

Trabajo Final de Master

## **Máster en Cadena de Suministro, Transporte y Movilidad**

### **Implementación de RFID en un almacén logístico**

**MEMORIA**

**Autor:** Enrique Arturo Guizar Sepúlveda

**Director:** Xavier Garriga Bosch

**Convocatoria:** Julio 2017-2018



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



## Resumen

Para el desarrollo del presente proyecto se evaluarán las diferentes variables que se necesitan para el funcionamiento de un almacén que alberga tres tipos de productos, para posteriormente evaluar la implementación de la tecnología RFID (en inglés Radio Frequency Identification) o identificación por radiofrecuencia.

El proyecto se divide en tres puntos que se han desarrollado en el proyecto, el primero, definición de los procesos productivos del mismo, el segundo, investigación de la tecnología RFID para fines logísticos y finalmente, la descripción del dimensionamiento del sistema RFID en el almacén logístico de cajas para su evaluación económica.

Se evaluaron las condiciones de las instalaciones para que el sistema implementado sea funcional, desde su distribución, tanto de entradas como salidas, pasillos, estanterías, área de recepción, picking y expedición.

El almacén para el que se realizó la evaluación del proyecto fue diseñado en función a la información de un almacén logístico de una cadena comercial de Barcelona.

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>2</b>
<b>Índice .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Glosario.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Prefacio .....</b>	<b>9</b>
2.1 Origen del proyecto .....	9
2.2 Motivación .....	9
2.3 Requerimientos previos .....	9
<b>3. Introducción .....</b>	<b>10</b>
3.1 Objetivo del proyecto .....	10
3.2 Alcance .....	10
3.3 Metodología .....	10
<b>4. ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES: Elementos y características que forman el almacén logístico .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1 Zonas de almacén.....</b>	<b>12</b>
4.1.1 Zona de descarga (recepción) y carga (expedición) .....	12
4.1.2 Zona de etiquetado .....	13
4.1.3 Zona de ubicación .....	13
4.1.4 Zona de Picking .....	13
4.1.5 Zona de preparación de pedidos .....	14
<b>4.2 Diseño del almacén .....</b>	<b>14</b>
<b>4.3 Diseño y descripción de las estanterías para cajas para productos congelados, frescos y secos.....</b>	<b>16</b>
<b>4.4 Número de ubicaciones que tienen que disponer los transelevadores</b>	<b>17</b>
4.4.1 Congelados .....	18
4.4.2 Frescos.....	18
4.4.3 Secos.....	19

<b>4.5</b>	<b>Número de lugares de picking .....</b>	<b>19</b>
4.5.1	Congelados .....	20
4.5.2	Frescos.....	20
4.5.3	Secos.....	20
<b>4.6</b>	<b>Normativa de diseño del almacén.....</b>	<b>21</b>
<b>4.7</b>	<b>Medios de mantenimiento .....</b>	<b>21</b>
<b>4.8</b>	<b>Layout del almacén .....</b>	<b>22</b>
<b>5.</b>	<b>DEFINICIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS: Fases y pasos básicos del proceso productivo dentro del almacén logístico .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1</b>	<b>Procesos productivos .....</b>	<b>23</b>
5.1.1	Recepción .....	23
5.1.2	Ubicación.....	24
5.1.3	Picking.....	24
5.1.4	Expedición.....	24
5.1.5	Logística inversa .....	24
5.1.6	Cuarentena.....	25
<b>5.2</b>	<b>Diagramas de flujo del proceso .....</b>	<b>26</b>
5.2.1	Diagrama de flujo: recepción, ubicación, picking y expedición.....	28
<b>6.</b>	<b>ESTUDIO DE SISTEMAS RFID Y SU IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b>Introducción a la tecnología RFID .....</b>	<b>33</b>
<b>6.2</b>	<b>Código de barras-Tecnología RFID .....</b>	<b>34</b>
<b>6.3</b>	<b>Fundamentos de la tecnología RFID .....</b>	<b>34</b>
<b>6.4</b>	<b>Beneficios y ventajas del RFID para un almacén logístico .....</b>	<b>35</b>
<b>6.5</b>	<b>Retorno de la inversión .....</b>	<b>36</b>
<b>6.6</b>	<b>Sistemas RFID: características de acuerdo a las necesidades del almacén logístico .....</b>	<b>37</b>
<b>6.7</b>	<b>Elementos básicos de un sistema RFID requeridos por un almacén ...</b>	<b>38</b>
6.7.1	Etiquetas RFID.....	38
6.7.2	Antena .....	41

6.7.3	Lector.....	42
6.7.4	Impresoras .....	43
<b>6.8</b>	<b>Normas y estándares EPC e ISO .....</b>	<b>43</b>
6.8.1	Norma ISO .....	44
6.8.2	Estándar EPC (Electronic Product Code).....	44
<b>6.9</b>	<b>Limitaciones de la tecnología RFID.....</b>	<b>45</b>
6.9.1	Interferencias de lectores.....	45
6.9.2	Cantidad de lecturas de etiquetas .....	46
6.9.3	Capacidad de potencia de las ondas emitidas por los lectores/etiquetas .....	46
<b>6.10</b>	<b>RFID en la cadena de suministro .....</b>	<b>47</b>
<b>7.</b>	<b>ESTUDIO DE VIABILIDAD: alcance de su implementación .....</b>	<b>48</b>
7.1.1	Determinación del alcance.....	48
7.1.2	Procesos impactados por la implementación del RFID .....	49
7.1.3	Identificar beneficios estratégicos y económicos .....	51
7.1.3.1	Proceso cuantitativo y beneficios económicos .....	51
7.1.3.2	Requerimientos de inversión .....	52
7.1.4	Momento adecuado para la implementación de un sistema RFID .....	55
<b>7.2</b>	<b>Etapas para su implementación .....</b>	<b>56</b>
7.2.1	Primera etapa: laboratorio para realizar pruebas .....	56
7.2.2	Ubicación de las etiquetas en las cajas.....	57
7.2.3	Segunda etapa: prueba y validación .....	57
7.2.3.1	Asegurando la inversión del sistema RFID .....	57
7.2.4	Sistema de integración (WMS).....	58
7.2.5	Tercera etapa: implementación piloto .....	58
7.2.6	Cuarta etapa: implementación final .....	58
<b>7.3</b>	<b>Infraestructura RFID en el almacén logístico.....</b>	<b>60</b>
<b>7.4</b>	<b>Gestión del almacén logístico con tecnología RFID.....</b>	<b>63</b>
<b>7.5</b>	<b>Aspectos claves en la implementación del RFID .....</b>	<b>64</b>
7.5.1	Embalaje de los productos.....	65
7.5.2	Características que afectan el rango de lectura de las etiquetas .....	65
7.5.3	Ubicación del test.....	65

<b>7.6</b>	<b>Evaluación económica: análisis coste beneficio del proyecto.....</b>	<b>66</b>
<b>8.</b>	<b>Impacto ambiental.....</b>	<b>68</b>
8.1	El impacto de las etiquetas RFID en el reciclaje.....	69
<b>9.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>71</b>
<b>10.</b>	<b>Agradecimientos .....</b>	<b>73</b>
<b>11.</b>	<b>Índice de figuras, imágenes, tablas, diagramas y gráficos .....</b>	<b>74</b>
<b>12.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>77</b>

## 1. Glosario

**WMS:** Sistema de gestión de almacenes es la denominación atribuida a programas informáticos destinados a gestionar la operativa de un almacén. Proviene de la traducción del término inglés "Warehouse Management System"

**ERP:** Los sistemas de planificación de recursos empresariales (por sus siglas en inglés, Enterprise Resource Planning) son los sistemas de información gerenciales que integran y manejan muchos de los negocios asociados con las operaciones de producción.

**FEM:** European Materials Handling Federation, es una asociación europea que representa el manejo de materiales, equipamiento de carga y almacenamiento.

**RFID:** Identificación por radiofrecuencia es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas o transpondedores.

**LF:** Baja frecuencia o LF (del inglés Low Frequency) se refiere a la banda del espectro electromagnético, y más particularmente a la banda de radiofrecuencia, que ocupa el rango de frecuencias entre 30 kHz y 300 kHz.

**HF:** Alta frecuencia o HF (del inglés High Frequency) altas frecuencias u onda corta, son las siglas utilizadas para referirse a la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 3 MHz a 30 MHz.

**UHF:** Frecuencia ultra alta o UHF (del inglés Ultra High Frequency) es una banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.

**BOE:** El Boletín Oficial del Estado es el diario oficial español dedicado a la publicación de determinadas leyes, disposiciones y actos de inserción obligatoria.

**EPC:** El código electrónico de producto (por sus siglas en inglés electronic product code) es un número único diseñado para identificar de manera inequívoca cualquier objeto.

**ISO:** La Organización Internacional de Normalización es una organización para la creación de estándares internacionales.

**CEPT:** (en francés Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) es un organismo internacional que agrupa a las entidades responsables en la administración pública de cada país europeo de las políticas y la regulación de las comunicaciones.

**ETSI:** European Telecommunications Standards Institute o Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones es una organización de estandarización independiente, sin fines de lucro de la industria de las telecomunicaciones de Europa, con proyección mundial.

**VPN:** El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto (en inglés net present value), cuyo acrónimo es VAN (en inglés, NPV), es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

## **2. Prefacio**

### **2.1 Origen del proyecto**

El presente proyecto pretende enmarcar los elementos necesarios para la implementación de la tecnología RFID en un almacén logístico que alberga 3 tipos de productos, secos, frescos y congelados; que abarca el dimensionamiento de las instalaciones hasta los procesos productivos previos a la implementación de la tecnología mencionada en un almacén logístico diseñado en la asignatura de Almacenamiento y Manutención, cursada en el Master de Cadena de Suministro, transporte y movilidad, y dirigida por el Profesor Xavier Gavaldà de la Universitat Politècnica de Catalunya.

### **2.2 Motivación**

La elección del presente proyecto viene dada por la creciente necesidad de implementar tecnologías de la información para el diseño de sistemas productivos en la cadena de suministro y la gestión de un almacén logístico haciendo uso de una de una de las herramientas tecnológicas con mayor efectividad e innovación.

Este proyecto tiene como intención aplicar los conocimientos adquiridos en el Master de Cadena de Suministro, Transporte y Movilidad en un enfoque profesional y aplicado a la realidad actual.

### **2.3 Requerimientos previos**

Para realización de este proyecto se necesitó partir de un almacén logístico ya dimensionado. Éste fue diseñado a partir de datos obtenidos de una cadena de supermercados en España los cuales fueron usados en el proyecto “Creación de un almacén logístico de cajas” de la asignatura mencionada en el apartado 2.1.

### **3. Introducción**

#### **3.1 Objetivo del proyecto**

- Definir los procesos productivos del almacén logístico para su correcta integración.
- Analizar la viabilidad de instalar un sistema RFID evaluando las necesidades del almacén en relación a sus características.

#### **3.2 Alcance**

El proyecto comprenderá:

- Análisis de las instalaciones del almacén logístico de cajas
- Definición de los procesos productivos del almacén
- Estudio de los sistemas RFID en el mercado
- Detalle de la implementación del RFID en el almacén logístico de cajas

#### **3.3 Metodología**

La metodología se dividirá en dos partes, primero la definición de los procesos productivos y finalmente el alcance de la implementación de la tecnología RFID para el almacén logístico.

##### *Definición de los procesos productivos*

Se analizarán las instalaciones del almacén logístico de cajas conforme a la definición de su proceso productivo, para determinar la infraestructura necesaria para el dimensionamiento de los elementos que conformarán el sistema RFID, utilizando diagramas de flujo de proceso.

##### *Alcance de la implementación del RFID*

Se realizará un análisis de costes asociado a la implementación del sistema, sus limitaciones y la viabilidad del proyecto a través del Valor Presente Neto originado de la inversión del mismo.

#### **4. ANÁLISIS DE LAS INSTALACIONES: Elementos y características que forman el almacén logístico**

Es primordial diferenciar lo que es responsabilidad de la gestión de stocks de lo que hace referencia a la gestión del almacén.

La gestión de stocks decide sobre cierto número de principios estratégicos, como determinar los artículos que conviene tener en el almacén y en qué cantidades, elegir los modos de suministro y plazos para nuevos suministros, optar por un modo de evaluación del stock y ponerlo en práctica.

