales). Sea " c " el costo unitario y " Q " el número de unidades compradas (tamaño del lote). Entonces el costo total de compra es cQ . En algunos casos el proveedor

tiene una tabla de costos basada en la cantidad comprada. Este costo unitario es una función de Q y el costo de compra es una función más compleja.

Si se fabrica una unidad, c incluye tanto el costo del material como el costo variable para producirla. El costo total de manufactura para un lote de producción es cQ .

Un costo de ordenar es aquel en que se incurre cada vez que se coloca una orden con el proveedor. Es independiente del tamaño del lote que se compra y, por lo tanto, es un costo fijo denotado por A .

Para un lote fabricado, el costo fijo está dominado por el costo de preparación, que incluye el costo de preparar la máquina para la corrida de producción (tiempo ocioso de la máquina y mano de obra) y quizá algunos costos de materiales para el arranque debido a rechazos iniciales. Se usa la misma notación, A para el costo de preparación.

El costo total de comprar o producir un lote es:

$$A + cQ$$

El inventario compromete el capital, usa espacio y requiere mantenimiento, y todo cuesta dinero. Esto se llama costo de almacenaje o de mantener el inventario e incluye lo siguiente:

- Costo de oportunidad.
- Costos de almacenaje y manejo.
- Impuestos y seguros.
- Robos, daños, caducidad, obsolescencia, etc.

El costo de almacenar comienza con la inversión en el inventario. El dinero comprometido no puede obtener rendimientos en otra parte. Este costo es un costo de oportunidad, que por lo general se expresa como un porcentaje de la inversión. El valor más bajo de este costo de oportunidad es el interés que ganaría el dinero en una cuenta de ahorros. La mayor parte de las empresas tienen mejores oportunidades que las cuentas de ahorros y muchas tienen

una tasa mínima de retorno, que usan para evaluar inversiones, normalmente llamada costo de capital. La misma tasa se puede usar como parte del costo de mantener el inventario.

Los costos se calculan como un porcentaje de la inversión en inventario y se suman al costo de oportunidad, esto genera el costo total de mantener el inventario. Entonces, si el costo de capital es 25% anual y otros tipos de costo suman un 10% adicional, el costo total de almacenaje será 35%. Es decir, por cada unidad monetaria invertida en inventario, durante un año, se pagan 35 centavos.

Se define:

i = costo total de mantener inventario (expresado como porcentaje)

Éste es el costo de mantener \$1 de inventario durante una unidad de tiempo. Debido a que el inventario casi siempre se mide en unidades y no en dinero y recordando que el costo de una unidad es c .

El inventario es, en términos básicos, una entidad de servicio. Si el inventario satisface la demanda cuando ocurre, entonces el servicio es perfecto; de otra manera hay problemas con el servicio. Proporcionar un alto nivel de servicio no es gratis.

El estudio de los sistemas de inventarios es un análisis de trueques entre los beneficios y los costos de mantenerlos. La meta es maximizar los beneficios al mismo tiempo que se minimiza el costo, una difícil misión. Esa meta es aún más compleja cuando el inventario contiene muchos artículos diferentes. Primero se estudian los costos, los beneficios se ven como un costo de oportunidad, más adelante se examinan los modelos que hace alusión al beneficio de los servicios.

Existen dos enfoques para medir la efectividad, un enfoque de modelado y un enfoque gerencial. El enfoque de modelado optimiza el sistema de inventarios. El criterio que se emplea en la mayoría de los modelos es minimizar el costo; aunque, en principio, también se

podría usar maximización. Estos criterios son equivalentes para la mayoría de los sistemas de inventario, porque la ganancia es la diferencia entre el precio y el costo.

Una medida de efectividad común para los sistemas de inventario es el costo total promedio mínimo por unidad de tiempo. Una unidad de tiempo puede ser días, semanas, meses o años. El costo total incluye los elementos de costo que se definieron. Se usa el promedio porque los costos de almacenaje y faltantes son proporcionales al nivel de inventario que puede variar durante el periodo. Para calcular el costo total promedio se promedia el inventario o los faltantes en el tiempo.

El enfoque gerencial casi siempre se usa para sistemas de inventarios de múltiples artículos. La meta inmediata es reportar el tamaño del inventario a la gerencia. Una medida del tamaño del inventario es la inversión total en la fecha del reporte. Se multiplica la cantidad disponible de cada artículo por su costo y se suma el resultado para todos los artículos. Para obtener una medida relativa sobre si se tiene "demasiado" o "muy poco" inventario o para comparar el desempeño con los "estándares industriales" y con el de los competidores se usan otras dos medidas:

$$\text{Meses de abastecimiento} = \frac{\text{Inversión en inventario total}}{\text{Demanda promedio pronosticada} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right)}$$

$$\text{Rotación del inventario anual} = \frac{12 [\text{demanda promedio pronosticada} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right)]}{\text{Inversión en inventario total}}$$

La primera medida indica cuánto tiempo se podrá satisfacer la demanda futura con el inventario disponible; la segunda indica la rapidez de rotación del inventario, mientras más alto sea el valor, más baja será la inversión del inventario. Estas medidas cambian un poco con los diferentes objetivos y con los tipos de inventario (materia prima, producto terminado). Para verificar el desempeño futuro, se usa el pronóstico de demanda y para la evaluación del

desempeño pasado se usa la demanda real. Una manera rápida de calcular la rotación del inventario a partir de la hoja de balance de una compañía es:

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Valor de las ventas}}{\text{Valor de Inventario}}$$

2.11. Políticas de inventario

El elemento principal que afecta el inventario es la demanda. Desde el punto de vista del control de la producción, se supone que la demanda es una variable incontrolable.

Existen tres factores importantes en un sistema de inventario, llamados variables de decisión, que se pueden controlar:

- ¿Qué debe ordenarse? (decisión de variedad).
- ¿Cuándo debe ordenarse? (decisión de tiempo).
- ¿Cuánto debe ordenarse? (decisión de cantidad).

La decisión de variedad es irrelevante y las otras dos se toman usando dos políticas de control de inventarios diferentes, conocidas como de revisión periódica y de revisión continua.

Política de revisión periódica

Se verifica el nivel del inventario, en intervalos de tiempo fijo, llamado periodo de revisión, y se coloca una orden si es menor que cierto nivel predeterminado, llamado punto de reorden (decisión de tiempo). El tamaño de la orden Q es la cantidad requerida para aumentar el inventario a un nivel predeterminado S (decisión de cantidad). El tamaño de Q varía de un periodo a otro.

Política de revisión continua

En esta política el nivel del inventario se controla continuamente. Cuando el nivel llega al punto de reorden R (decisión de tiempo), se ordena una cantidad fija Q (decisión de cantidad). Ésta es una política continua (Q, R) , o política de cantidad fija de reorden.

La decisión de cantidad (es decir, cuánto ordenar)

Esta decisión tiene un impacto considerable a nivel del inventario que se mantiene y, por esto, influye directamente en los costos de inventario.

Se presentan los modelos más comunes desarrollados a lo largo de muchos años y se analizan juntos para proporcionar un panorama claro de lo que se ha hecho. El factor común de estos modelos es que manejan una demanda conocida y todos se pueden extender a un ambiente de artículos múltiples, si no hay dependencia entre ellos. Más aún, se pueden aplicar en un ambiente de producción al igual que en otros ambientes, tales como ventas al menudeo. Con algunos ajustes, se aplican a inventarios de materia prima, productos terminados y en algunos casos a inventarios de productos en proceso.

Por lo general, los modelos para decisiones de cantidad se llaman modelos de tamaño de lote. Existen muchos de ellos, aquí se agruparon bajo dos grandes rubros:

- Modelos estáticos de tamaño de lote que se usan para demanda uniforme (constante) durante el horizonte de planeación.
- Modelos dinámicos de tamaño de lote que son modelos empleados para cambiar la demanda durante el horizonte de planeación. Se supone que la demanda es conocida con certidumbre, lo que en ocasiones se llama demanda irregular.

Un ambiente de demanda constante y uniforme no es común en el mundo real. Sin embargo, es un punto de inicio conveniente para desarrollar modelos de inventarios y lograr entender las relaciones dentro de un sistema de inventarios. Se desarrollan cuatro modelos en esta categoría:

Cantidad económica para ordenar (EOQ)

Este es el modelo fundamental de los modelos de inventarios. Harris los introdujo en 1915. También se conoce como la fórmula de Wilson, ya que fue él quien promovió su uso. La importancia de este modelo es que todavía es uno de los modelos de inventarios que más se usan en la industria y sirve como base para modelos más elaborados. En la gráfica figura 12 se muestran los modelos de tamaño por lote.

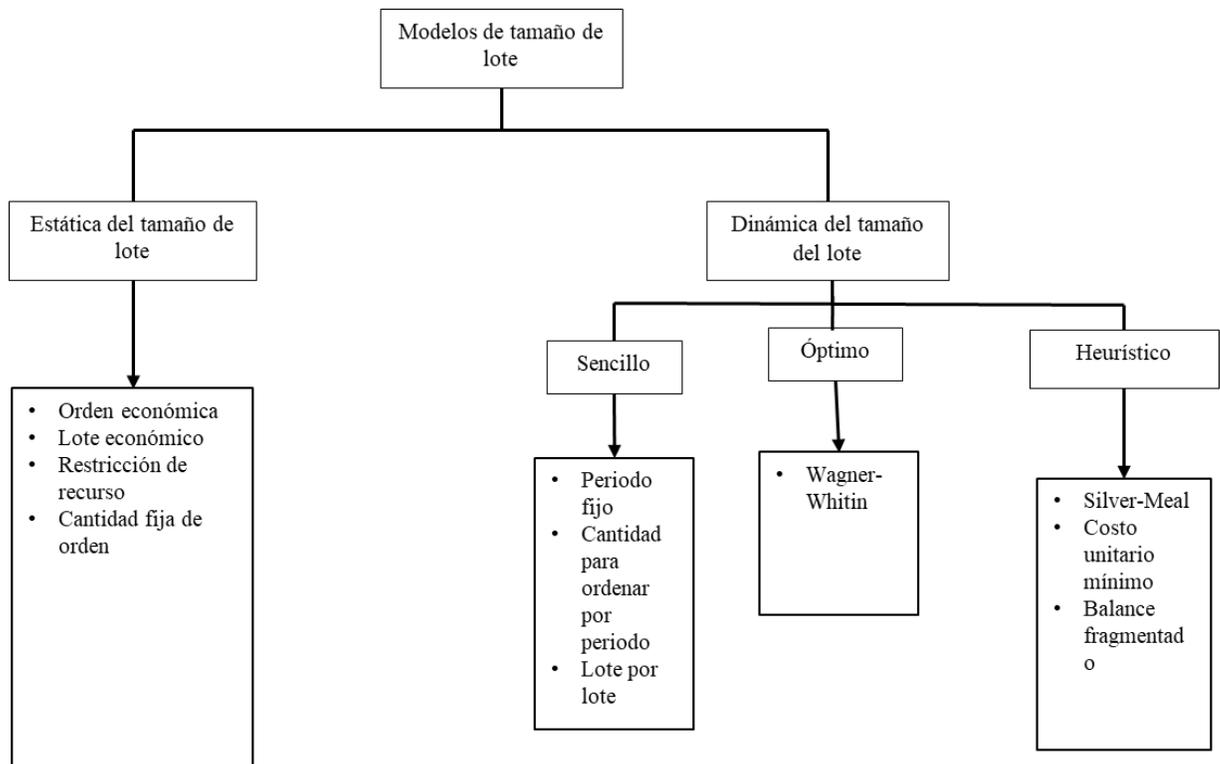


Figura 12. Clasificación de los modelos de tamaño de lote.

No se permiten faltantes, no hay un tiempo de entrega (tiempo desde que se coloca la orden hasta que se recibe). Toda la cantidad ordenada llega al mismo tiempo, esto se llama tasa de reabastecimiento.

Este modelo es adecuado para la compra de materia prima en producción o para el ambiente de ventas al menudeo. La variable de decisión para este modelo es Q , el número de unidades

a ordenar, de un número positivo. Los parámetros de costo se conocen con certidumbre y son los siguientes:

c = costo unitario (\$/unidad).

i = costo total de mantener el inventario (% por año).

$h = ic$ -costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año).

A = costo de ordenar (\$/orden).

Además, se define:

D = demanda por unidad de tiempo.

T = longitud de ciclo, el tiempo que transcurre entre la colocación (o recepción) de órdenes sucesivas de abastecimiento

$K(Q)$ = costo total anual promedio como una función del tamaño de lote Q .

It = inventario disponible en el tiempo t (cantidad real de material que hay en almacén).

El concepto básico de este modelo es crear un balance entre dos costos opuestos, los costos de ordenar y los costos de almacenar. El costo de ordenar es un costo fijo; si se ordena más, el costo por unidad será menor. El costo de almacenar es un costo variable que disminuye si el inventario que se tiene disminuye. Este balance se logra minimizando $K(Q)$ /el costo total anual promedio.

Una herramienta útil al analizar los sistemas de inventarios es la geometría del inventario, una descripción gráfica se muestra en la figura 13.

Por lo tanto, en una cadena de suministro se basa en una red de organizaciones y procesos en la que una empresa colabora a lo largo de toda la cadena de valor para adquirir materias primas y convertirlas en productos finales y entregarlos a los clientes. La gestión de la cadena de suministro es una integración y coordinación interdepartamental e interempresarial de los departamentos para transformar y utilizar los recursos de la forma más eficaz posible, desde los proveedores de materias primas hasta los clientes. La cadena de suministro es uno de los componentes clave de cualquier organización y es responsable de equilibrar la demanda y la oferta a lo largo de toda la cadena de valor (Dmitry Ivanov, et al, 2016). En la figura 14 se muestra en orden como se lleva a cabo una cadena de suministro.



Figura 14. Diagrama de cadena de suministro. Darmawan, et al., 2021.

Las operaciones son una función o sistema que transforma los insumos (por ejemplo, materiales y mano de obra) en productos de mayor valor (por ejemplo, productos o servicios); por ello, la función de control es cada vez más importante para establecer retroalimentación entre los procesos planificados y los reales. La función de operaciones, junto con control de inventario, forma parte de cualquier organización (Dmitry Ivanov, et al., 2016).

La cadena de suministro depende de un control de inventarios de forma inteligente utilizando las tecnologías impulsadas por la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas y Sistemas de Identificación por Radiofrecuencia Reaidy, et al. (2015) mencionan que el uso de la infraestructura del Internet de las Cosas para la gestión de almacenes mejora la visibilidad, la trazabilidad y la transparencia de los almacenes y apoya el desarrollo de un enfoque

ascendente para la gestión de almacenes. Al respecto, Evtodieva, et al. (2019) hacen referencia que el creciente interés de la cadena de suministro es una consecuencia directa de la mayor transparencia causada por el aumento de la visibilidad de los datos.

Sin embargo, las técnicas clásicas de análisis de datos, análisis estadístico y reconocimiento de patrones se enriquecen ahora con las herramientas que surgen en el campo de la inteligencia artificial. Las torres de control pueden ayudar a las empresas a mejorar la logística y el control de la cadena de suministro, tanto a nivel táctico como operativo, para sincronizar las operaciones de varias empresas con el objetivo de reducir tanto los costos como los efectos ambientales negativos de la cadena de suministro, o integrando las ventas, el transporte y la logística. La Internet física presenta una visión de una infraestructura común utilizada por los proveedores de servicios logísticos, que se hace cargo por completo de la organización de servicios logísticos que asuma por completo la responsabilidad de los cargadores y los clientes para una gestión fluida y perfectamente integrada de los pedidos de transporte. Es similar al sistema de gestión de archivos de la Internet digital y se basa en la estandarización de paquetes modulares, en el uso de la tecnología de la información y en el uso de la tecnología de la información (Zijm, et al., 2019).

Sin un control adecuado del inventario, toda empresa puede quedarse sin existencias de un artículo importante y perder la oportunidad de obtener ingresos. Por lo tanto, una gestión eficiente de los inventarios ocupa una posición crítica en las empresas modernas para obtener una ventaja competitiva. En el ámbito de los almacenes, el seguimiento/auditoría de inventarios es una tarea que debe llevarse a cabo continuamente para garantizar la eficiencia de la cadena de suministro y cumplir con los requisitos normativos reglamentarios. Hoy en día, la mayoría de los sistemas de almacén suelen haber adoptado tecnologías de identificación automática, como los códigos de barras o las etiquetas RFID, para el control automatizado de las existencias, ya que ayuda a minimizar el riesgo de error. En el sistema actual basado en RFID, los productos llevan un chip RFID y la antena que los lee se fija en los puntos de entrada o salida, de modo que cuando los productos se mueven, la antena realiza la identificación (Han, et al., 2018).

Liu & Geng (2016) mencionan que la transformación de la operación manual a la mecanización refleja la aceleración de la velocidad de rotación del flujo en un almacenamiento. La gestión de almacenes se desarrollará hacia la dirección de ser más inteligente para lograr el propósito de la integración y distribución bajo demanda de manejar el procesamiento y la gestión de la información de decenas de miles de pedidos cada día, para completar el acoplamiento del flujo comercial y la logística. Bajo el entorno de la tecnología IoT, para proporcionar a cada cliente la mejor calidad de servicio, las empresas de almacenamiento siguen mejorando el grado de información para implementar el nivel inteligente de gestión de almacenes.

La aplicación de la tecnología IoT es una clave que proporciona una buena base técnica para construir un almacén inteligente. La aplicación integrada de la tecnología IoT en el sector de los almacenes de la tecnología en la Industria 4.0 en el sector de almacenes garantiza dentro de una empresa la eficiencia y la precisión del flujo de información de los datos claves en el control de inventario. Pero actualmente un control de inventario no solo funciona como almacén, sino también como un lugar crítico donde la oferta y la demanda se ajustan a través de la gestión para satisfacer la necesidad del cliente (Affia & Aamer, 2021).

2.12. Industria 4.0

La estrategia logística básica en la Industria 4.0 debe ser una estrategia de crecimiento activo para un enfoque cualitativamente nuevo. Las actividades logísticas en el marco de la Industria 4.0 requieren un serio replanteamiento y la búsqueda de nuevos enfoques, métodos y tecnologías para su implementación. Para ello, es necesario formarse una visión holística de las provisiones conceptuales básicas de la logística y de la génesis de su desarrollo, teniendo en cuenta las realidades actuales de la organización empresarial (Evtodieva, et al., 2019).

Winkelhaus & Grosse (2020) se refieren al término Logística 4.0. como análisis de Big Data en tiempo real, por ejemplo, para optimizar las rutas, reducción de las necesidades de almacenamiento gracias a las nuevas técnicas de fabricación, robots autónomos con sistemas

de seguimiento y decisión que conducen a un control de inventario óptimo del inventario, un intercambio de información en tiempo real que evite, por ejemplo, el efecto "*bullwhip*" y la ausencia de interrupción de la información gracias a los artículos inteligentes. La principal aplicación de la Logística 4.0 es el IoT (Internet de las Cosas, ya permite generar y transmitir información de los objetos a un sistema central.

En la cadena de suministro y los sectores logísticos, la precisión de los datos del inventario es esencial, ya que esta información o datos pueden ser cruciales para las operaciones de almacén, la planeación de la producción, la administración y el control del inventario entrante y saliente, así como todos los procesos que se desarrollan en un almacén (Bonilla, et al., 2016; Ortega-Palma, et al., 2020).

2.13. Computación en la nube

La computación en la nube es la piedra angular del desarrollo del Internet de las Cosas, y ha promovido la implantación del Internet de las Cosas desde dos aspectos. En primer lugar, la computación en nube es el núcleo de la realización del Internet de las Cosas. Permite calcular la gestión dinámica en tiempo real y el análisis inteligente de todo tipo de bienes, a través de la tecnología de identificación por radiofrecuencia, la tecnología de sensores, la nanotecnología y otras nuevas tecnologías.

Se aplica plenamente en diversas industrias y a través de la tecnología de la información. La computación en la nube es para promover el Internet de las Cosas y la integración inteligente de Internet, para construir un planeta más inteligente. La fusión de Internet y la red es necesaria para lograr una mayor eficiencia y un mayor nivel de integración. Al mismo tiempo, la computación en nube es un modelo innovador de prestación de servicios, fortalecer la Internet de las Cosas y su innovación es rápida, ya que puede implementar el nuevo modelo de negocio.

2.14. Sistema de Gestión de Calidad

Un Sistema de Gestión de Calidad, o también conocido como SGC, es una herramienta perfecta para aquellas organizaciones que desean que sus productos y servicios cumplan con los máximos estándares de calidad y así lograr y mantener la satisfacción de sus clientes.