La gestión del almacén debe poner en práctica los principios que se hayan decidido en la gestión de stocks optimizando los flujos físicos correspondientes en el interior del almacén. (Roux, 1996)

El almacén logístico cuenta con un espacio de 3.500 m<sup>2</sup>. En su interior cuenta con una capacidad de albergar más de 65.000 cajas de los distintos productos de las marcas que se almacenarán.

La nave industrial tiene 70 m de longitud, 50 m de anchura y una altura de 12 m (anexo A.3). Cuenta con 11 muelles para entradas y 11 para salidas. Está estructurada en 2 niveles. En la planta baja se encuentran las zonas de recepción, ubicación, picking, expedición, entre otras. Por último, el segundo nivel acoge un área de oficinas.

Las mercancías manipuladas vendrán en cajas con características específicas conforme al tipo de almacén que será destinada.

Dado el tipo de productos gestionados y debido a que el flujo de materiales de un almacén responde a una de sus características intrínsecas, puesto que la estancia de los productos es temporal y todo lo que entra tiene que volver a salir. Este flujo puede ser simple o complejo. El almacén ha sido diseñado con un flujo de materiales complejo debido a los diversos procesos que se llevarán a cabo, ya que un flujo simple, es aquel que sus operaciones son limitadas en cuanto a su proceso productivo, como por ejemplo una plataforma Crossdocking que únicamente recibe y expedita, sin necesidad de almacenar o ubicar los productos. En cuanto a uno complejo, un flujo laminar en un almacén de cajas (figura 1), indica que, de acuerdo al espacio físico del almacén, las cabeceras de entradas se ubican por la zona de recepción y para salir del sistema (almacén) tiene que pasar por

el silo para finalmente llegar a las cabeceras de salidas, que en este caso es la zona de picking, para posteriormente expedir los pedidos al cliente.

Es importante saber que un silo automático es una instalación logística caracterizada por aprovechar al máximo la superficie disponible con sistemas automatizados en el almacenaje, la mantención y la transmisión de información (García E. , 2014).



Figura 1-Flujo de materiales del almacén logístico (flujo laminar)

Fuente: *Elaboración propia*

#### 4.1 Zonas de almacén

Las zonas del almacén forman parte importante para definir los procesos dentro del mismo. A continuación, se han definido dentro del layout del anexo A.2, zonas de descarga, carga, etiquetado, ubicación, picking y preparación de pedidos, las cuales se describen en los siguientes apartados.

##### 4.1.1 Zona de descarga (recepción) y carga (expedición)

En esta zona (Imagen 1) del anexo A.2 se llevan a cabo las operaciones de carga y descarga de los camiones, mediante carretillas a través de 11 muelles operativos, donde 2 son destinados a congelados, 5 al almacén de frescos y los últimos 4 para productos secos. La zona está conectada con la de etiquetado.

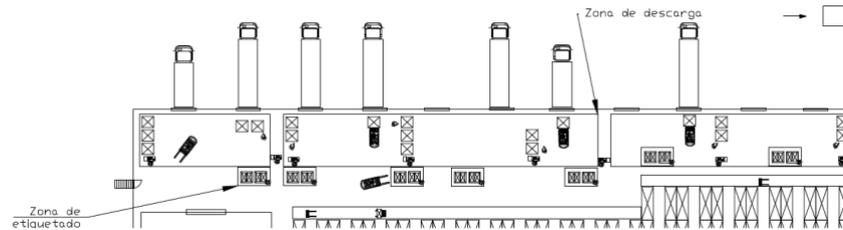


Imagen 1-Zona de descarga

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2 Zona de etiquetado

Es la zona (Imagen 2) del anexo A.2 donde se coloca la etiqueta a los bultos para su identificación y gestión. Para congelados 1 zona, para frescos 4 zonas y para secos 2 zonas. El área se conecta a la zona de ubicación

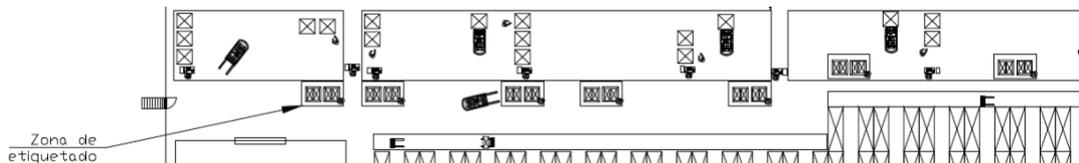


Imagen 2-Zona de etiquetado

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.3 Zona de ubicación

Es la zona (Imagen 3) del anexo A.2 que una vez recibida la mercancía y etiquetada se le da recepción en el WMS y posteriormente se le da almacenamiento mediante un elevador automatizado (miniload). El área se conecta a la zona de etiquetado.

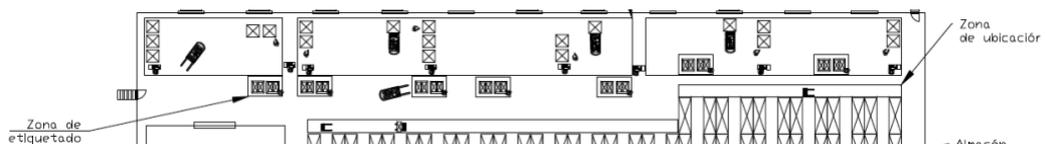


Imagen 3-Zona de ubicación

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.4 Zona de Picking

En esta zona (Imagen 4) del anexo A.2 se recogen las cajas según las ordenes de pedido recibidas a través del ERP y posteriormente se reprograma la etiqueta con la información y/o requerimientos del cliente.

El área se conecta mediante apiladoras y transportadores de rodillos con el área de preparación de pedidos.

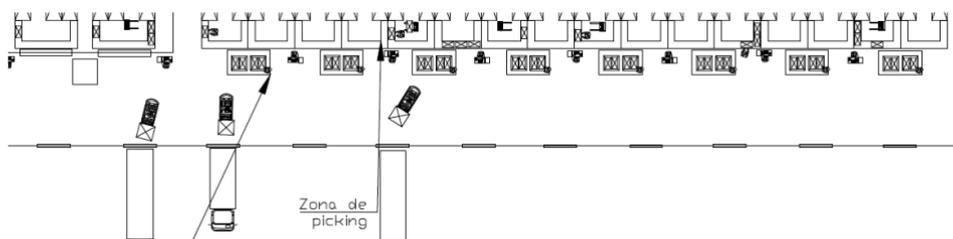


Imagen 4-Zona de picking

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.5 Zona de preparación de pedidos

Finalmente, en esta zona (Imagen 5) del anexo A.2 se depositan los pallets según la orden de compra recibida del cliente. El área se conecta con la zona de carga para expedir la mercancía al destino final.

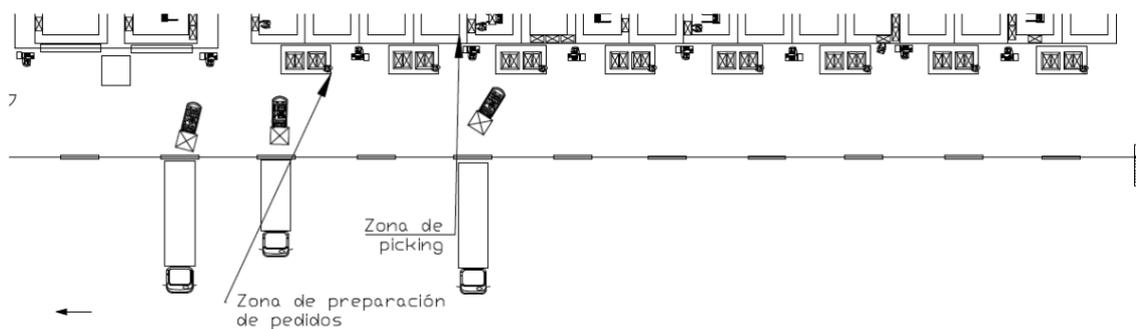


Imagen 5-Zona de preparación de pedidos

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 Diseño del almacén

Los elementos (imagen 6) de los que dispone la instalación son genéricos para los tres tipos de productos:

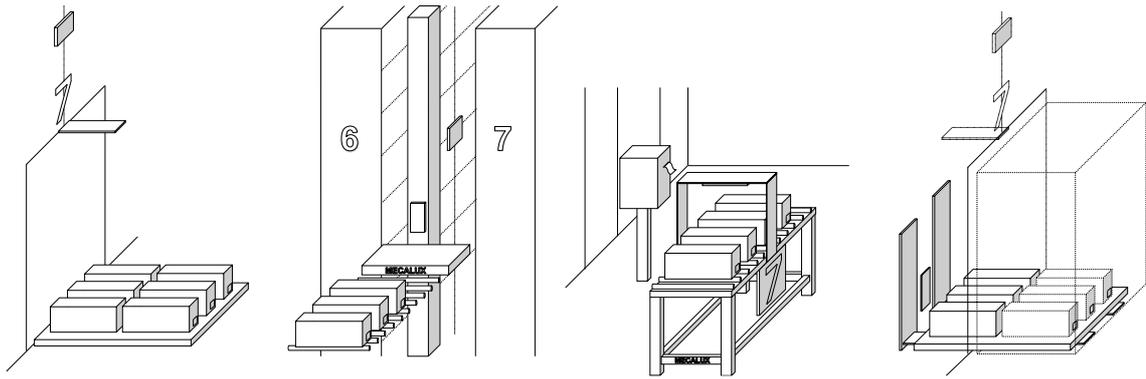


Imagen 6-Vista del almacén RFID

*Fuente: Elaboración propia*

1. **Estanterías:** se hace uso de estanterías convencionales para cajas ya que son ideales para trabajar con un gran número.
2. **Miniloads (transelevadores):** Para el almacenamiento de las cajas se utilizan miniloads que están instalados en los pasillos. Estos se adaptan fácilmente a las necesidades del almacén en cuanto a capacidad de carga, dimensiones y altura de la nave. Con este sistema se pueden tener estanterías de hasta 12 metros de altura lo que permite reducir los pasillos a 0,90 metros entre estanterías.
3. **Transportador de rodillos de acumulación:** Hace posible el traslado de las cajas en línea recta sin contacto entre ellas, pudiendo realizar también funciones de acumulación y escaneo de cajas.
4. **Transferencia mixta de rodillo o cadenas:** Es un transportador con rodillos y cadenas que permite realizar un cambio de dirección de 90° y 270°. Se combina de un transportador fijo de rodillos y un transportador de correas con elevación dispuesto ortogonalmente, a la vez que incorpora un límite abatible que garantiza la linealidad de la caja a la transferencia.
5. **Transportador de rodillos con elevación:** Se sitúan en las cabeceras de las estanterías ya que están diseñadas para recoger o liberar cargas a los miniloads en las salidas o entradas de los almacenes.
6. **Cabecera lateral para picking:** Estación para realizar picking de las cajas que salen del miniload. Es el sitio donde el operario interactúa con el sistema, donde se realizan también las tareas de manipulación de los elementos ubicados en el interior del almacén.

### 4.3 Diseño y descripción de las estanterías para cajas para productos congelados, frescos y secos

En el mini load de congelados se almacenarán cajas de 600mm x 400mm x 150mm y cajas de 600mm x 400mm x 180mm.

Los módulos de las estanterías se diseñarán para almacenar el tipo de caja mencionado en doble profundidad, es decir dos cajas en un mismo módulo. El dimensionado del módulo con todas sus distancias queda detallado en la figura 2 y figura 3.