Los Sistemas de Gestión de la Calidad se basan en la familia, actualmente la familia de normas de la serie ISO 9000 está compuesta por:

- ISO 9000. Sistemas de gestión de la calidad. Principios y vocabulario: contiene los fundamentos de los SGC, términos y definiciones.
- ISO 9001. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos: incluye los requerimientos en los que se debe basar y cumplir un Sistema de Gestión de Calidad.
- ISO 9004. Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de gestión de la calidad: comprende las directrices para mejorar el desempeño de una organización y garantizar el éxito sostenido.

La familia de normas ISO 9000 está fundamentada en ocho principios de gestión de calidad, su finalidad es dirigir a las organizaciones al éxito. Para ello se enfocan principalmente en el cliente y la mejora continua. Los ocho principios de gestión de la calidad son:

1. Enfoque al cliente.
2. Liderazgo.
3. Participación del personal.
4. Enfoque basado en procesos.
5. Enfoque de sistema para la gestión.
6. Mejora continua.
7. Enfoque basado en hechos para la toma de decisión.
8. Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor.

2.15. Marco referencial

El objetivo principal de cualquier solución tecnológica en la administración de los almacenes debe proporcionar transparencia y control de la información, la trazabilidad y localización de los materiales y/o productos en tiempo real para garantizar la entrega de materia prima a las líneas de producción o la entrega de productos en el momento, lugar, cantidad, condición y costos correctos. Por lo tanto, se requiere de un seguimiento inteligente de los materiales o productos en toda la cadena de suministro para facilitar a los administradores la toma de decisiones y maximizar el nivel de servicio al cliente (Anandhi, Anitha y Sureshkumar, 2019).

Por ejemplo, Liu, et al. (2019) realizaron un análisis de las características y ventajas de la aplicación de tecnología RFID y de sensores para el diseño de un *layout* de un nuevo almacén con el objetivo de resolver efectivamente los problemas existentes en la administración de un almacén.

Los autores Darmawan, et al. (2021) hablan acerca de los modelos y métodos de solución para el diseño de redes de suministro que no sólo integran los problemas de localización-transporte e inventario, sino también consideran la implementación de un control de inventario coordinado en la red. Comparan dos estrategias debido a la complejidad de los problemas de optimización, desarrollan métodos heurísticos para poder resolver los problemas, basado en un algoritmo genético de optimización. Los autores mencionan que una red coordinada implica que los almacenes no deben utilizar necesariamente la misma tasa de llenado objetivo que los minoristas. Los modelos que manejan son SNCD que se caracterizan por utilizar medidas de nivel de servicio más simplistas, pero menos relevante.

Los autores muestran resultados dando enfoque en el sentido de generar un mayor ahorro de costos. En sentido de que se pueda generar más ahorros en los costos totales y en los costos de inventario. Los autores concluyen que un control coordinado de inventarios en el diseño de la red da lugar a un ahorro medio de costos totales superior al 3% y de casi el 10% en

casos concretos y que esto no debe parecer sorprendente, ya que las cadenas de suministro se benefician de la reducción de los costos de apertura y funcionamiento de los almacenes, así como la mayor agrupación de riesgos. Y lo más importante que aportan los autores es que demuestran que, aunque el número de almacenes sea el mismo, considerar la coordinación del inventario puede influir en el mejor diseño de la red, por lo tanto, la magnitud del ahorro de costos debería justificar la adopción de la estrategia.

Cualquier solución tecnológica en la administración de los almacenes debe proporcionar transparencia y control de la información, la trazabilidad y localización de los materiales y/o productos en tiempo real para garantizar la entrega de los materiales a las líneas de producción o la entrega de productos en el momento, lugar, cantidad, condición y costos correctos. Por lo tanto, se requiere de un seguimiento inteligente de los materiales o productos en toda la cadena de suministro para facilitar a los administradores la toma de decisiones y maximizar el nivel de servicio al cliente (Bonilla, et al., 2016).

Los siguientes autores, Evtodieva, et al. (2019) mencionan que las actividades logísticas en el marco de la Industria 4.0 requieren un serio replanteamiento y la búsqueda de nuevos enfoques, métodos y tecnologías para su implementación; requiere formarse una visión holística de las disposiciones conceptuales básicas de la logística y la génesis de su desarrollo, teniendo en cuenta las actuales realidades de la organización empresarial. En este sentido, las características esenciales de la Industria 4.0 son consideradas y la reflexión de su influencia en la logística como área de actividad científica y área de actividad práctica permitirá abordar con objetividad la formación de iniciativas estratégicas en el ámbito de la gestión del proceso de flujo a nivel de una entidad empresarial.

Huang, et al. (2020) investigan los efectos que las políticas de carbono y las tecnologías verdes pueden tener en el inventario integrado de una cadena de suministro de dos sectores, teniendo en cuenta las emisiones de carbono durante los procesos de producción, transporte y almacenamiento de productos. El modelo que ellos proponen puede ayudar a las empresas a determinar la cantidad óptima de producción, la cantidad de entrega y la cantidad de inversión ecológica, con el objetivo de minimizar los costos bajo diferentes políticas de

emisiones de carbono. Además, su estudio también proporciona implicaciones prácticas para que el gobierno adopte políticas y reglamentos adecuados para equilibrar el compromiso entre la protección del medio ambiente y el crecimiento económico. Por último, los resultados que obtienen los autores indican que las empresas que adoptan la política de impuesto sobre el carbono preferirían invertir en una tecnología verde relativamente eficiente.

Fan, et al. (2014) hablan sobre la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) que ha sido considerada como una solución de gran importancia para la exactitud de los inventarios y muchos minoristas que intentan presionar a sus proveedores para que adopten esta tecnología. En su artículo se analiza la situación de los minoristas sujetos a la inexactitud de los inventarios debido a los problemas de contracción y cómo reducir los problemas de pérdida de inventario mediante el uso de la RFID. Los resultados que obtienen muestran que el hecho de que el minorista utilice la RFID depende del valor relativo de la tasa de disponibilidad de la cantidad de pedidos y de la tasa de lectura de la RFID. Presentan una formulación del valor umbral del coste de la etiqueta que hace que el despliegue de la RFID sea rentable.

Manthou & Vlachopoulou (2001) hablan acerca de los sistemas de código de barras que se ofrecen en las empresas y lo adaptan en una ventaja comercial y servicio al cliente sobre sus competidores más lentos. Mencionan que los sistemas de códigos de barras casi nunca son independientes por naturaleza; dichos sistemas son ricos en problemas potenciales de integración. El modelo que presentan los autores muestra cómo estos sistemas pueden desarrollarse e implementarse siguiendo un procedimiento estructural, así como su lugar e importancia en los sistemas de gestión de inventarios y de marketing. En el caso práctico de los autores, se utiliza la tecnología de códigos de barras para automatizar las transacciones diarias. Los autores concluyen que los códigos de barras proporcionan un control preciso del inventario, los cuales facilitan la reposición.

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

3.1. Exploración

El proyecto consta del diseño de una Prueba de Concepto de un Sistema de inventario FIFO del almacén central (inicialmente aislado), incluye la carga de los ID de las piezas en el sistema, la impresión y colocación de etiquetas con los códigos de barras por piezas, escaneo con *handheld* de las piezas entrantes y/o salientes. Presentación en estación gráfica (HMI) de reporte de inventario actualizado por hora, por día, por semana.

3.2. Internet de las Cosas

IoT está en el centro del rápido desarrollo de todos los sectores de la economía mundial. La gestión de la cadena de suministro y el sector del almacenamiento no son una excepción a esta tendencia creciente. IoT, o Internet de las Cosas, se refiere a un sistema de dispositivos conectados, como electrodomésticos, vehículos y otros equipos, a través de Internet. Estos dispositivos pueden intercambiar datos entre sí con una interacción de persona a persona o de persona a ordenador.

A medida que los responsables de los almacenes se enfrentan a las crecientes presiones de cumplimiento y a otros retos relacionados con la pandemia, a menudo se ven limitados por los anticuados sistemas heredados.

Los almacenes son un eslabón esencial de la cadena de suministro. Todas las empresas tienen que satisfacer las demandas de los clientes de rapidez en los envíos y, al mismo tiempo, reducir los costos operativos y cumplir los requisitos especiales de seguridad.

En los últimos cinco años, los principales retos operativos de los fabricantes han sido la mejora de los procesos internos de producción, el fortalecimiento de las relaciones con los clientes y el aumento de la productividad. Tipos de sensores permiten la identificación automática y la captura de datos (AIDC) en los almacenes, empleando tecnologías como la identificación por radiofrecuencia (RFID) o el Bluetooth para la detección de proximidad, para el seguimiento de la ubicación, la biometría para la autenticación y el escaneo de códigos de barras basado en el móvil o el reconocimiento óptico de caracteres (OCR) para apoyar el crecimiento de las soluciones de gestión de almacenes, hasta el etiquetado a nivel de paletas/artículos.

Los ordenadores están integrados en los dispositivos físicos y cada uno de ellos es identificable de forma única. Esta red, el Internet de las Cosas, permite detectar y controlar a distancia dispositivos y objetos físicos a través de la infraestructura de red existente. Esto proporciona un mayor número de oportunidades para la integración directa de los dispositivos del mundo físico en los sistemas informáticos.

Más allá de las aplicaciones para el consumidor, la IoT es muy útil también en las aplicaciones industriales de Internet. Como ocurre con todo lo relacionado con Internet, los problemas de seguridad abundan, pero no han disminuido el ritmo de adopción de los millones de dispositivos del mundo de la IoT y de los móviles.

Con Internet inalámbrico y las redes de sensores, los datos en tiempo real son abundantes para su uso en plataformas de Internet de las Cosas para potenciar una mayor eficiencia en elementos como los electrodomésticos, los proyectos de ciudades inteligentes, la electrónica de consumo, los edificios inteligentes y mucho más.

Los componentes básicos que hacen que un artículo o dispositivo forme parte del IoT son:

- Sensores: necesarios para seguir y medir la actividad.
- Conectividad a Internet de algún tipo.
- Procesadores para proporcionar potencia de cálculo.

3.3. Ventajas del uso del IoT

La naturaleza inherente de un sistema tradicional de gestión de almacenes dificulta la mejora de la eficiencia. Además, la competencia despiadada y la volatilidad de la economía mundial están mermando los márgenes de beneficio del sector del almacenamiento. Aquí es donde entran en juego los almacenes inteligentes basados en IoT.

1. Reducción de costes

El principal beneficio de contar con almacenes inteligentes basados en IoT será la reducción de los costos generales de manipulación. Todo, desde la gestión del inventario hasta el mantenimiento, se planificará al detalle.

Como resultado, IoT garantizará una utilización óptima de la mano de obra, los servicios públicos y el espacio de almacenamiento. En otras palabras, un almacén inteligente no desperdiciará recursos, lo que se traducirá en un aumento de los beneficios y una reducción de los costos de gestión. Con el IoT se puede realizar un seguimiento de los materiales, equipos y productos de forma más rápida y precisa a medida que avanzan por la cadena de suministro.

Los dispositivos y sensores conectados pueden ayudar a controlar la cantidad y la calidad de las mercancías segundo a segundo. Esta capacidad puede transformar la industria de los alimentos perecederos, que sufre grandes pérdidas debido al deterioro, ya que los sensores pueden ayudar a controlar la temperatura, así como la ubicación de la carga.

2. Un flujo de trabajo sin fisuras

IoT le permitirá controlar el estado de las cadenas de suministros entrantes y salientes a través del almacén. Los trabajadores podrán conocer la ubicación exacta de la carga dentro del almacén con el servicio de localización en tiempo real.

Podrá utilizar robots para recuperar artículos específicos sin demora. También puede utilizar los datos recogidos por los dispositivos IoT para determinar la mejor disposición del almacén. De este modo, podrá mantener un flujo de trabajo sin fisuras en su máxima eficiencia.

3. Mayor escalabilidad

También puede integrar un almacén basado en IoT con otro a medida que su red crezca. Podrá incorporar las nuevas instalaciones con rapidez, lo que se traduce en un tiempo de respuesta rápido. Le proporciona una ventaja competitiva sobre sus rivales.

4. Mejora la precisión de las previsiones

La gestión de la cadena de suministro, especialmente en el sector del comercio electrónico, experimenta altibajos estacionales. Los almacenes basados en IoT permiten recopilar y procesar datos de inventario para prever un posible aumento o disminución de la carga de trabajo. Puede enviar alertas adecuadas a los responsables del almacén, proporcionándoles tiempo suficiente para prepararse para los cambios en la demanda. En el futuro, los almacenes inteligentes serán como ecosistemas autosuficientes que podrán ajustar el espacio de almacenamiento según las fluctuaciones del mercado.

3.4. Arquitectura de IoT

La arquitectura del Internet de las Cosas se define como un marco para especificar los componentes físicos de una red, su organización y configuración funcional, sus principios y procedimientos operativos y los formatos de datos utilizados en su funcionamiento (ver figura 15).

La arquitectura de IoT varía en función de la aplicación en la que se implemente.

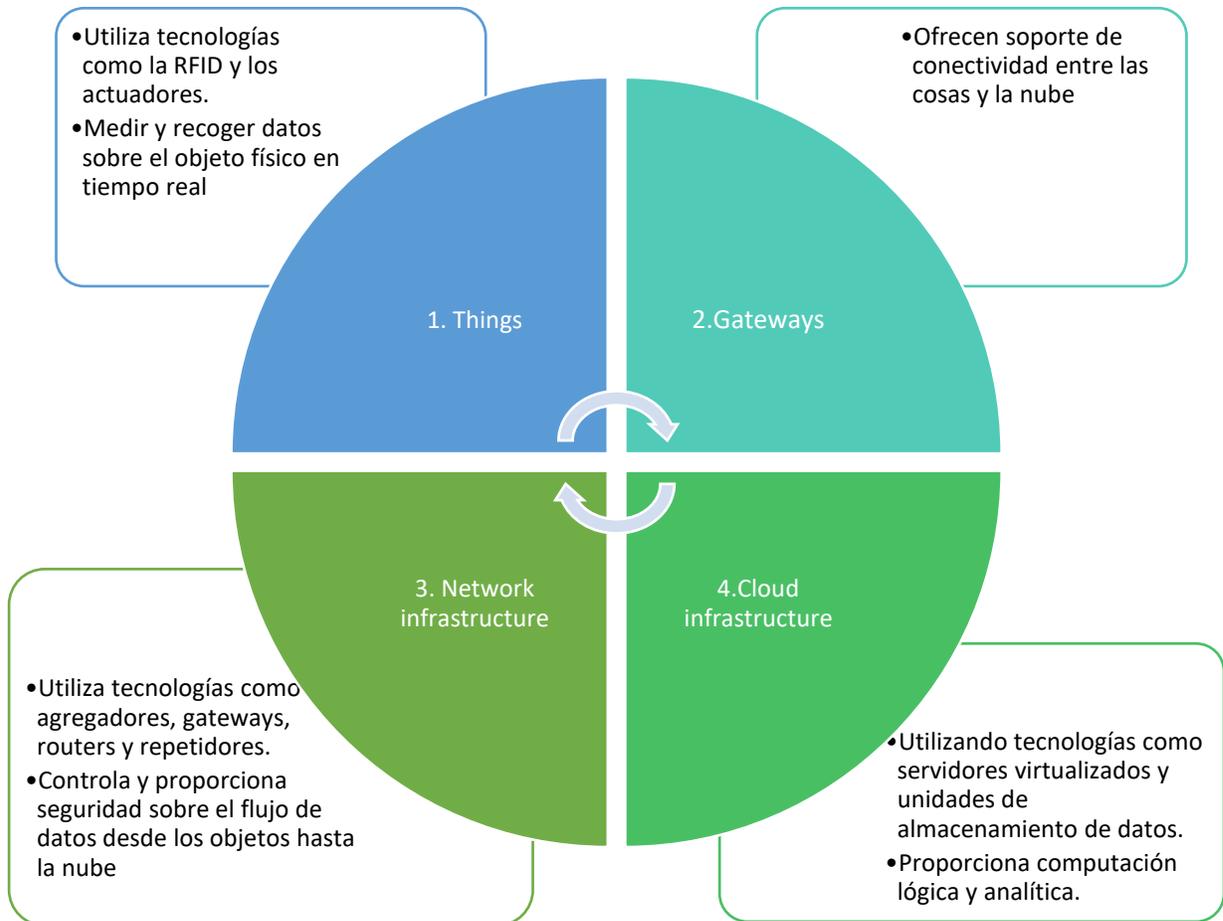


Figura 15. IoT Building Blocks.

Con base en los autores Fan, et al. (2014), la arquitectura de un sistema de administración de almacenes basado en Internet de las Cosas y RFID considera 5 capas:

- Capa física.
- Capa de red.
- Capa de middleware.
- Capa de aplicación.
- Capa empresarial.

Capa física:

La capa física también se conoce como capa de dispositivo. Se compone de objetos físicos y dispositivos que tienen como objetivo recopilar y procesar información. Los dispositivos pueden ser identificación por radiofrecuencia (RFID), código de barras, sensor de infrarrojos, según sea el método de identificación de los objetos. Básicamente esta capa se ocupa de la identificación y recopilación de información específica del objeto por parte de los dispositivos. La información recopilada se envía a la capa de red.

Capa red:

La capa de red también se conoce como la capa de transmisión, la cual transfiere los datos producidos por la capa física a la capa de middleware a través de canales seguros. El medio de transmisión puede ser cableado o inalámbrico y la tecnología puede ser 3G/4G, GSM, UMTS, WiFi, Bluetooth de baja energía, infrarrojos, ZigBee, etc. Además, otras funciones como la computación en la nube y los procesos de gestión de datos se manejan en esta capa.

Capa de middleware:

Los dispositivos del Internet de las Cosas implementan diferentes tipos de servicios. Cada dispositivo se conecta y se comunica sólo con otros dispositivos que implementan el mismo tipo de servicio. Esta capa permite a los programadores de aplicaciones del Internet de las Cosas trabajar con objetos heterogéneos sin tener en cuenta una plataforma de hardware específica. Además, esta capa procesa los datos recibidos, toma decisiones y brinda los servicios requeridos a través de los protocolos de conexión de red. Es decir, es la responsable de administrar los servicios y tiene un enlace a la base de datos, de tal forma que realiza el procesamiento de información, computación ubicua y toma decisiones automáticas basadas en los resultados.

Capa de aplicación:

Se encarga de proporcionar los servicios solicitados por los clientes y una administración global de dispositivos basada en la información de los objetos procesados en la capa de middleware. La importancia de esta capa para el Internet de las Cosas es que tiene la capacidad de proporcionar servicios inteligentes de alta calidad para satisfacer las

necesidades de los clientes. La capa de aplicación cubre numerosos mercados como el hogar inteligente, el edificio inteligente, transporte inteligente, automatización y producción industrial inteligente, atención médica inteligente, agricultura inteligente, ciudad inteligente, etc.

Capa empresarial:

Es la responsable de administrar el sistema del Internet de las Cosas de forma general, incluidas las aplicaciones, actividades y los servicios. Las responsabilidades de esta capa son construir un modelo de negocios, gráficos, diagramas de flujo... basados en los datos recibidos de la capa de aplicación. También se supone que diseña, analiza, implementa, evalúa, supervisa y desarrolla elementos relacionados con el sistema del Internet de las Cosas. La capa empresarial permite apoyar los procesos de toma de decisiones basados en el análisis de Big Data. Además, el monitoreo y la gestión de las cuatro capas subyacentes se logran en esta capa. Además, esta capa compara la salida de cada capa con la salida esperada para mejorar los servicios y mantener la privacidad de los usuarios.