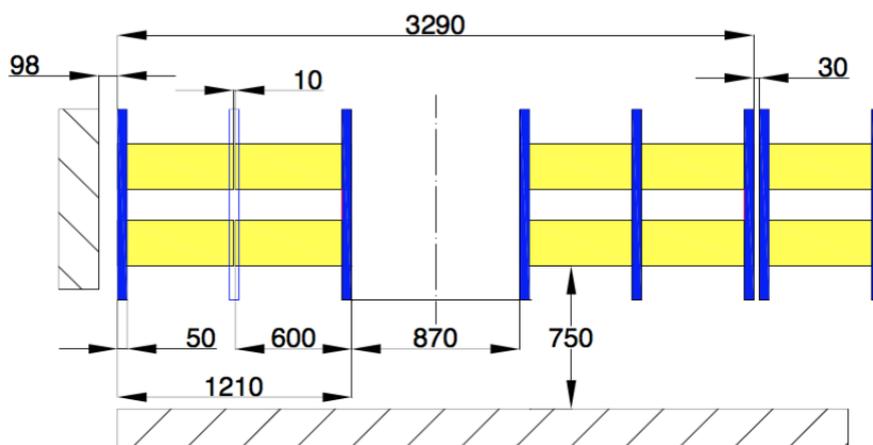


Figura 2-Diseño (en mm) de la profundidad, altura y pasillos de las estanterías del almacén

Fuente: (Garcia & Treviño, 2016)

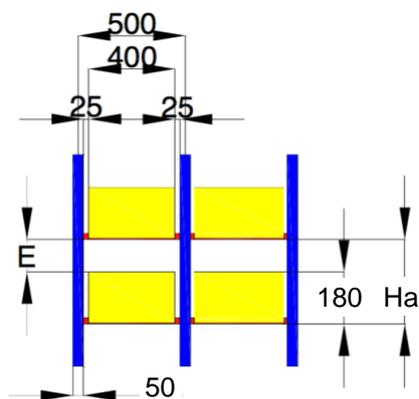


Figura 3-Diseño (en mm) de la longitud de las estanterías de un módulo del almacén

Fuente: (Garcia & Treviño, 2016)

Con la ayuda de las dos imágenes y de la siguiente ecuación se procede a dimensionar los módulos de las cajas.

$$H_a^* = 180 + E$$

$H_a$ : Altura entre niveles (mm)

\*: La distancia entre niveles siempre ha de ser múltiplo de 50mm

$E$ : Altura de la carga (mm) 120mm

$$H_a^* = 180 + 120 = 300 \text{ mm}$$

Consideramos que la distancia entre niveles tiene que ser múltiplo de 50 mm por razones constructivas. Por esa razón las estanterías de las cajas de 150 mm y 180mm serán iguales.

Para ello, en el área de congelados, se han instalado 3 pasillos con estanterías de doble profundidad con 30 módulos cada una.

En el área de frescos, 10 pasillos con estanterías de doble profundidad con 24 módulos cada una.

Finalmente, en el área de secos, 6 pasillos con estanterías de doble profundidad con 22 módulos cada una.

Se ha considerado el mismo diseño en cuanto a dimensiones de las estanterías para las cajas de 180mm y 150mm ya que la distancia entre niveles se considera múltiplo de 50mm (tabla 1).

	Tipo de caja (mm)	No. Módulos	Capacidad/ módulos (cajas)	Capacidad/ nivel (cajas)	No. Niveles	Capacidad/ estantería (cajas)	Capacidad/ pasillo (cajas)	No. Pasillos	Altura módulo<=12 m (m)	Longitud pasillo (m)	Capacidad total (cajas)
<b>Congelados</b>	600x400x150 y 180	30	2	60	30	1800	3600	3	9	30	10800
<b>Frescos</b>		24	2	48	35	1680	3360	10	11	24	33600
<b>Secos</b>		22	2	44	40	1760	3520	6	12	22	21120

Tabla 1-Dimensiones del diseño

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Número de ubicaciones que tienen que disponer los transelevadores

Los almacenes automáticos para cajas están formados por uno o varios transelevadores que se desplazan sobre carriles por pasillos con estanterías a ambos lados, realizando las operaciones de ubicación (Imagen 7) y extracción de la carga en las estanterías.



Imagen 7-Ubicaciones a disposición de un transelevador

Fuente: Mecalux.es

Para determinar el número de ubicaciones de los mismos, se parte de los siguientes datos (tabla 2) obtenidos de las entradas y salidas del almacén de cajas del anexo B.1:

Flujos de entradas y salidas según demanda de cliente para determinar ubicaciones							
	Capacidad total (cajas)	Cajas/día	Jornada diaria (horas)	% cajas que salen en hora crítica	Cajas que salen en hora crítica	20% cajas vuelven al sistema	Capacidad miniload (cajas/día)
<b>Congelados</b>	10800	1461	7	56%	818	164	1625
<b>Frescos</b>	33600	4842	7	56%	2691	538	5380
<b>Secos</b>	21120	3031	7	52%	1565	313	3344

Tabla 2-Demanda del cliente para determinar ubicaciones

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1 Congelados

El flujo crítico que tendrá que gestionar el mini load será de 1.461 cajas en la hora más crítica entre entradas y salidas, y de 10.800 cajas el día más crítico según el anexo B.1.

De las 820 cajas de salida de la hora más crítica un 20% de éstas, es decir 164 cajas, volverán a entrar al sistema por lo tanto el flujo de cajas del mini load en la hora más crítica será de 1.625 cajas.

#### 4.4.2 Frescos

El flujo crítico que tendrá que gestionar el mini load será de 4.842 cajas en la hora más crítica entre entradas y salidas y de 33.600 cajas el día más crítico según el anexo B.1.

De las 2.691 cajas de salida de la hora más crítica un 20% de éstas, es decir 540 cajas volverán a entrar al sistema, por lo tanto, el flujo de cajas del mini load en la hora más crítica será de 5.380 cajas.

#### 4.4.3 Secos

El flujo crítico que tendrá que gestionar el mini load será de 3.031 cajas en la hora más crítica entre entradas y salidas, y de 21.120 cajas el día más crítico.

De las 1.565 cajas de salida de la hora más crítica un 20% de éstas, es decir 310 cajas, volverán a entrar al sistema por lo tanto el flujo de cajas del mini load en la hora más crítica será de 3.344 cajas según el anexo B.1.

#### 4.5 Número de lugares de picking

Las zonas de picking están formadas por elementos que pueden adoptar múltiples configuraciones, adaptándose al tipo de almacén. En el caso del almacén descrito, el miniload será el encargado de llevar hasta el puesto de picking el producto que deberá ser utilizado para preparar el pedido (Imagen 8) y conforme a la demanda estimada del cliente (tabla 3):



Imagen 8-Zona de picking de un almacén

Fuente: Mecalux.es

Datos para calcular zona de	
Demanda estimada de cliente/día (cajas)	% cajas para servir a cliente
320	22%
1800	37%
1060	35%

Tabla 3-Demanda estimada del cliente por día laboral

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.5.1 Congelados

En cada cabecera de picking se pueden preparar 4 cajas a la vez y un operario puede preparar 10 cajas de media a la hora, es decir 40 cajas/hora.

Con los datos anteriores se necesitan 2 cabeceras de picking para poder preparar 320 cajas, considerando que solo el 22% de las cajas que entran al sistema, salen por pedidos de cliente por día laboral.

#### 4.5.2 Frescos

En cada cabecera de picking se pueden preparar 4 cajas a la vez y un operario puede preparar 10 cajas de mediana a la hora, es decir 40 cajas/hora.

Con los datos anteriores nos da que se necesitan 10 cabeceras de picking para poder preparar las 1.800 cajas, considerando que solo el 37% de las cajas que entran al sistema, salen por pedidos de cliente por día laboral.

#### 4.5.3 Secos

En cada cabecera de picking se pueden preparar 4 cajas a la vez y un operario puede preparar 10 cajas de mediana a la hora, es decir 40 cajas/hora.

Con los datos anteriores nos da que se necesitan 6 cabeceras de picking para poder preparar las 1.060 cajas, considerando que solo el 35% de las cajas que entran al sistema, salen por pedidos de cliente por día laboral.

#### 4.6 Normativa de diseño del almacén

Los criterios que siguen actualmente los principales fabricantes europeos de este sector y los laboratorios que ensayan sus productos son los que ha pautado la Federación Europea de la Manutención (FEM) en un conjunto de recomendaciones.

El código FEM 10.2.02: Diseño de Estanterías Paletizadas de Acero Estáticas, el cual ha sido considerado para el diseño del almacén del presente proyecto, supone un impulso cualitativo decisivo en el diseño y análisis de estanterías metálicas, garantizando la seguridad de los almacenes en Europa.

El código FEM 10.2.02 no es, por el momento, de obligado cumplimiento. Sin embargo, está siendo adoptado en muchos países europeos, porque es un garante para la fiabilidad de cualquier sistema de almacenaje de estanterías convencionales para mercancía (Martínez, 2002).

#### 4.7 Medios de manutención

Los medios capaces de operar dentro del almacén son miniloads (transelevadores) bilaterales para la ubicación de las cajas y carretillas para la manipulación de los pallets al recibir y expedir pedidos del cliente.

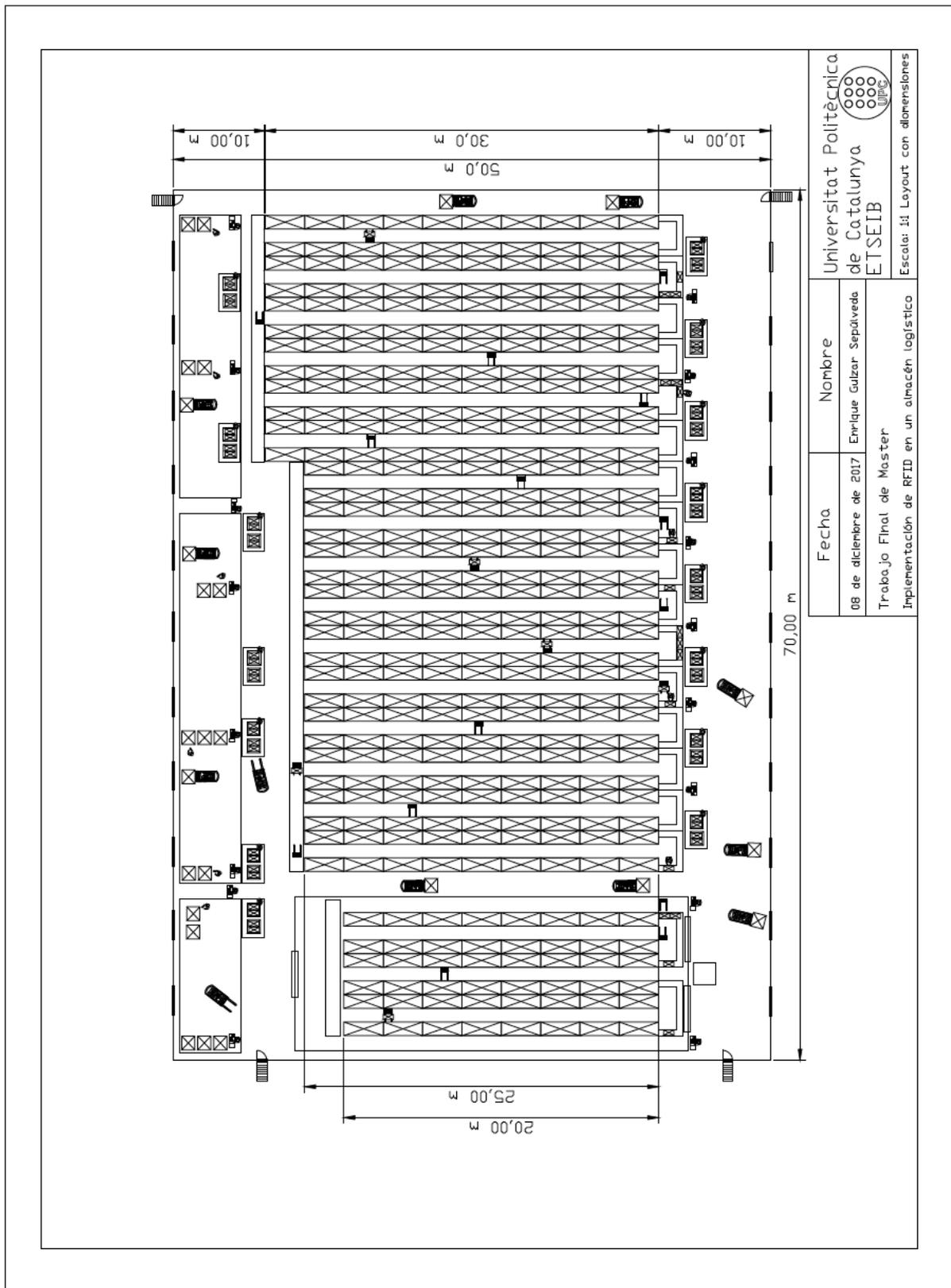
Los transelevadores (imagen 9) son máquinas creadas para el almacenamiento automático de materiales mediante movimientos mecánicos automatizados. Las entradas y salidas del material se ejecutan en un mismo movimiento denominado ciclo combinado, lo cual incrementa la productividad de las instalaciones por lo que disminuye los recursos necesarios para su funcionamiento.



Imagen 9-transelevador (miniload) de cajas

Fuente: mecalux.es

### 4.8 Layout del almacén



## **5. DEFINICIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS: Fases y pasos básicos del proceso productivo dentro del almacén logístico**

El apartado anterior ha permitido censar el conjunto de cajas que hay que almacenar. Ahora es el momento de conocer los traslados necesarios y la manera en que deben de llevarse a cabo para la operación del almacén.

### **5.1 Procesos productivos**

La base de los procesos productivos, según Michael Roux en su libro “Manual de logística para la gestión de almacenes”, puede ser el caso de un almacén de fábrica que deba alojar tanto componentes y materias primas destinadas a la fabricación como productos ya acabados. En el caso de este almacén logístico son productos terminados y que requieren de un almacenaje especial dependiente del tipo de producto que se trate.

En un almacén de productos acabados se pueden encontrar artículos elaborados in situ. Para el caso del almacén dimensionado no aplica. La diferencia es importante, ya que en los flujos internos es posible controlar cierto número de parámetros, como los horarios o la calidad del acondicionamiento colectivo (Roux, 1996).

A continuación, se explican las fases y pasos básicos del proceso productivo, dividido en recepción, ubicación, picking, expedición y logística inversa.

#### **5.1.1 Recepción**

Los flujos entrantes pueden proceder del exterior o tener por origen una unidad de producción ubicada en el local. Es frecuente que se den ambas cosas a la vez.

Las llegadas provenientes del exterior volverán a salir por transporte: en vehículos ligeros, camiones o semirremolques. Las condiciones de llegada deben definirse para cada uno de estos medios de transporte: horarios de llegada, número de entregas, número de artículos, tiempo de estacionamiento admisible, que en el caso de congelados es imprescindible respetarlo, entre otros (Roux, 1996). Es aquí en donde la tecnología RFID brindará una trazabilidad de las cajas en todo momento y se podrán hacer un sin fin de mejoras en los procesos, como variar las frecuencias de entregas, horarios de carga y todo con análisis estadístico.

### 5.1.2 Ubicación

La ubicación será un flujo interno. La colocación en stock, reacondicionamiento en el interior del almacén, traslado de un eventual stock de masa hacia la zona de carga, no formará parte de las necesidades del almacén (Roux, 1996). Al contar con tecnología RFID en el proceso productivo será posible realizar la operación de manera eficiente y sin errores al ubicar las cajas en cualquiera de los almacenes.

### 5.1.3 Picking

Los flujos correspondientes a la preparación de los pedidos son los resultados de los siguientes parámetros:

- Número de pedidos que hay que prepara en una unidad de tiempo
- Número de líneas por pedido
- Número de envases diferentes, guardados en zonas diferentes y por línea
- Número de artículos por zona o línea

Cada pedido podrá necesitar una consolidación si los diferentes productos y los diferentes envases que lo componen están almacenados en lugares alejados unos de otros, y no pueden por tanto ser tratados por un solo operador y/o medio de manipulación.

Cada línea provocará el desplazamiento del operador hacia el artículo o del artículo hacia el operador (Roux, 1996).

### 5.1.4 Expedición

Esta fase de recogida de las necesidades y de los condicionantes deberá de definir horarios de salida debido a los horarios de los transportes. Estos condicionantes se añadirán a los parámetros mencionados en el proceso de picking (Roux, 1996).

### 5.1.5 Logística inversa

En la actualidad es más usual ver como se recuperan los productos o materiales de los clientes, ya sea para recuperar valor o como servicios de postventa. Según los motivos que origina el flujo, pueden ser económicos, es decir que buscan recuperar el valor económico de los productos, ya que se pueden utilizar como materia prima. De marketing ya que la recuperación de productos permite a las empresas mejorar su imagen y presentarse ante a sociedad como empresa comprometida con el medio ambiente (Rubio, 2003).

Al ser un almacén de productos terminados y en este caso perecederos, la logística inversa puede ser de dos tipos, logística para la recuperación y logística de devoluciones. Al ser un almacén, las devoluciones se harán directamente al mismo, pero su destino final será directamente al proveedor del producto.

En la figura 4 se muestra un posible flujo de proceso de logística para la recuperación y logística de devoluciones, en donde la reutilización y devolución forman parte de este proceso para el almacén logístico.

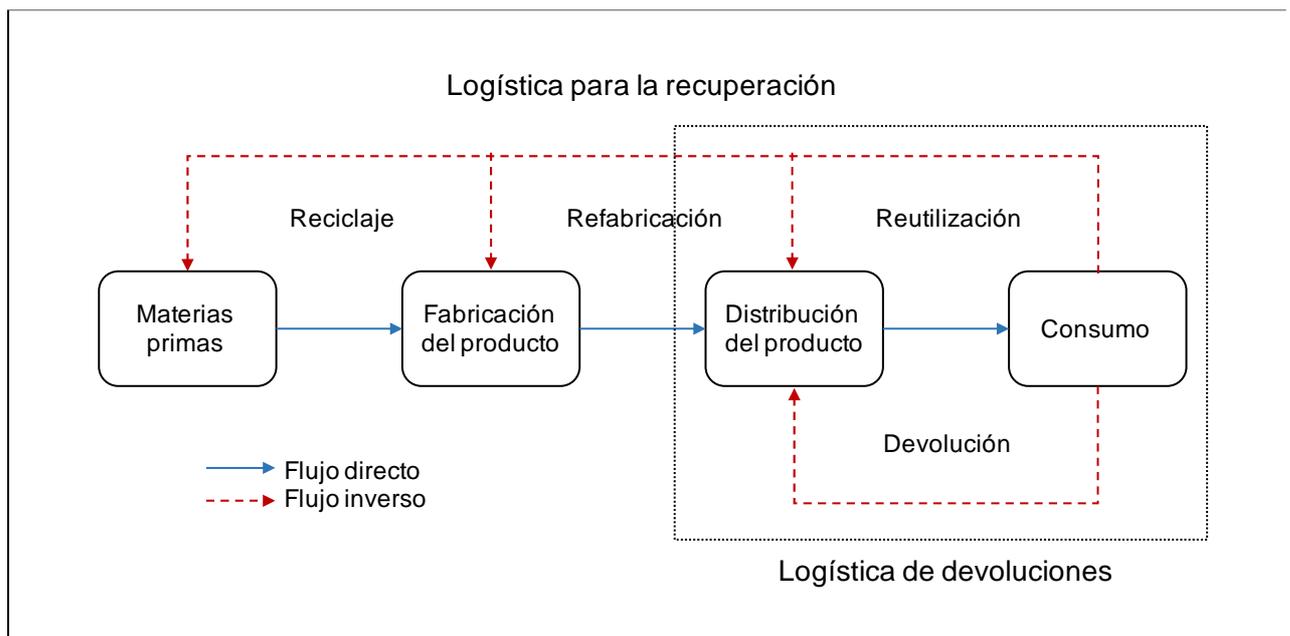


Figura 4-Recuperación y logística de devoluciones

Fuente: (Rubio, 2003)

### 5.1.6 Cuarentena

La zona de cuarentena no afectará a todos los depósitos. Los almacenes que deben de tratar este tipo de problema tienen dos soluciones posibles: la cuarentena física y la informática (Rubio, 2003) la cual será gestionada a través del WMS teniendo la trazabilidad del producto gracias a la tecnología RFID. En todos los casos se trata de impedir que por descuido se pueda acceder a los productos afectados por cuestiones de calidad u otras razones que puedan surgir dentro del movimiento de productos dentro del almacén.

## 5.2 Diagramas de flujo del proceso

La mercancía recibida en el almacén logístico será procesada para su almacenaje y posteriormente su expedición. Si bien la tecnología RFID tendrá un papel muy importante al hacer el proceso óptimo y eficiente para lograr un flujo físico e informático en todo momento de las cajas manipuladas.

Los traslados necesarios y la manera que deben de llevarse a cabo, es decir el flujo físico serán las necesidades requeridas por el o los clientes. En el caso del almacén logístico analizado, se reduce a un cliente.

A continuación, en la figura 5, se definen los flujos físicos de un almacén según Michel Roux.

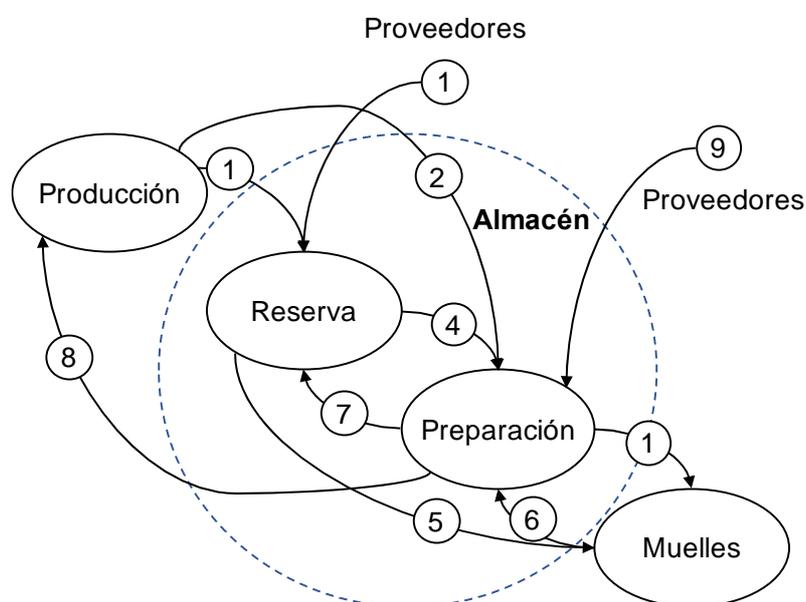


Figura 5-Flujos físicos de un almacén logístico

Fuente: (Roux, 1996)

1. Entrada en reserva
2. Entrada directa en zona de preparación
3. Envío de paquetes e interrupciones
4. Reabastecimiento zona preparación
5. Envío de los pallets completos
6. Vuelta de los artículos en litigio
7. Entrada de artículos en litigio en almacén
8. Vuelta de artículos en litigio para análisis

## 9. Llegada de los artículos para acondicionamiento

En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo del proceso general, relacionando las fases del mismo entre sí.

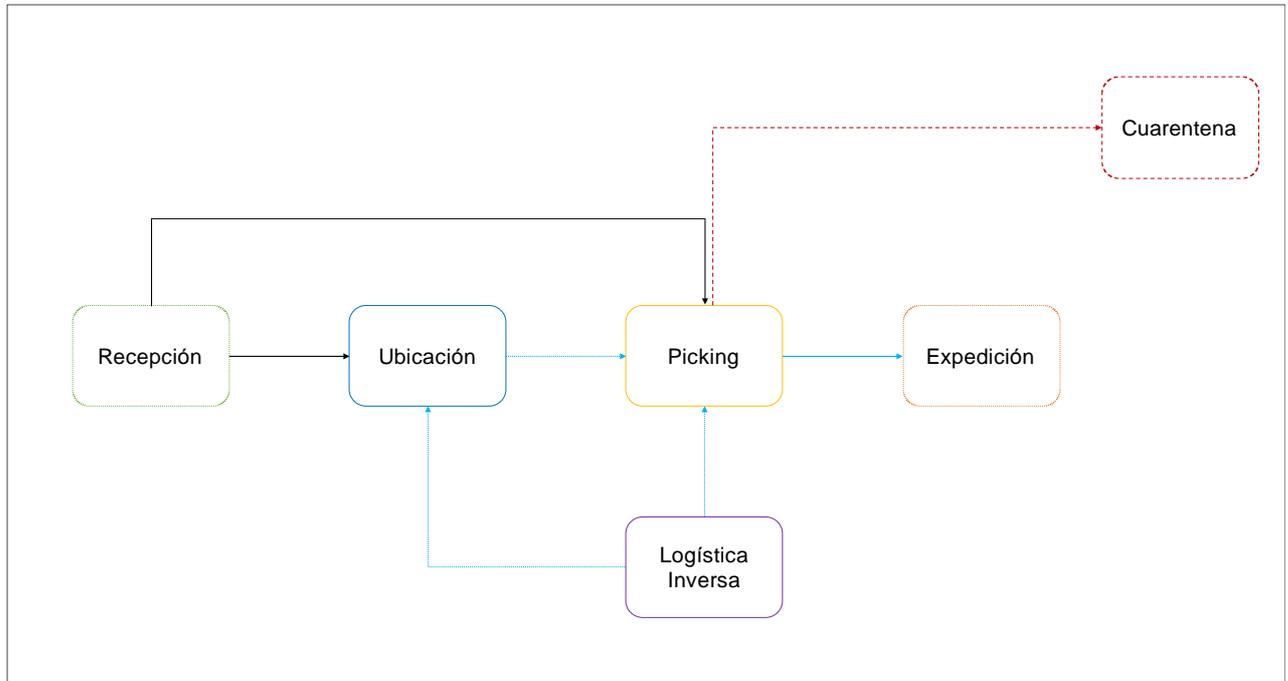


Figura 6-Diagrama general del flujo del proceso en el almacén logístico

*Fuente: Elaboración propia*

La mercancía es recibida para posteriormente ser ubicada en las estanterías. Al pasar por recepción comenzará la entrada al sistema RFID y por lo tanto su trazabilidad será posible desde ese momento. Una vez en las playas de recepción será destinada una ubicación a través del sistema (WMS) dependiendo del destino de la caja dentro del almacén. Para esto es importante saber tipo de producto y fecha de caducidad, ya que ésta última será uno de los factores más importantes para determinar su ubicación. Si bien para fines de picking y gracias a la etiqueta RFID será posible tener un mejor control para las fechas de vencimiento de los productos.