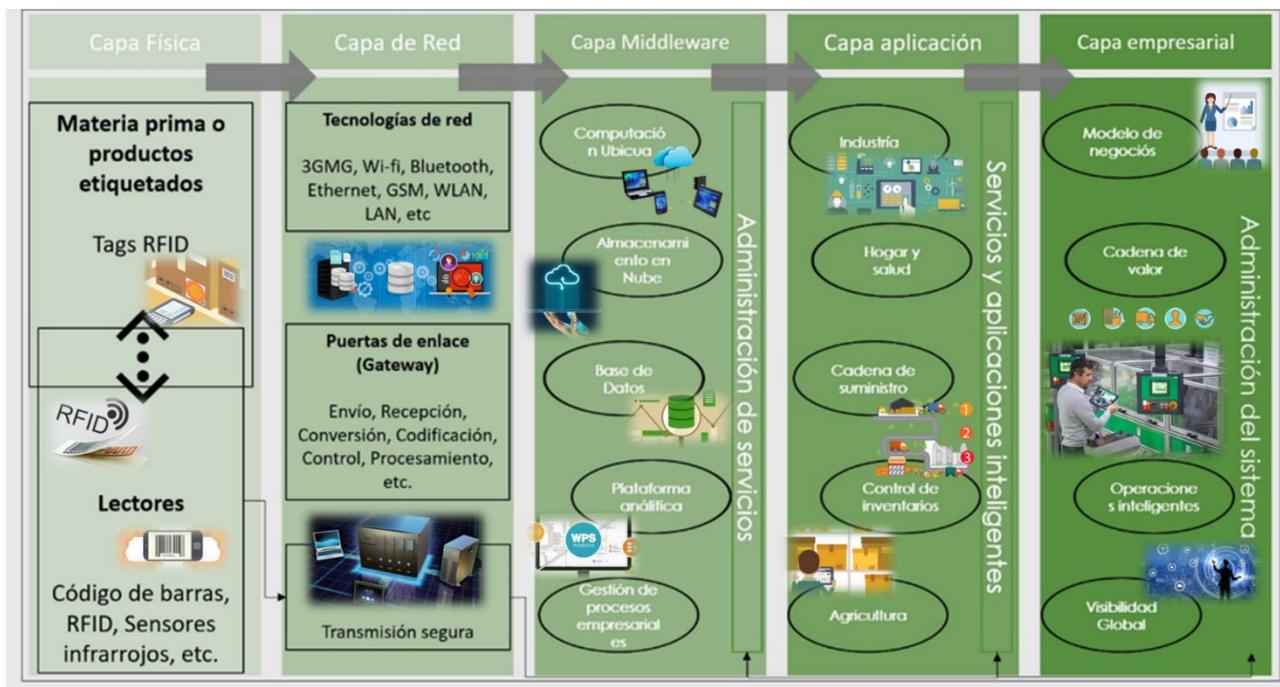


Figura 16. Arquitectura IoT

La cadena de suministro y la logística, la precisión de la información (datos) del inventario puede ser crucial para las operaciones de almacén, para la planeación de la producción y para la administración y control de inventario (materia prima o productos) debido a las entradas y salidas constantemente de la materia prima o producto terminado.

Existe la necesidad de que estos sectores busquen métodos aún más eficientes y efectivos para almacenar, recoger y enviar mercancías en centros de distribución cada vez más centralizados con automatización e integración de los sistemas de almacenamiento. Por lo tanto, la administración de almacenes y el control de inventarios se está desarrollando hacia la dirección de ser más inteligente para lograr el propósito de la integración y distribución bajo demanda, manejar el procesamiento y la gestión de la información de decenas de miles de pedidos todos los días, para completar el acoplamiento del flujo de negocios y la logística.

La aplicación de esta tecnología en un almacén se centra básicamente en colocar un lector RFID en las puertas de entrada y salida de un almacén que recopila información de la materia prima o producto terminado, los cuales están etiquetados con Tags RFID (etiquetas RFID). Para el proceso de entrada, una vez que el sistema identificó la materia prima o producto que entró al almacén, indica cuál debe ser la ubicación de almacenamiento. La información recopilada por el lector sobre el inventario se actualiza instantáneamente en un sistema de administración del almacén a través de un controlador que transmite los datos recopilados a través de un middleware.

El middleware es la capa de traducción de software entre un lector RFID y el sistema de administración de almacenes. La base de datos del sistema de administración del almacén contiene registros, que incluyen datos de identificación, disponibilidad y otra información definida por el uso de cada artículo almacenado en el almacén. Una vez que se ordena una materia prima o un artículo, el sistema de administración del inventario basado en RFID tiene la capacidad de llevar a cabo una verificación automática de los datos de información de la materia prima o producto en la base de datos. Una vez que el artículo ordenado es identificado por el sistema de administración del inventario basado en RFID, se recopila o recoge en su posición de almacenamiento, ya sea de forma manual o automatizada. Finalmente, la base de

datos del inventario del almacén basada en RFID se actualizará tan pronto como la materia prima o el producto se retire del almacén en un transporte que pase por la puerta de entrada/salida del almacén.

3.5. Implantación del IoT en los almacenes

En el mundo empresarial actual, los almacenes tienen un papel importante en la satisfacción de los clientes. Sirven como fuentes clave de competitividad que se mide por quien puede entregar los productos más rápidamente con una mayor eficiencia de costos y flexibilidad. En este sentido, los directivos deben conocer bien todo lo relacionado con el almacenamiento y cómo afecta a toda la cadena de suministro.

La mejora de los almacenes puede medirse por la velocidad y la precisión de la satisfacción de las demandas, la gestión eficaz y la disminución de las funciones sin valor añadido. Otra preocupación es la integración de la información que consiste en funciones clave para la actualización del estado del inventario, el seguimiento de los productos y la gestión de los pedidos.

Los almacenes pueden contener miles de productos, por lo que deben utilizarse de forma óptima para garantizar un rendimiento preciso y rápido en todas las funciones para satisfacer las demandas de los clientes. La aplicación de IoT al almacén promete un impacto significativo, ya que puede utilizarse para supervisar varios procesos en el almacén en tiempo real y puede eliminar las interferencias manuales.

En esta tesis se presenta un marco de trabajo para implementar IoT en las operaciones de almacenamiento para optimizar el consumo de energía y garantizar la calidad de los productos y la seguridad del almacén. Todos los datos captados por los lectores y sensores se transfieren al Sistema de Gestión de Almacenes (SGA), que procesa los datos y los convierte en información y acciones útiles.

3.6. Cadena de suministro

La cadena de suministro se puede definir como el conjunto de objetos físicos que están conectados digitalmente para detectar, monitorear e interactuar entre los departamentos de una empresa y entre su cadena de suministro (proveedores y clientes), consolidando la agilidad, la visibilidad y el intercambio y seguimiento de la información para facilitar el plan, el control y la coordinación de los procesos de la cadena de suministro (Darmawan, et al., 2021).

La RFID es una tecnología clave ampliamente utilizada que se considera un requisito previo o un elemento esencial en el Internet de las Cosas. Se compone principalmente de tres elementos (ver figura 17):

- Una etiqueta formada por un chip conectado con una antena.
- Un lector que emite señales de radio y recibe a cambio respuestas.
- Un middleware que une el hardware RFID y las aplicaciones empresariales.

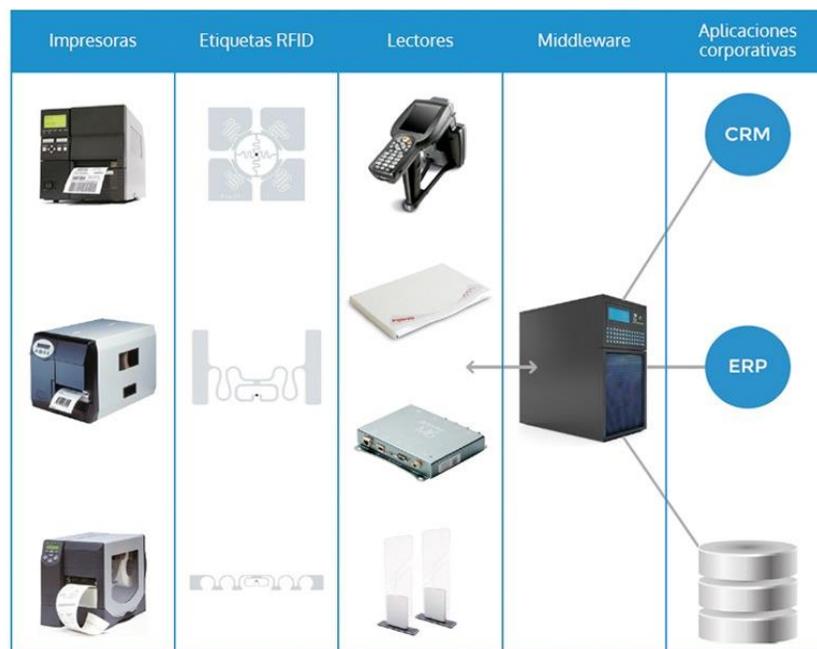


Figura 17. RFID y sus componentes.

La tecnología se puede encontrar en formato de largo y bajo alcance. Un RFID de largo alcance utiliza una banda de “frecuencia ultra alta”, la cual tiene la velocidad de reconocimiento más rápida y puede leer etiquetas de hasta 15 metros de distancia, además es adecuada para su uso en industrias y almacenes.

El RFID de bajo alcance utiliza una banda de “alta frecuencia” que puede proporcionar una de lectura de etiquetas de hasta 1.2 metros de distancia.

Los beneficios clave del despliegue de sistemas RFID en la cadena de suministro incluyen el seguimiento del producto, la transparencia de la información, la reducción del efecto látigo, la reducción de la inexactitud del inventario causada por la contracción y los errores de ubicación incorrecta, mejora de la gestión del ciclo de vida del producto, reduce de los costos laborales y aumenta la flexibilidad.

3.7. Implementación a hardware

Para la implementación en una empresa, se deben realizar pruebas piloto y pruebas in situ con el proveedor de los equipos para verificar la viabilidad de su instalación y el alcance de señales. Donde se indicará que el resultado logrado debe ser el 100% de captación de tags en las distancias de lectura propuesta siempre y cuando esté expuesto hacia la antena.

3.8. Consideraciones para una instalación de lector

Para tener una correcta instalación y montaje de equipo, será necesario tener en cuenta los siguientes aspectos previos a poner en funcionamiento:

Instalación mecánica:

- Montaje del lector RFID.
- Montaje de antenas.

Instalación eléctrica:

- Conexión del puerto serie.
- Conexión de los puertos USB.
- Conexión y configuración del puerto Ethernet.
- Conexión de las antenas.
- Conexión de las entradas/salidas digitales.
- Conexión de alimentación.

3.9. Antenas y cables

Las antenas que se han de utilizar deben ser seleccionadas en función del rango de trabajo del lector RFID. Teniendo en cuenta que no es recomendable colocar antenas con capacidad para bajas frecuencias (en el orden de los KHz), al igual no se deberán conectar a un *reader* cuyo rango de trabajo se encuentre en MHz, ya que no serán compatibles en frecuencia.

La ubicación deberá ser en lugares estratégicos, que puedan cubrir una mayor cobertura y al mismo tiempo sean fáciles de instalar. Se recomienda en lo posible colocarlas en lugares de relativo fácil acceso para el personal técnico calificado. Las antenas deben ser instaladas de tal forma que, tanto la transmisión de energía hacia el tag, como la recepción de los datos emitidos, sean óptimos. Es de gran importancia obtener un alto grado de lectura y recepción.

3.10. Base de datos

Una base de datos es una entidad en la cual se podrán almacenar los datos de manera estructurada, con la menor redundancia posible. Diferentes programas y diferentes usuarios deberán poder utilizar la información y cada uno de los datos. Por lo tanto, el concepto de base de datos está relacionado con el de red, ya que se debe compartir la información.

Algunos administradores para la creación de base de datos son MySQL, Filemaker, Oracle, Microsoft Access, entre otros.

Todos los datos almacenados en cualquier administrador deberán durar toda la vida útil de la implementación de cada proyecto nuevo, ya que será fuente de alimentación para cada base y se irá guardando mientras el disco duro de la computadora tenga capacidad de almacenamiento. Esto es prácticamente ilimitado.

3.11. Recomendaciones

Al trabajar con equipos RFID se recomienda que se tenga siempre en consideración las características técnicas de cada equipo y proponer una prueba de campo previa para comprobar que realmente se cumpla con cada especificación.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Propósito

El propósito de este proyecto es dar una visión general de control de inventarios en la gestión de cadena de suministro y su actual problemática dentro de una empresa ferroviaria, presentando una metodología conceptual para la problemática que se presenta. La metodología se basa en el inventario, que son las entradas y salidas de materia prima para producto semielaborado, materia prima para producto terminado. Se lleva a cabo una investigación de la administración, gestión de la cadena de suministro, control de inventarios y problemas relacionados con el inventario en la industria y sus diversos parámetros. Una metodología para los problemas que enfrenta un control de inventario en una empresa ferroviaria.

Con las soluciones móviles y de IoT más actualizadas, los jefes de almacén pueden elevar las operaciones del almacén para que todos los integrantes de la cadena de suministro estén realmente conectados. Las soluciones de tecnología móvil como smartphones, tabletas y wearables ofrecen una mayor productividad en los almacenes y centros de distribución a través de herramientas integradas de comunicación y gestión, y un almacén inteligente no sólo aumenta la productividad, sino que reduce los costos.

Un almacén equipado con IoT también podría actualizar sus vehículos para recuperar artículos automáticamente. Sensores estratégicamente colocados con etiquetas inteligentes. Los sensores o las etiquetas inteligentes colocadas estratégicamente en el almacén pueden detectar la ubicación de las personas, los vehículos y la mercancía y, a continuación, transmitir las ubicaciones y los eventos a los gestores del almacén y a sus sistemas en línea. Además, los empleados que utilizan teléfonos inteligentes o tabletas pueden asegurarse de que están cargando cajas y palés en un camión en el orden correcto para su envío.

Los dispositivos móviles también pueden ayudar a los jefes de almacén a rediseñar procesos obsoletos. Por ejemplo, un dispositivo móvil puede permitir que la salida dirigida del material entrante incorpore la consolidación del inventario automáticamente, reduciendo los pasos y el tiempo necesarios para realizar estas tareas por separado.

4.2. Integración de dispositivos móviles

El IoT hace que un sistema de gestión de almacenes (WMS) sea más valioso que nunca, llenándolo de datos útiles procedentes de sensores digitales, dispositivos y máquinas habilitadas para el IoT. El siguiente paso es modernizar el acceso humano a su SGA. A medida que actualizan la tecnología heredada a los dispositivos IoT, los líderes de los almacenes con visión de futuro están cambiando las pantallas verdes por potentes y flexibles.

Los beneficios se manifiestan en tres aspectos clave de sus operaciones:

Procesos optimizados:

La tecnología portátil, sobre todo la que permite tener las manos libres, reduce el número de pasos necesarios para realizar tareas como la recogida y la clasificación. Cuando los empleados ya no tienen que manejar portapapeles u ordenadores de mano más grandes, ahorran una cantidad de tiempo significativa, especialmente en un almacén de gran volumen. Los dispositivos móviles también permiten a los responsables pedir a los empleados que realicen otros servicios a distancia. Reducir la dependencia de los empleados de los dispositivos compartidos y del papeleo físico también ayuda a proteger su salud y seguridad.

Reducción de costos:

Gracias a la mayor eficiencia de los dispositivos IoT, el tiempo de los empleados se invierte de forma más inteligente, y el tiempo ahorrado puede reasignarse a tareas de mayor valor.

Reducción de errores:

En un almacén inteligente debidamente equipado, los dispositivos móviles pueden eliminar por completo los procesos basados en papel y reducir significativamente las oportunidades de error humano asociadas a la introducción manual de datos. La eliminación de estos errores aumenta la eficiencia del almacén y puede aumentar su capacidad sin necesidad de ampliarlo físicamente.

En este proyecto se propone un marco de trabajo para implementar IoT en las operaciones de almacenamiento. En cuanto los productos pasan por la puerta de entrada/salida, el lector instalado en la puerta captura los datos sobre los productos registrados en las etiquetas que llevan. Esto proporciona una visibilidad en tiempo real de los niveles de inventario y evita que se agoten las existencias. Los lectores acoplados a las carretillas leen datos que incluyen la ubicación del producto, el tipo de producto y comparten estos datos con el conductor en una pantalla adjunta, lo que optimiza el consumo de energía y garantiza la calidad de los productos y la seguridad del almacén.

Todos los datos captados por los lectores y sensores se transfieren al Sistema de Gestión de Almacenes (SGA), que procesa los datos y los convierte en información y acciones útiles.

Reducir la intervención humana y hacer que todo esté conectado aumenta la eficiencia y ahorra tiempo y, por tanto, dinero. La implantación de la IoT en la industria puede conducir a una transformación económica y social. Los datos en tiempo real y el intercambio de información a través de la nube crean valores masivos para las empresas y los consumidores, los cuales ayudan a que los procesos y servicios sean más eficientes, reduciendo costos, mejorando la calidad, creando nuevas fuentes de ingresos, optimizando inventarios y mejorando la utilización de los equipos.

IoT también tiene un gran impacto en la sociedad, ofrece grandes oportunidades en la vida cotidiana y en el trabajo; la cantidad masiva de datos generados puede utilizarse para desarrollar sistemas más eficientes, ya que reduce la intervención humana; se espera que el

marco propuesto proporcione beneficios significativos para los almacenes y las cadenas de suministro a través de la disminución de la intervención humana.

Los beneficios esperados incluyen:

- Aumentar la eficiencia.
- Garantizar la seguridad de la mano de obra y de las mercancías.
- Reducir el tiempo de funcionamiento.
- Reducción de los accidentes.
- Minimizar el número de trabajadores.
- Aumentar la fiabilidad y la precisión de los procesos de embalaje y preparación de pedidos.
- Disminuir las falsificaciones, los fraudes y los robos.
- Ayudar a las empresas a mejorar las previsiones gracias a la disponibilidad de datos precisos.
- Los datos en tiempo real ayudan a tomar decisiones precisas.
- Mejorar el rendimiento general de las empresas.

Todos estos beneficios mejorarán el beneficio y la reputación de la organización. Sin embargo, las empresas se enfrentan a múltiples desafíos en la adopción de IoT, con un gran número de dispositivos conectados y grandes cantidades de datos generados, las empresas deben preocuparse por la seguridad y la privacidad, ya que los datos pueden ser pirateados y robados. Además, la falta de estándares tecnológicos puede tener consecuencias negativas. La adaptación de IoT necesita una energía muy elevada, por lo que la demanda de energía se considera un gran reto de IoT, también la eliminación de residuos que afectan negativamente al medio ambiente.

En la figura 18 se muestra un diagrama de orden de la recepción de materia prima a fin de proceso para su funcionamiento óptimo en una empresa ferroviaria.

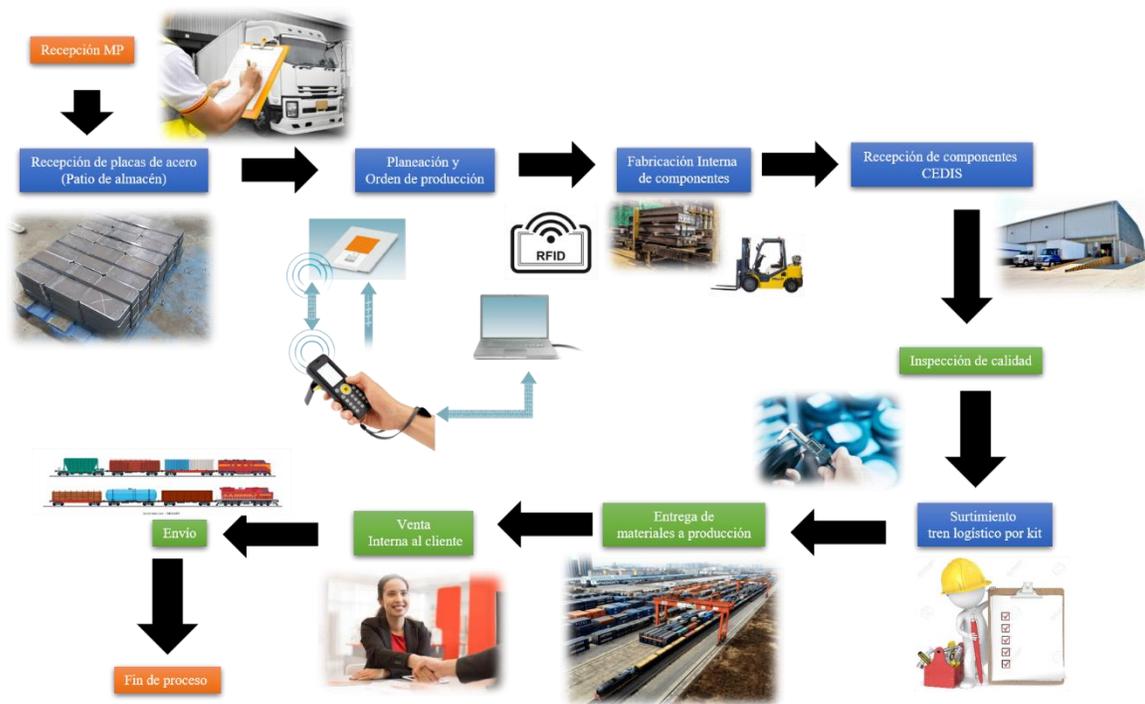


Figura 18. Diagrama de control de inventario.