Es posible recepcionar directamente en el área de picking cuando sea necesario servir pedidos urgentes solicitados por el cliente. A partir de este momento la logística inversa entra en el proceso. En el apartado 5.1.5, en la figura 4, se muestra el diagrama de flujo de la logística para la recuperación y de devoluciones. Si bien los productos que serán

gestionados en el almacén logísticos son alimentos, únicamente la devolución será el único flujo inverso dentro del proceso. Por lo que dentro del proceso se generará un ciclo entre la logística inversa, ubicación y picking.

Finalmente, una vez recibidos los pedidos por parte del cliente, se realizará el picking de las cajas solicitadas para preparar los pedidos y posteriormente enviarlos al cliente. Si a un producto se le presenta una incidencia por calidad, problemas sanitarios u otro, será enviado a cuarentena haciendo picking de las cajas reportadas.

### **5.2.1 Diagrama de flujo: recepción, ubicación, picking y expedición**

Los procesos productivos serán divididos en dos fases, siendo la recepción y ubicación la primera fase que será denominada como entradas (diagrama 1) y posteriormente el picking para proceder a expedir los pedidos que será definida como salidas (diagrama 2).

Con el diseño de los diagramas de flujo se tendrá una visión más clara de los procesos y disposición física del almacén, así como la arquitectura del RFID.

#### **Entradas**

- 1.- Una vez conforme a la llegada del camión a uno de los muelles de descarga, se hace entrega del albarán correspondiente al personal de recepción.
- 2.- Una vez recibido el albarán se validará la información con el WMS y se actualizará la base de datos del mismo.
- 3.- En la misma zona de descarga se procederá a la lectura de la mercancía escaneando (a través de antenas para los muelles) las etiquetas RFID de las cajas recibidas de los proveedores, validando la información y dándole entrada al WMS.  
  
Antes de colocar alguna otra etiqueta se llevará a dos zonas paralelas pero diferentes, una para el etiquetado unidad por unidad (en el supuesto de que los productos no vengán previamente etiquetados con RFID) que posteriormente se le dará una ubicación dependiendo del tipo de producto, y otra para pallets con pedidos que serán enviados directamente al área de picking para su posterior expedición, siendo pedidos para crossdocking.
- 4.- En caso de etiquetarse por unidad se procederá al desglose del pallet.

5.- El proceso de etiquetaje será idéntico cualquiera sea el caso. Se imprimirá y colocará la etiqueta RFID.

6.- Se escanea y se verifica cada caja o pallet con el lector manual.

7.- Se reorganizará el pallet una vez consolidado el pedido para su expedición a través del crossdocking, si son cajas no aplica y pasa directo al transporte por carretilla.

8.- Ahora se transportarán las cajas por carretillas, las cuales cuentan con una antena RFID y le brindará información al operador de a dónde llevar la mercancía, en este caso a qué estantería o directamente a crossdocking (para pallets).

9.- Se verificará la etiqueta validando la lectura y contenido de la misma mediante la antena de las carretillas.

En caso de tratarse de crossdocking se transportará directamente mediante carretilla a la zona de preparación de pedidos. El operador de la carretilla tendrá la información en la terminal móvil RFID.

10.- Las cajas que se almacenarán serán enviadas a la zona de ubicación (cabeceras).

11.- La carretilla colocará las cajas en el miniload a través de un PLC que indicará el pasillo y transelevador en donde debe posicionarse la carga para su despacho. Esto complementado con la antena RFID de los transelevador.

12.- Cada ubicación, ya sea en almacenamiento (ubicación) o preparación de pedido para crossdocking, contará con una identificación RFID, que será leída por la antena integrada en la carretilla o transelevador. De esta manera tanto el transporte como la ubicación del pallet será comprobada, evitando el error humano.

Se actualiza la base datos del WMS.

13.- Finalmente el transelevador cumplirá con su ciclo para ubicar el pallet en la posición asignada.

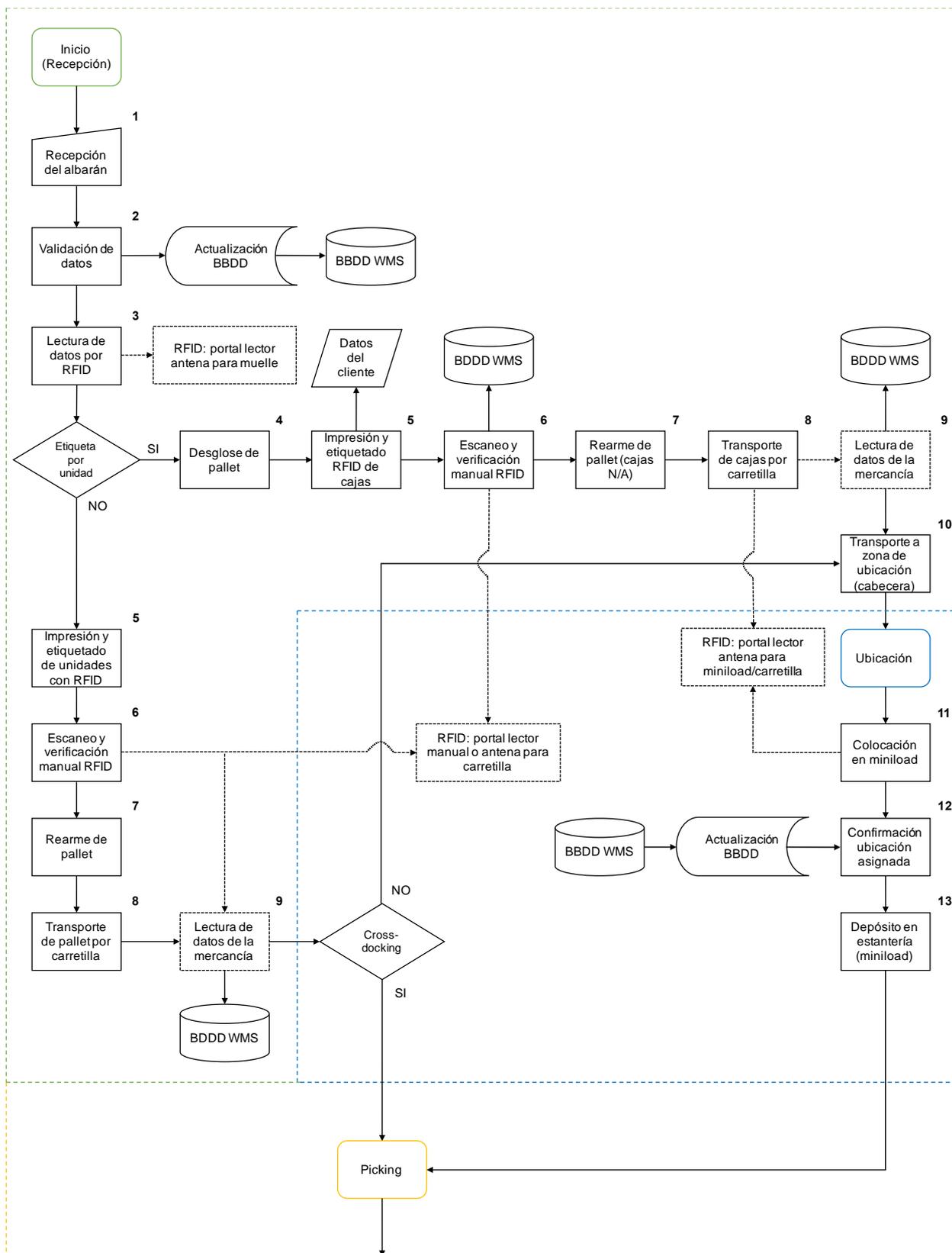


Diagrama 1-Flujo de la recepción y ubicación

Fuente: Elaboración propia

**Salidas**

14.- La orden de pedido se expedirá en la fecha de preparación del mismo. En caso de tratarse de un pallet para crossdocking se transportará al muelle asignado a la espera de ser cargado.

15.- A través del WMS se dará la orden al transelevador las cajas a recolectar y se transportarán a la zona de picking para preparar el nuevo pedido.

16.- Así como en las operaciones de entrada, en los transportadores de rodillos se ubicarán antenas RFID para la validación del pedido con las cajas salientes a la zona de picking.

17.- La carretilla contará con un lector integrado y de esta manera el transporte, y la ubicación a la zona de expedición (muelle) evitará errores humanos.

Se actualiza la base de datos del WMS.

18.- Se llevará a cabo el transporte de las cajas/pallets a la ubicación (muelles) asignada por el WMS.

19.- Se efectuará la carga del camión y a través de antenas RFID para los muelles se generará el albarán de salida electrónico.

Se actualiza la base de datos del WMS.