Dentro del diagrama se interpreta que el código de barras se utiliza desde que va entrando el material, donde calidad inspecciona a través de los filtros de inspección, como se observa en la figura 19, y libera a través del código de barras para que pueda entrar al almacén si cumple con todas las condiciones, de lo contrario se detiene. Lo recibe almacén y verifica el código de barras y se obtiene su correcta ubicación; para surtir material se realizarán kits adecuados y se repartirá el material a través de trenes logísticos y utilizando RFID, cuando pasa a producción se observará el material que se utilizó a través del RFID.



Figura 19. Filtros de la inspección de calidad.

4.3. Requerimientos no funcionales

Usabilidad:

El sistema debe ofrecerle al usuario la capacidad de llevar a cabo las funciones de manera intuitiva y fácil. Él mismo debe poseer la capacidad de orientar al usuario por si existiera algún error que éste haya cometido, de manera que pueda reaccionar correctamente ante la acción errónea.

Confiabilidad:

Los errores generados por la interacción entre el usuario y el sistema serán validados tanto del lado del cliente como del lado del servidor. Se mantendrá la correctitud, consistencia e integridad de los datos, debido a las funciones que ofrece el sistema manejador de base de datos, de manera que estos procesos de validación de errores permanezcan transparentes para el usuario.

Seguridad:

El sistema contará con validación de cédula y contraseña para poder acceder al mismo. Cada usuario tendrá permisos asignados para poder trabajar en los distintos módulos que conforman al sistema.

Portabilidad:

El sistema, al ser una aplicación web, deber ser soportado por los diferentes navegadores, independientemente del ambiente en el cual se ejecuten.

4.4. RFID y código de barras

Es más común ver hoy en día la implementación de códigos de barras dentro de un control de inventario, ya que ha sido un medio de identificación automática de productos efectiva. No obstante, llega a tener muchas limitaciones.

Al ser comparado un lector de código de barras con RFID gira en torno a la capacidad de legibilidad, rapidez de lectura, durabilidad de la etiqueta, cantidad de información, flexibilidad, costos y estándares.

A continuación, se presentan las diferencias entre RFID y un lector de código de barras (ver tabla 2).

Tabla 2.

Cuadro comparativo

Características	RFID	Lector de código de barras
Flexibilidad	No requiere línea de visión	Requiere línea de visión
Lectura	Lectura simultanea	Una lectura por vez
Precisión	100% automático	Requiere intervención humana.
Durabilidad	Soporta diferentes ambientes.	Se puede dañar fácilmente
Capacidad	Almacena más información	Limitado
Identificación	Unívoca por producto	Estandarizada

El implementar en un control de inventario la tecnología RFID, permitirá resolver diferentes problemas presentados anteriormente en una empresa. Teniendo en cuenta que este tipo de tecnología no es excluyente, ya que al igual trabaja juntamente con un lector de código de barras.

4.5. Soluciones Smart Factory 4.0

Los beneficios de una Smart Factory son los siguientes:

Integración de datos:

Una fábrica inteligente permite la integración en tiempo real de los datos de producción, como pueden ser el inventario o la gestión de compras de suministros.

Aprendizaje automático:

El sistema de una Smart Factory es capaz de analizar los datos recopilados a través de sensores y dispositivos de monitorización y de cambiar parámetros para mejorar los procesos de forma automática.

Soluciones robotizadas:

En una fábrica inteligente se implementan máquinas para la gestión automática y precisa de algunas tareas, lo que permite mejorar la eficiencia en los procesos.

Reducción de costos y aumento de beneficios:

Gracias a la implementación de operaciones tecnológicas, se puede aumentar el volumen de producción, así como acortar los tiempos en los procesos de fabricación, mejorar el rendimiento de los inventarios o escalar en el ahorro energético, entre otras cosas.

Innovación constante:

Crear una fábrica inteligente obliga a la empresa a mantenerse al día en innovación para actualizar con frecuencia los sistemas implementados.

Interconexión de las diferentes áreas:

En la Smart Factory todos los departamentos están unidos entre sí. Así mismo, pueden estar conectados con clientes y proveedores.

Cuidado del medioambiente:

En los procesos de fabricación eficientes se emplean menos materiales y disminuyen los residuos. También se puede introducir el uso de energías renovables, reduciéndose así el impacto medioambiental.

4.6. Prueba piloto

Sistema de Gestión de Inventario Almacén Central

Propósito de prueba piloto:

Desarrollar una Prueba de Concepto (PoC) de un Sistema de Gestión de Inventario para un almacén central. Tiempo acordado de la prueba será de 45 días. La responsabilidad de esta prueba será compartida entre el área de Ingeniería y el área de Proyectos de ECON Tech.

Descripción de prueba piloto

La prueba piloto consta del diseño e implementación de un Sistema de Inventario FIFO del almacén central (inicialmente aislado), incluye la carga de los ID de las piezas en el sistema, la impresión y colocación de etiquetas con los códigos de barras por piezas, escaneo con *handheld* de las piezas entrantes y/o salientes. Presentación en estación gráfica (HMI) de reporte de inventario actualizado por hora, por día, por semana.

Características del Sistema de Inventario

- Digitalización de todo el proceso permitiendo el *paperless*.
- Visibilidad y medición en tiempo real de inventario intermedio y chequeo de niveles mínimos de reabastecimiento.
- Notificaciones inteligentes (vía SMS, WhatsApp, email) a logística, producción, gerencia u otras áreas de la planta.
- Reportes generados por eventos o programados.
- Dashboard de KPIs analizables para identificar y plantear mejoras continuas en logística y producción.
- Comunicación en tiempo real entre operaciones, logística y producción o manufactura.

Límites de prueba piloto

Esta prueba piloto tiene como criterios de aceptación los siguientes:

1. Que los reportes del sistema de inventario implementado en el almacén central coincidan con el reporte de control manual ejecutado por Greenbrier, en el mismo periodo de tiempo.
2. Que los KPI a implementar en la PoC sean útiles y significativos para Greenbrier.

Algunos KPI para seleccionar

- Nivel de rotación de inventario - Disponibilidad de stock.
- Fuera de stock - Número de ítems y líneas por orden.
- Cobertura de Stock - Ratio de devoluciones.
- Pedidos perfectos - Pedidos incompletos.
- Precisión de proveedores - Utilización del espacio.
- Costo de inventario.

Entregables claves:

1. Sistema de gestión de inventario corriendo en prueba por 45 días.
2. Informe de puesta en marcha.
3. Informe cierre de pruebas.

Requerimientos de alto nivel:

1. El sistema debe emitir una alerta vía mensajes SMS, WhatsApp o email cuando se detecte una condición no válida.
2. El sistema debe ser capaz de realizar la validación en tiempo real.
3. Riesgos generales.
4. Retraso en la entrega del listado de piezas y partes que se van a cargar al inventario.

5. El escaneo estable de la captura de las imágenes de los códigos.
6. Espacios disponibles para realizar la instalación de los equipos.
7. Tiempos disponibles para realizar la instalación de los equipos.
8. Cambio en los requerimientos originales de la PoC.

Resumen de la prueba piloto

Alcance

- Selección de *handheld*, *router* con wifi, PC estación con monitor, impresora, etiquetas y servidor de app.
- Documentación de piezas y/o partes a cargar en app.
- Documentación de pruebas.
- Revisión y aprobación de ubicación de los scanner, impresora y server.
- Instalación y puesta en marcha.
- Reporte de validación.
- Documento de cierre.

Fases de la prueba piloto

Fase 1: Diseño.

Fase 2: Verificación de diseño.

Fase 3: Pruebas FAT.

Fase 4: Instalación y configuración del sistema.

Fase 5: Puesta en marcha y pruebas SAT.

Fase 6: Validación de la prueba.

Fase 7: Documentación y cierre de la prueba.

La prueba piloto que se llevó a cabo fue todo un éxito teniendo como ventajas la gestión de inventarios más preciso, evitar la sobreproducción, hacer que el control de flujo de material sea fácil de visualizar, mejorar la comunicación entre los procesos, visualizar el WIP en tiempo real y apoyar las actividades de planificación de la producción y por último incrementar la productividad.

CONCLUSIONES

En la cadena de suministro y los sectores logísticos, la precisión de los datos del inventario es esencial, ya que esta información o datos son cruciales para las operaciones de almacén, la planeación de la producción, la administración y el control del inventario entrante y saliente, así como todos los procesos que se desarrollan en un almacén.

La tesis se centró en una investigación cualitativa, de carácter bibliográfico y documental para identificar los componentes básicos de una arquitectura para integrar el Internet de las Cosas y RFID en la administración y control de inventarios. De acuerdo con los autores citados, las principales capas de una arquitectura para la administración del inventario deben considerar: capa física, capa de red, capa de middleware, capa de aplicación y capa empresarial. En donde la tecnología RFID es considerada la principal fuente de generación de datos en entornos inteligentes.

Un sistema de administración del inventario basado en RFID tiene la capacidad de interactuar con un mecanismo de recuperación y almacenamiento automático habilitado con RFID sin ninguna intervención humana, con el objetivo de diseñar estrategias de carga utilizando información proporcionada por la tecnología RFID.

Hoy en día se están desarrollando nuevos modelos de negocio para mejorar las experiencias de los clientes. Mantener la seguridad de la Internet de las Cosas es una prioridad absoluta para salvaguardar los datos personales. Las soluciones robóticas y de inteligencia artificial se están utilizando en las operaciones de almacén y logística junto con los trabajadores de esta misma área para mejorar el rendimiento y reducir los errores. La aparición de la nueva tecnología industrial digital, conocida como Industria 4.0, tiene un impacto en el rendimiento de la cadena de suministro.

En los almacenes, el IoT se ha impuesto para agilizar la manipulación, el almacenamiento y el envío del inventario, los almacenes confían cada vez más en los dispositivos habilitados para el IoT, como los wearables, las gafas inteligentes, los AMR y los AGV.

Los almacenes son una parte básica de la cadena de suministro, se utilizan para almacenar productos y gestionar el nivel de inventario. Un buen sistema de gestión de almacenes puede conducir a la reducción de costos y también puede mejorar la satisfacción del cliente. Los modelos tradicionales de gestión de almacenes se han vuelto menos eficientes e inadecuados para las crecientes necesidades del mercado.