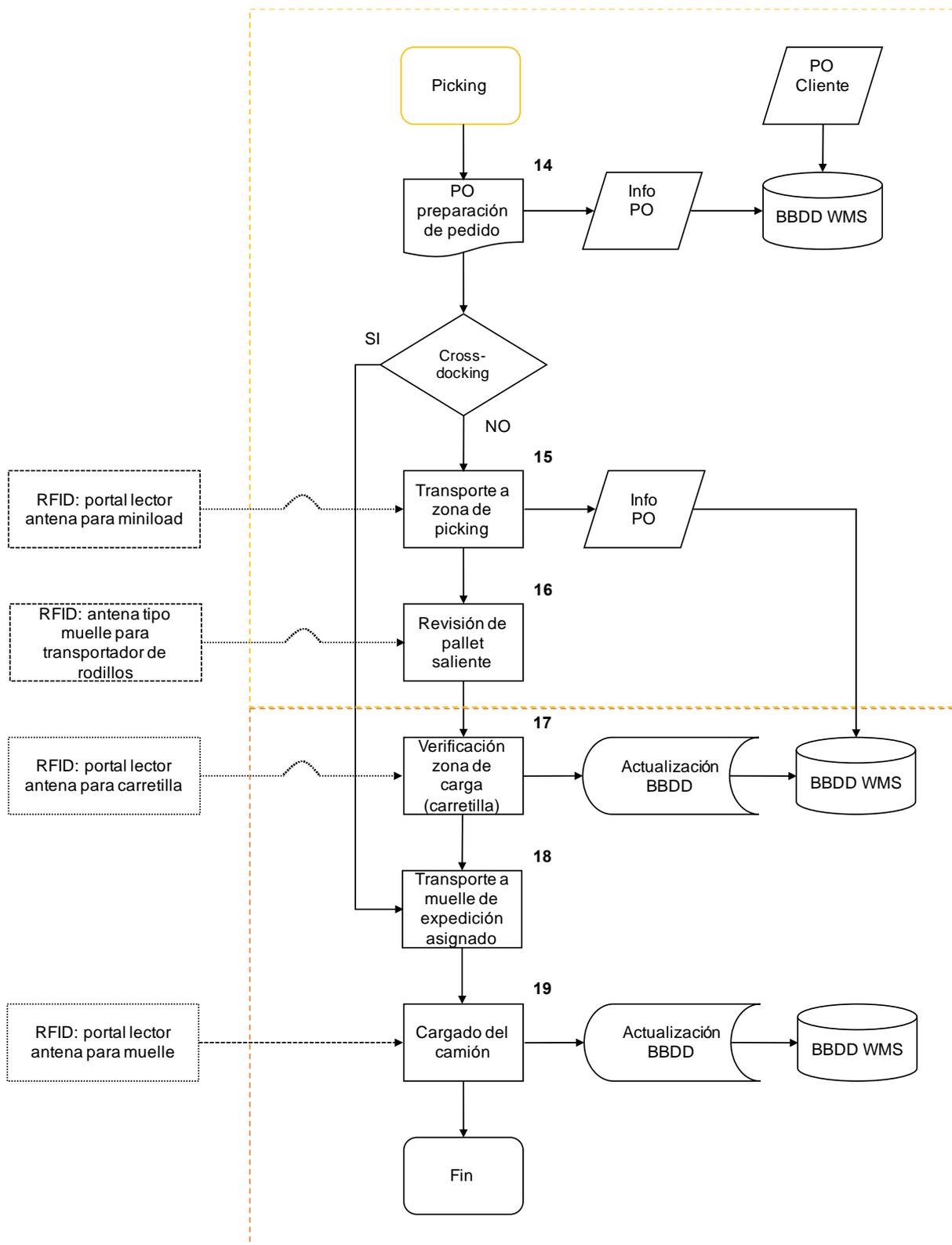


Diagrama 2-Flujo de picking y expedición

Fuente: Elaboración propia

## 6. ESTUDIO DE SISTEMAS RFID Y SU IMPLEMENTACIÓN

### 6.1 Introducción a la tecnología RFID

Las funciones básicas de un almacén pueden ser descritas de la siguiente manera, recibir productos de una fuente, almacenarlos y protegerlos, enviarlos al cliente de acuerdo a sus requerimientos, así como prepararlos para su correcta transportación. Desde que el coste de las pegatinas RFID ha disminuido, la tecnología ha ido gradualmente volviéndose una herramienta estratégica para un almacén, esto para mejorar el nivel de servicio al cliente mientras se mantiene el coste de operación al mínimo.

El RFID es el proceso y la infraestructura física con un único identificador, con un protocolo definido que es transferido desde un dispositivo lector hacia una terminal a través de ondas de radio. Sirve como un sistema que almacena y recupera datos de manera remota usando etiquetas, tarjetas o transpondedores RFID.

La tecnología RFID ha sido desarrollada desde hace 20 años para lograr convertirse en un sistema funcional y fiable. El principio básico no es muy diferente al ya conocido código de barras, codificar un identificador alfanumérico en una etiqueta que permita tener acceso rápido y de manera fiable sin necesidad de la intervención total del ser humano (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007).

Antes de entender y conocer cómo la tecnología RFID puede ser aplicada en un almacén, es necesario entender el objetivo de almacén. En una operación efectiva y eficiente de un almacén se debe minimizar el coste de movimiento de los productos dentro del almacén, maximizar el uso efectivo de espacio, equipo y trabajo, mantener la trazabilidad de todos los productos y responder a las necesidades del cliente de manera eficiente y precisa.

## 6.2 Código de barras-Tecnología RFID

Las atribuciones claves a ser consideradas cuando se compara RFID con el código de barras giran entorno de la capacidad de legibilidad, la rapidez en la lectura, la durabilidad de la etiqueta, la cantidad de información, la flexibilidad de la información, los costes de la tecnología y los estándares (Ortega, 2017).

Una migración hacia RFID involucra un conjunto de consideraciones, siendo una de las principales si el código de barras debe ser complementario o si será reemplazado definitivamente. En el caso del almacén para el que será implementado, será complementario ya que, a la entrada de la mercancía al almacén, ésta tendrá código de barra por unidad que es requerido para el cliente final. Sin embargo, toda la mercancía recibida contará con etiquetas RFID. La sustitución completa del código de barras únicamente puede llevarse a cabo si toda la cadena de suministro utiliza RFID.

## 6.3 Fundamentos de la tecnología RFID

Un sistema de RFID (Figura 7) está constituido por cuatro componentes principales, etiquetas RFID (tags en inglés), lectores o transceptores, antenas y un host central o subsistema de procesamiento de datos (ordenador). Una etiqueta RFID está compuesta por un microchip y pueden ser activas o pasivas. Es decir, las etiquetas pasivas no requieren ninguna fuente de alimentación interna y solo se activan cuando un lector se encuentra dentro del rango de alcance. Las activas requieren de un tipo de alimentación, normalmente una batería muy pequeña. Las más comunes son las pasivas por su bajo coste y éstas cuentan con una antena flexible instalada sobre una superficie plástica. El lector se utiliza para leer y escribir información en la etiqueta. Las etiquetas pueden ser impresas y aplicadas en una caja, pallet o directamente en el producto.

Para obtener una lectura de una etiqueta, los lectores emiten una señal de radio una vez que la etiqueta se encuentra al alcance de un lector, lo que hace que la misma se identifique. Es importante mencionar que las etiquetas pueden leerse a distancia, sin contacto físico directo o alineadas al lector como es con el tradicional código de barras (Stephen, Sanjay, & Williams, 2008).

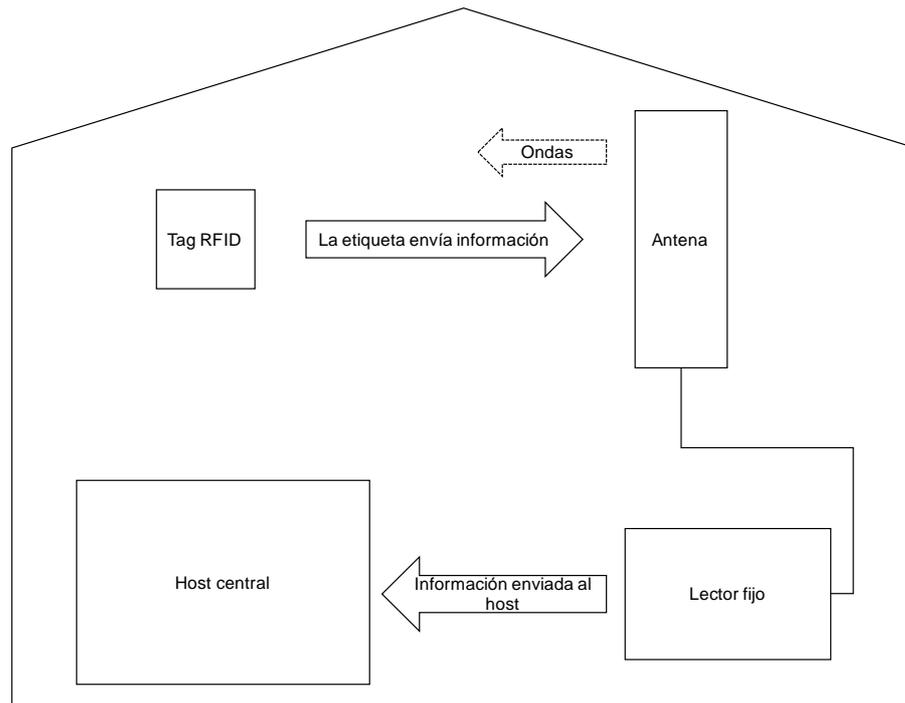


Figura 7-Comunicación entre etiqueta, antena, lector y host

*Fuente: Elaboración propia*

#### 6.4 Beneficios y ventajas del RFID para un almacén logístico

Además de mejorar los procesos, automatizando los procesos manuales, y así reducir el coste de mano de obra, se han encontrado un sin fin de beneficios que tiene implementar esta tecnología en un almacén logístico, las cuales se mencionan a continuación:

- Identificación y localización de artículos en la cadena de suministro más inmediato, automático y preciso.
- Lecturas más rápidas y más precisas (eliminando la necesidad de tener una línea de visión directa al producto a comparación del código de barras) lo que permite aumentar la eficiencia de un almacén en output.
- Trazabilidad fiable de los productos en todo momento.
- Reducción de roturas de productos en inventario lo que permite dar una mejor atención al cliente al conocer el inventario en tiempo real y con margen de error para evitarlo.

- Capacidad de informar al personal de cuándo se deben reponer las estanterías o cuándo un artículo se ha colocado en el sitio equivocado. Esto también aplica en supermercados modernos.
- Ayuda a conocer exactamente qué elementos han sido sustraídos, de ser necesario, dónde localizarlos.
- Mejor utilización de los activos (inventario de activos en general).
- Seguimiento de sus activos reutilizables como embalajes, carretillas, pallets o cajas, de una forma más precisa. Por ejemplo, con las carretillas se pueden analizar las rutas que hacen en el almacén logístico y después optimizarlas para ahorro de combustible y tiempo de desplazamiento.

### **6.5 Retorno de la inversión**

La tecnología RFID permite aumentar la disponibilidad de productos a nivel minorista sin incrementar el nivel de inventarios de seguridad, ayudando a las compañías a optimizar la trazabilidad de sus productos, automatizar el flujo de los procesos y conocer su estado en tiempo real a lo largo de toda la cadena de abastecimiento (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007).

Lo anterior lleva a un incremento en las ventas de productos que se encuentran siempre disponibles, a optimizar el proceso de producción y distribución, y reducir los excesos de inventario en el almacén.

Algunos expertos estiman que el 30% del inventario en la cadena de aprovisionamiento corresponde a stocks de seguridad que existen debido a que la información sobre la demanda y el abastecimiento no es precisa, ni está actualizada en tiempo real (García E. , 2014).

La tecnología RFID puede facilitar la automatización de todos los procesos manuales dentro del almacén. Como resultado de la automatización para el proceso de identificación de los productos, la cantidad de mano de obra puede ser reducida pero no sustituida, sin embargo, un aumento de la productividad, eficiencia y calidad será notorio en primera instancia. Desde que ésta es el mayor gasto de operación en un almacén, su coste se reduce significativamente. Además, la eliminación del error humano después de la automatización, la exactitud de los datos puede ser mejorada, esto reduciría el coste de re-trabajo. El uso de la tecnología puede aumentar la velocidad del proceso de manejo de la mercancía. Al ser reducido el tiempo de proceso, la salida de material mejoraría.

Con la tecnología RFID, más detalle y datos en tiempo real, como la localización de productos o el estado de bienes con movilidad (carretillas, contenedores etc.) puede ser recolectados. Con esta información extraída de datos recolectados e integrándola con el uso de sistemas de información, la planeación de inventarios puede ser mejorada, el uso de equipo de movilidad optimizado, mejor control para la seguridad puede ser implementado y sin duda una alta satisfacción del cliente se puede lograr.

### **6.6 Sistemas RFID: características de acuerdo a las necesidades del almacén logístico**

En la actualidad existen diversos sistemas RFID que operan en distintas frecuencias y cada uno de ellos representa ventajas y desventajas, por lo que es necesario analizar la aplicación para lograr determinar la que mejor se adaptará a las necesidades del almacén logístico.

Los denominados de baja frecuencia o LF (low frequency) de 125 Khz. Su velocidad de comunicación es relativamente baja, lo que lo vuelve deficiente para operar dentro de un almacén.

Por otro lado, existen las de alta frecuencia o HF (high frequency) de 13,5 Mhz, la velocidad con las que se comunican es buena, pero para sistemas que son de baja velocidad ya que su rango de lectura es <1 metro.

Existen sistemas de 2,4 a 5,8 Ghz que usan banda ultra alta frecuencia o UHF (ultra high frequency) las cuales tienen una velocidad de transmisión muy buena y su rango de lectura es <2 metros.

Finalmente, y después de conocer algunas opciones, existen los sistemas de 868-920 MHz, los cuales utilizan UHF, una velocidad de transmisión muy buena y su rango es >10 m. Otra ventaja es su velocidad de lectura, que es >1.100 etiquetas/segundo (Stephen, Sanjay, & Williams, 2008). Además, su coste en el mercado es no mayor a 0,04€/etiqueta (Ortega, 2017). Por lo que será la frecuencia del sistema que se implementará en el presente proyecto.