Este documento presenta un nuevo enfoque para la gestión de almacenes utilizando uno de los principales pilares de la Industria 4.0, el Internet de las Cosas. Esta nueva tecnología permite la conexión de varios objetos mediante la recopilación de datos en tiempo real y su intercambio; la información resultante puede utilizarse para apoyar la toma de decisiones automatizada; la arquitectura de esta aplicación y se describen sus posibles beneficios.

Se propone un marco para aplicar este enfoque en la gestión de almacenes, que puede ayudar a proporcionar visibilidad en tiempo real de todo lo que se encuentra en el almacén, aumentando así la eficacia de la gestión, visibilidad en tiempo real de todo lo que hay en el almacén, aumentando la velocidad y la eficiencia, y previniendo la escasez de inventario y la falsificación.

Esta propuesta ofrece una ruta eficaz para que las empresas mejoren sus almacenes mediante el uso del Internet de las Cosas. IoT es una tecnología clave de la cuarta revolución industrial. Industria 4.0 se considera una de las tecnologías más prometedoras para controlar y mejorar el rendimiento de las cadenas de suministro; los almacenes son piezas clave de la cadena de suministro que contribuyen al éxito de cualquier organización industrial, por lo que las nuevas tecnologías están ganando una gran atención por parte de una amplia gama de empresas para mejorar el rendimiento, la reputación y, por tanto, conseguir más clientes y beneficios.

En este trabajo se hace un repaso de tecnologías de la Industria 4.0 (CPS, IoT y computación en la nube), así como el intercambio de información en las cadenas de suministro. También se discutió que el marco propuesto puede ayudar a mejorar el rendimiento del almacén, aumentar la eficiencia, evitar la escasez de inventario, la falsificación y hacer que la entrega de pedidos sea más rápida y sencilla y, por tanto, aumentar los beneficios. La investigación futura debería aplicar este marco en un almacén real y comparar los beneficios de esta propuesta con los resultados reales; se puede desarrollar un modelo de simulación para mostrar los beneficios de la propuesta que se realiza.

Referencias

- Affia, I., & Aamer, A. (2021). An internet of things-based smart warehouse infrastructure: design and application. *Journal of Science and Technology Policy Management*.
- Bonilla, I., Arturo, T., & Morles, M. (2016). Iot, El Internet De Las Cosas Y La Innovación De Sus Aplicaciones. *VinculadTégica EFAN, 1*, 2313–2340.
<http://www.web.facpya.uanl.mx/VinculadTégica/Revistas/R2/2313-2340 - Iot, El Internet De Las Cosas Y La Innovacion De Sus Aplicaciones.pdf>
- Darmawan, A., Wong, H., & Thorstenson, A. (2021). Supply chain network design with coordinated inventory control. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 145*(2), 102168. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102168>
- Evtodieva, T. E., Chernova, D. V., Ivanova, N. V., & Kisteneva, N. S. (2019). Logistics 4.0. *Contributions to Economics, 207–219*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11754-2_16
- Fan, T. J., Chang, X. Y., Gu, C. H., Yi, J. J., & Deng, S. (2014). Benefits of RFID technology for reducing inventory shrinkage. *International Journal of Production Economics, 147*(PART C), 659–665. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.007>
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). Introduction to Logistics Systems Management. In *Introduction to Logistics Systems Management*.
- González-Hernández, I. J., Martínez-Flores, J. L., Sánchez-Partida, D., & Gibaja-Romero, D. E. (2019). Relocation of the distribution center of a motor oil producer reducing its storage capacity: A case study. *Simulation, 95*(11), 1097–1112.
- Hamdy, W., Mostafa, N., & Elawady, H. (2018). Towards a smart warehouse management system. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2018*(SEP), 2555–2563.

- Han, K. H., Bae, S. M., & Lee, W. (2018). Integrated inventory management system for outdoors stocks based on small UAV and beacon. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 746, 533–541.
- Huang, Y. S., Fang, C. C., & Lin, Y. A. (2020). Inventory management in supply chains with consideration of Logistics, green investment and different carbon emissions policies. *Computers and Industrial Engineering*, 139(November 2019), 106207. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106207>
- Ivanov., Dmitry, Tsipoulanidis., A., & Schonberger., J. (2016). *Global Supply Chain and Operations Management* (Springer).
- Ivanov, D., & Tsipoulanidis, A. Schönberger, J. (2017). A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value. In *Global Supply Chain and Operations Management* (Springer.).
- Jabbar, S., Khan, M., Silva, B. N., & Han, K. (2018). A REST-based industrial web of things' framework for smart warehousing. *Journal of Supercomputing*, 74(9), 4419–4433.
- Kucharavy, D., Damand, D., Barth, M., & Derrouiche, R. (2018). Collaborative Design of Warehousing 4.0 Using the Concept of Contradictions. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (Vol. 534). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99127-6_34
- Li, Y., Tan, J., & Wang, M. (2015). Design and implementation of enterprise asset management system based on IOT technology. *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Communication Software and Networks, ICCSN 2015*, 384–388.
- Liu, L., & Geng, K. (2016). Intelligent storage system architecture research based on the internet of things. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, 173, 247–256. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44350-8_25

- Ma, H. (2019). Advanced Manufacturing and Automation VIII. IWAMA 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering . *An Industry 4.0 Technologies-Driven Warehouse Resource Management System*, 484, 27–33.
- Manthou, V., & Vlachopoulou, M. (2001). Bar-code technology for inventory and marketing management systems: A model for its development and implementation. *International Journal of Production Economics*, 71(1–3), 157–164.
[https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00115-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00115-8)
- Nakano, M. (2020). *Supply Chain Management: Strategy and Organization*.
- Nayyar, A., Nguyen, B.-L., & Nguyen, N. G. (2020). The Internet of Drone Things (IoDT): Future Envision of Smart Drones. In A. K. Luhach, J. A. Kosa, R. C. Poonia, X.-Z. Gao, & D. Singh (Eds.), *First International Conference on Sustainable Technologies for Computational Intelligence. Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 563–580). Singapore: Springer.
- Oliver, R. K., & Webber, M. D. (1982). Logistics catches up with strategy. In C. M. *Supply-Chain Management, Logistics: The strategic issues*, 63–75.
- Ortega-Palma, B., Vera-Marqu ez, A., Hernández-García, R., González-Hernández, I. J., & Zuno-Silva, J. (2020). Un vistazo a la arquitectura de un sistema inteligente de administración de inventarios basado en tecnologías de la Industria 4.0. *Ingenio y Conciencia Bolet n Científico de La Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 7(14), 1–7.
- Reaidy, P. J., Gunasekaran, A., & Spalanzani, A. (2015). Bottom-up approach based on Internet of Things for order fulfillment in a collaborative warehousing environment. *International Journal of Production Economics*, 159, 29–40.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.017>
- Schuh, G., Stich, V., Brosze, T., Fuchs, S., Pulz, C., Quick, J., Sch rmeyer, M., & Bauhoff, F. (2011). High resolution supply chain management: Optimized processes based on self-optimizing control loops and real time data. *Production Engineering*, 5(4), 433–442. <https://doi.org/10.1007/s11740-011-0320-3>

- Singh, D., & Verma, A. (2018). Inventory Management in Supply Chain. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3867–3872. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.641>
- Singh, K. (2019). Smart inventory management using electronic sensor based computational intelligence. In *Studies in Computational Intelligence* (Vol. 823). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12500-4_1
- Soheilrad, S., Govindan, K., Mardani, A., Zavadskas, E. K., Nilashi, M., & Zakuan, N. (2018). Annals of Operations Research. In *Application of data envelopment analysis models in supply chain management: a systematic review and meta-analysis*. (pp. 271,915-969).
- Sowmya, T. K., Agadi, S. V, Saraswathi, K. G., Nirvani, P. B., & Prajwal, S. (2018). *Implementation of IoT Based Smart Warehouse Monitoring System*. 6(15), 1–4. <http://oatd.org/oatd/record?record=%22handle:10393/37756%22>
- Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18–43. <https://doi.org/00207543.2019.1612964>
- Zhou, W., Piramuthu, S., Chu, F., & Chu, C. (2017). RFID-enabled flexible warehousing. *Decision Support Systems*, 98, 99–112. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.05.002>
- Zijm., H., Klumpp., M., Regattieri., A., & Heragu., S. (2019). *Operations, Logistics and Supply Chain Management*. (Springer).

ANEXOS

Anexo 1

Se prevé que la base instalada de dispositivos IoT crezca hasta casi 31.000 millones en todo el mundo en 2020 y será de 75.000 millones en 2025. Es un número asombroso de dispositivos conectados.

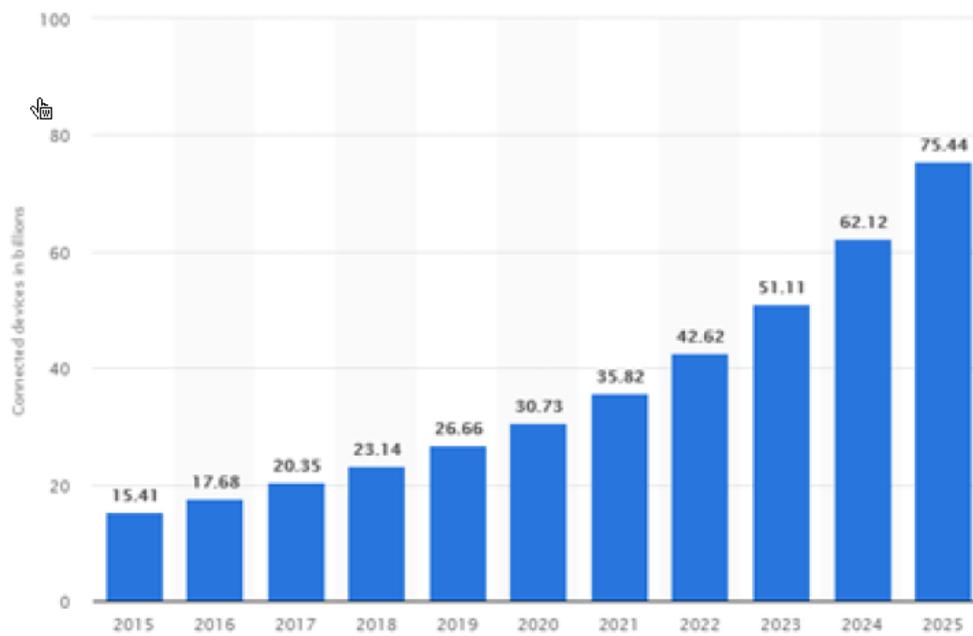


Figura 19. Statista. Ghiani, et al., 2013.