Es importante mencionar que de acuerdo a la legislación española que se adhiere a los estándares de la Unión Europea, ésta aprobó la tabla nacional de frecuencias en la orden ITC/1791/2006 del 05 de junio de 2005 (BOE número 137, de 9 de junio de 2006, páginas 22051 a 22068) (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007). En esta tabla ocho

frecuencias han sido aprobadas para el uso industrial, científico y médico (bandas ICM), dentro de las cuales se encuentra la que será utilizada (868-920 MHz) para la implementación de la tecnología RFID en el almacén logístico de cajas.

## **6.7 Elementos básicos de un sistema RFID requeridos por un almacén**

El modo de funcionamiento de los sistemas RFID es simple. De cualquier manera, es necesario conocer los elementos básicos y principales que conforman uno.

Se ha mencionado que las etiquetas RFID existen de diferentes tamaños, capacidades y tipologías, así como sus principales características. Ahora se describirán los elementos que conforman el sistema y que forman parte esencial para construir una correcta arquitectura del mismo para la operación dentro de un almacén logístico.

### **6.7.1 Etiquetas RFID**

Uno de los elementos más importantes para la operación óptima de un sistema RFID son las etiquetas que lo conformarán. El protocolo de comunicación entre las antenas y las etiquetas, así como de los lectores permite a los dos primeros elementos enviar y recibir datos. La energía que provee el lector (para etiquetas pasivas) o de una batería activa de la etiqueta (para etiquetas activas) inicia el proceso de comunicación como se explicó en la figura 7. Para entender la importancia de las etiquetas es necesario conocer los tipos disponibles para esta tecnología y las que serán usadas para la implementación en el almacén del proyecto, y las cuales serán explicadas en este apartado.

La mayoría de las etiquetas que se utilizan en la aplicación de sistemas RFID en almacenes logísticos son pasivas, debido a que son más baratas de fabricar y no necesitan batería para su funcionamiento. El mercado global de RFID será comercialmente viable (gráfico 1) con volúmenes >10.000 millones de unidades por año, lo que llevaría el coste de producción a menos de 0,04€/etiqueta según Forrester Research, empresa independiente de investigación de mercados que asesora a sus clientes sobre la última tecnología. Sin embargo, con potencias emergentes como China, estos costes se verán reducidos en los próximos años según un artículo de la misma consultora (Connaughton & Wildeman, 2008).

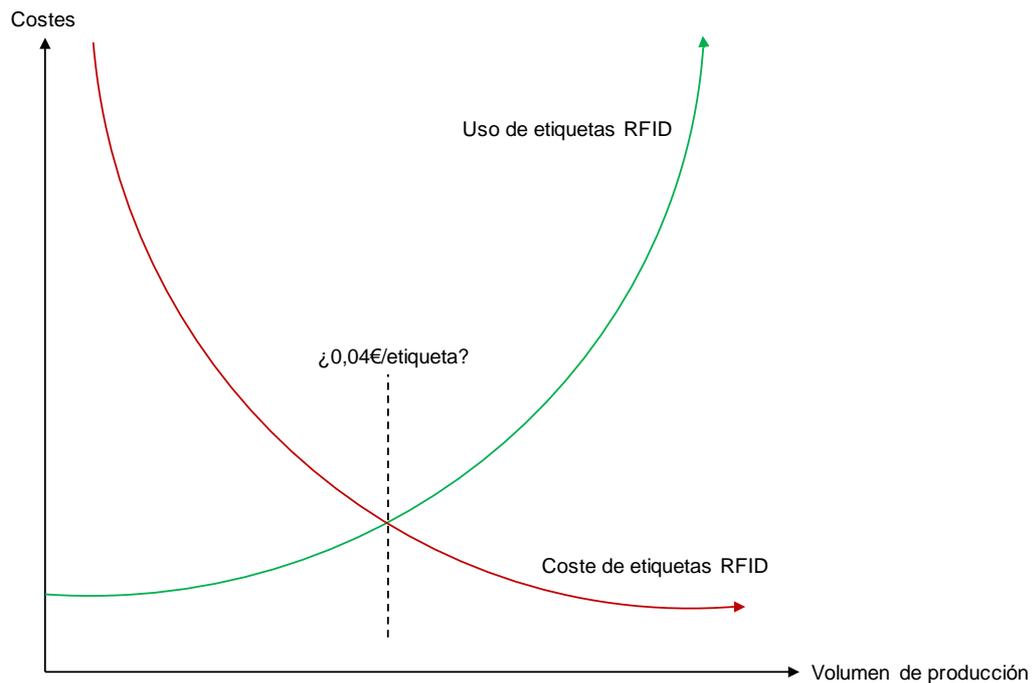


Gráfico 1-Costes reducidos conforme la producción de etiquetas aumenta

*Fuente: Elaboración propia*

Una etiqueta RFID está formada de un chip muy pequeño con una antena incorporada. A pesar de que los chips son pequeños, las antenas no lo son y eso es debido a que necesitan ser lo suficientemente grandes para recibir la señal emitida por los lectores. La antena permite que una etiqueta pueda leerse a una distancia >10 metros, incluso a través de distintos materiales. El tamaño de la antena tiende a determinar el tamaño de una etiqueta RFID ya que ésta va alrededor del microchip, sin embargo, es importante mencionar que existen diferentes tipologías de antenas (imagen 10) para adaptarse a la forma del producto o artículo al que se le va a colocar.

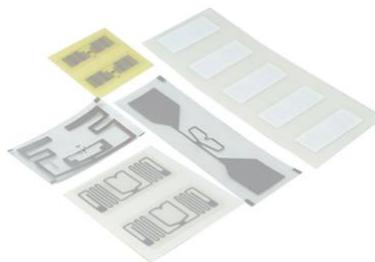


Imagen 10-Tipologías de antenas en etiquetas RFID

*Fuente: FQingeniería.com*

La figura 8 muestra un diseño del circuito inteligente de una etiqueta RFID. Los circuitos de baja potencia manejan la conversión de energía, el control lógico, el almacenamiento, recuperación de datos y la modulación requerida para devolver los datos con la información al lector (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007).

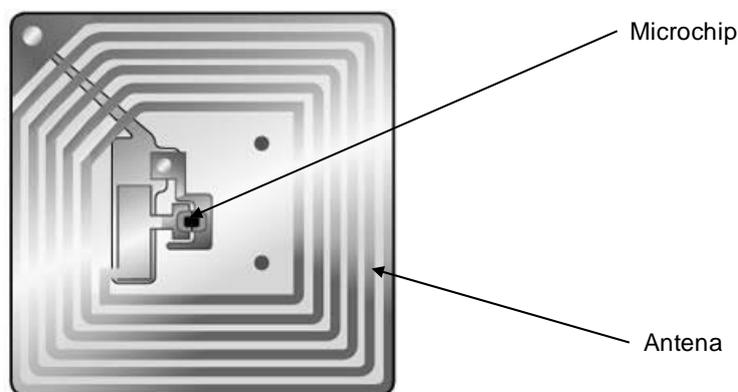


Figura 8-Circuito de una etiqueta RFID

*Fuente: Libro RFID applied*

Las etiquetas pasivas son baratas, es por eso que será la adecuada para la implementación en el almacén logístico debido a que son ideales para alto volumen de cajas.

Este tipo de etiquetas no poseen ningún tipo de alimentación eléctrica. A través de la señal que emiten los lectores/antenas crean una pequeña corriente eléctrica, la cual es suficiente para operar el circuito de la etiqueta de tal manera que puede generar y transmitir información (Stephen, Sanjay, & Williams, 2008).

Las etiquetas activas, a diferencia de las pasivas, poseen su propia fuente de energía, normalmente en forma de batería, la cual utilizan para alimentar sus circuitos y de esta manera enviar su señal. Además, brindan un mayor rango de alcance, lo cual las hace útiles para artículos que tienen que ser identificados y están dentro de un campo magnético de radiación. Sin embargo, esto las hace más costosas y de mayor tamaño, y además la vida de la batería que las compone es limitada (10 años). Dentro de sus ventajas, son mucho más fiables, es decir tienen menos errores de lectura, como se mencionó, funcionan de manera óptima en agua, en metal (dentro de contenedores o vehículos), y finalmente, tienen un mayor alcance para su lectura (>500 metros) y pueden almacenar más información (Stephen, Sanjay, & Williams, 2008).

### 6.7.2 Antena

Este elemento tiene la responsabilidad de transmitir y recibir a través de ondas de radio para propósitos de comunicación. Es también conocida como el mecanismo de “acoplamiento” o “unión”. En electrónica, se refieren a la transferencia de energía.

Son el componente más sensible de un sistema RFID. Estos elementos se encuentran normalmente en localizaciones donde son fáciles de instalarse.

Es importante colocar la antena (imagen 11) en una posición donde la transmisión de energía hacia la etiqueta, como la recepción de los datos sean emitidos de manera óptima. Es por eso que variar la ubicación de la antena del lector es una manera de ajustar el sistema para solucionar problemas, lo que resulta una tarea compleja al momento de llevarla a cabo

Existen 3 características de las antenas que contribuyen a una la lectura de una etiqueta RFID (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007):

- **Patrón:** es el campo de energía 3D que crea una antena. También conocido como el área de lectura.
- **Atenuación:** la señal puede reducirse o atenuarse para limitar el rango de lectura de la etiqueta o para dirigirla a las etiquetas que se requieren leer.
- **Polarización:** es la orientación de la transmisión del campo electromagnético.



Imagen 11-Impinj Speedway xPortal antena RFID y Nordic AR55 antena para carretilla

Fuente: LogisCenter.es

### 6.7.3 Lector

Es responsable de la comunicación (figura 9) con cualquier etiqueta dentro de su rango y después presentar la información en el host central a través de un software para poder hacer uso de los datos. El rango de frecuencia al que opera el sistema es definido por el lector debido a que es la antena del lector la que emite la energía usada por las etiquetas pasivas implementadas.

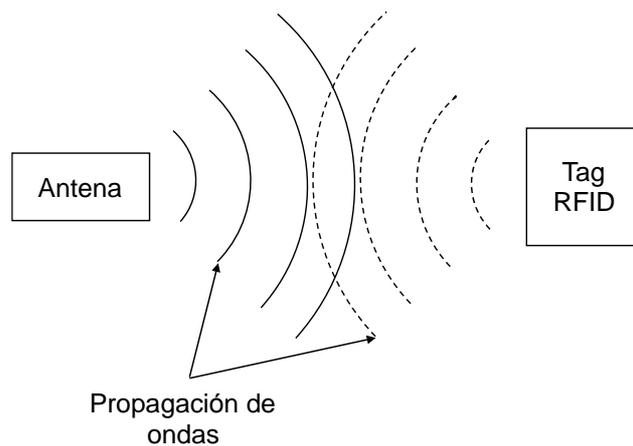


Figura 9-Mecanismo de acoplamiento de campo lejano (UHF)

*Fuente: Libro RFID applied*

En el almacén logístico, uno o más lectores (imagen 12) con un par de antenas serán configurados en los muelles de carga para identificar el paso de etiquetas entre ellos. Este tema será explicado en el punto [7.3](#) del presente proyecto.



Imagen 12-Lector FX9500 Motorola

*Fuente: LogisCenter.es*

#### 6.7.4 Impresoras

Las impresoras especiales para RFID (imagen 13) son utilizadas para crear las etiquetas. La impresora de etiquetas es cargada con un rollo de papel especial. La misma cuenta con un lector creador de etiquetas que determina la información de la siguiente etiqueta que será impresa y posteriormente la imprime con un código unificado. Este tipo de impresoras pueden verificar que la información escrita en ellas sea la correcta una vez impresa la etiqueta. Grabar información en una etiqueta es más parecido a imprimir un código de barras que a leer una etiqueta, a pesar de que ambas acciones son realizadas por un lector RFID.

Avery Dennison Corporation, IBM Corporation, Intermec Corporation, Sato Corp., and Zebra Technologies y Toshiba son algunos de los fabricantes de impresoras RFID. El tipo ideal de impresora que será utilizada para la implementación del proyecto se explicará más adelante en otro apartado.



Imagen 13-Impresora RFID Toshiba SX5

*Fuente: LogisCenter.es*

#### 6.8 Normas y estándares EPC e ISO

El principal objetivo de los organismos de normalización y de los estándares es asegurar la operatividad de los equipos, la facilidad de utilización y la disminución de los costes finales de los equipos de este tipo.

Uno de los efectos de la normalización es también la lucha contra el proteccionismo con el fin de acabar con los llamados sistemas “privados”, las licencias y patentes y conseguir un desarrollo más rápido a nivel mundial de un equipo normalizado (Casado, 2014).

### 6.8.1 Norma ISO

La ISO 18000 (tabla 4) para la identificación sin contacto de los artículos, define los datos esenciales de carácter físicos y el protocolo de comunicación (incluyendo los dispositivos anticolidión) para permitir la conexión y el intercambio de datos entre etiquetas y lectores. El principal factor que se desglosa en esta norma es la frecuencia (Casado, 2014)

Referencia	Asunto
14223, 11784, 11785, 24631	Identificación de animales.
17363 a 17367	Aplicaciones de RFID en cadena de aprovisionamiento.
15961, 15962, 18000	Identificación por radiofrecuencia la gestión de objetos.
10536, 14443, 15693	Cartas de identificación-Cartas y circuitos integrados inalámbricos.
19762, 2473	Técnicas automáticas de identificación y de bases de datos.
24729	Identificación por radiofrecuencia para la gestión de artículos.

Tabla 4-Normas ISO referentes a la radio identificación

Fuente: [www.iso.org](http://www.iso.org)

### 6.8.2 Estándar EPC (Electronic Product Code)

En este proceso de estandarización han participado múltiples entidades y han jugado un papel especial los fundadores del Auto ID-Center en el MIT (Massachusetts Institute of Technology), organismo promovido por GS1 Global junto a más de noventa empresas entre las cuales se cuentan las más importantes compañías a nivel multisectorial y de soluciones tecnológicas (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007).

El estándar EPC consiste en un sistema de codificación secuencial de productos, el Código Electrónico de Producto, una etiqueta RFID estándar y una red para el intercambio de información, la Red EPC. Estos tres elementos son soluciones de trazabilidad y gestión de la cadena de suministro (Supply Chain).

El Código Electrónico de Producto, EPC permite la identificación automática y la trazabilidad de los objetos en tiempo real a través de la cadena de abastecimiento. Su objetivo es crear un estándar global para la identificación de objetos individuales, así como el intercambio de información a la par que dichos objetos transitan por la cadena de abastecimiento.



Imagen 14-Formato de EPC

*Fuente: (Ortega, 2017)*

El formato incluye los datos de la etiqueta EPC en las siguientes secciones (Ortega, 2017):

- **Encabezado:** identifica la versión numérica del código
- **Administrador EPC:** identifica a la empresa que es responsable de mantener la categoría del objeto y número de serie. EPC Global asigna un administrador general a la entidad, asegurando que sea único.
- **Categoría de objeto:** es el tipo exacto de producto, muy similar a un SKU (stock-keeping unit). La categoría de objeto es usada por una entidad de gestión EPC para identificar artículos del mercado (bienes de consumo).
- **Número serial:** representa un único identificador para el producto dentro de cada categoría de objeto. La entidad administradora es responsable por la asignación de números seriales no repetitivos.

Esta norma evoluciona y crece muy rápidamente con el establecimiento en el número de fabricantes y minoristas (Wal-Mart, Carrefour, Procter and Gamble, Coca-Cola, etc).

## 6.9 Limitaciones de la tecnología RFID

Existen un conjunto de limitaciones que hacen que diseñar un sistema RFID no cumpla con las necesidades del almacén con un nivel de eficiencia óptima, sin embargo, se puede adaptar para lograr que así sea.

### 6.9.1 Interferencias de lectores

La lectura de la etiqueta RFID puede ser una de las principales limitaciones. Esto se debe a que varía en función del tipo, dónde se aplica, potencia de lectura o recepción.

Los lectores RFID puede generar interferencia entre si al ser instalados de manera incorrecta. Este tipo de problemas deben ser considerados a la hora de realizar la definición y plan de implementación para asegurar una instalación óptima.

Por lo tanto, la aplicación (software) utilizada deberá de contar con un mecanismo que permita filtrar para detectar y eliminar lecturas duplicadas de etiquetas RFID. Es cuestión de que nuevas tecnologías sean creadas para solucionar este problema.

### **6.9.2 Cantidad de lecturas de etiquetas**

Se calcula que conforme esta tecnología siga siendo desarrollada y más fabricantes emerjan, el número de etiquetas que un lector pueda identificar (>1.100 etiquetas/segundo dependiendo del fabricante) por unidad de tiempo no sea limitado. Para que un lector alcance el número limitante, éste tiene que obtener múltiples respuestas de las etiquetas escaneadas por segundo, por lo que respuestas repetidas por parte de las etiquetas son necesarias para que un lector puede determinar que los datos sean univoca. Mejoras en lectura serán implementadas, pero siempre existirá un número de etiquetas que podrán ser leídas por unidad de tiempo (Connaughton & Wildeman, 2008)..

### **6.9.3 Capacidad de potencia de las ondas emitidas por los lectores/etiquetas**

La energía que transmiten los lectores depende de la potencia del transmisor del mismo, el cual está regulado en varios países del mundo (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007):

- Europa: CEPT (Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones), ETSI (European Telecommunications Standards Institute) y administraciones nacionales.
- EUA: FCC (Comisión Federal de Comunicaciones)
- Canadá: DOC (Departamento de la Comunicación)

Por ejemplo, un lector puede fallar al leer algunas cajas en un pallet si son apiladas con la etiqueta en una posición incorrecta, incluso si estas cajas son de materiales que afectan el uso de la radiofrecuencia, es decir que contengan metales o líquidos.

Esta limitación existirá mientras las comisiones o agencias gubernamentales establezcan regulaciones y/o restricciones en relación a la potencia del lector. En el apartado 6.6 se menciona la regulación que aplica para el caso de España.

## 6.10 RFID en la cadena de suministro

En 2003, la cadena Wal-Mart solicitó a sus 100 principales proveedores que comenzaran a utilizar etiquetas RFID en sus cajas y pallets enviados a Dallas, Texas para 2005. Esto causó en otras compañías estadounidenses que adoptaran esta iniciativa. Desde el anuncio, durante ese periodo las compañías han trabajado en entender y utilizar el RFID en su cadena de suministro para cumplir los requerimientos de sus clientes y, más importante, crear valor del negocio para ellos mismos.

La implementación inicial del RFID afectó una pequeña porción de la cadena de suministro, desde el centro de distribución del minorista hasta el almacén de la tienda, y enfocándose únicamente en etiquetar pallets y cajas. Siendo esto una limitante para la cadena de suministro, el retorno de la inversión, entre otros fue un reto. Con investigación y mostrando evidencia, el RFID ha mostrado un positivo y rápido retorno de la inversión: empresas como Gillete, encontró una gran ventaja en esta tecnología al utilizarla como tracking y manejo de promociones; el MIT trabajó en un sistema electrónico de prueba de entrega (ePOD) en el centro de distribución lo que reveló un uso rentable del RFID y finalmente un estudio realizado por la Universidad de Arkansas sugirió que la implementación de la tecnología puede ayudar a reducir las roturas de stock (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007).

El uso de RFID al nivel de productos ofrece la ventaja de una total visibilidad dentro de la tienda, algo que nunca fue posible lograr con el código de barras. La gran expansión de la tecnología a través de la cadena de suministro promete mejorar la trazabilidad del producto en todo momento evitando ineficiencias en el proceso logístico. Parte del éxito de esta tecnología en centros logísticos se debe al uso de datos que proporciona esta información y que es utilizada para aumentar la eficiencia del almacén o proceso en general.

## 7. ESTUDIO DE VIABILIDAD: alcance de su implementación

La tecnología RFID tiene un notable potencial de aplicación, pero está evolucionando por lo que casi nunca está disponible a pequeña escala. Es decir, para pequeñas empresas que están en crecimiento y quieren incrementar la efectividad de sus procesos, ya que implican una inversión y los costes de mantenimiento pueden ser altos. El estudio de viabilidad es, por lo tanto, una condición previa indispensable para el éxito de los proyectos RFID de este tipo (Gidekel, 2010).

### 7.1.1 Determinación del alcance

Este alcance debe de incluir los procesos que utilizarán la tecnología RFID en el almacén logístico. En la definición del alcance los puntos a ser considerados son:

**Organización:** los procesos en los que se integrará el RFID, en el caso del proyecto, son la distribución, sistemas de información, así como en la infraestructura del almacén.

**Productos:** listado de elementos que serán identificados con RFID, en este caso cajas, por capacidad de procesamiento de entradas (tabla 5) al almacén por día considerando 7 horas de jornada laboral.

	Cajas/día
<b>Congelados</b>	1461
<b>Frescos</b>	4842
<b>Secos</b>	3031

Tabla 5-Entrada de cajas al almacén por día laboral

*Fuente: Elaboración propia*

El almacén tiene 3 secciones, congelados, frescos y secos. Las cajas recibidas por parte de los proveedores llegan previamente identificadas con sus respectivas etiquetas RFID por lo que, de acuerdo a la información de llegadas del almacén, éste tiene una capacidad de 9.334 cajas/día, lo que equivale a un 14% de la capacidad total del almacén (tabla 6).

	Capacidad total	Cajas/día
<b>Congelados</b>	10800	1461
<b>Frescos</b>	33600	4842
<b>Secos</b>	21120	3031
	<b>65520</b>	<b>9334</b>

Tabla 6-Capacidad total del almacén

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.1.2 Procesos impactados por la implementación del RFID

Los procesos que impactará el RFID en el almacén son, recepción, ubicación, picking y expedición, los cuales se muestran en el layout en el anexo A.1. Además, será necesario adaptar el WMS al mismo. A continuación, se describen los procesos vinculados con los diagramas de flujo del punto [5.2.1](#).

- **Recepción:** en este proceso las cajas son recibidas de fuentes externas que son los proveedores. Es necesario verificar el albarán (1) del proveedor con el sistema del almacén para transferir la información (2) de la fuente al mismo. El proveedor enviará los productos previamente etiquetados con RFID y posteriormente se escanearán (3) para dar entrada al sistema del almacén (paso 4-10).

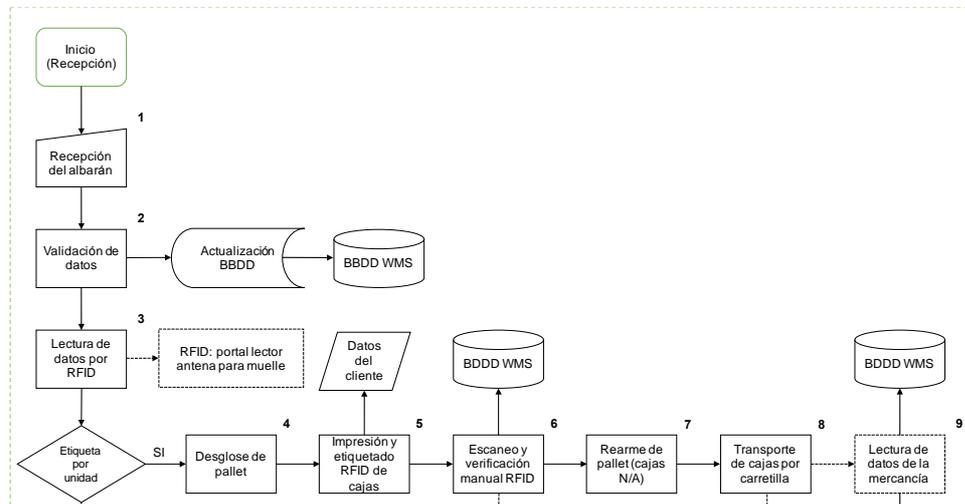


Diagrama 3-Flujo de recepción

Fuente: Elaboración propia

- **Ubicación:** Una vez completado el proceso de recepción, los productos serán movidos a las cabeceras (10) de su respectivo almacén por las carretillas, las cuales cuentan con lectores RFID para asegurarse de colocar las cajas en la cabecera correctamente. Una vez localizado el pasillo se ubicarán a través de los transelevadores (11) los cuales cuentan con un lector para comprobar (12) la ubicación con la que se ha programado la etiqueta RFID (conectado a un PLC) y posteriormente se ubicará en las estanterías (13). Al estar la información de la etiqueta RFID integrada con el WMS, las carretillas contarán con puntos de acceso al mismo para determinar la mejor ubicación.

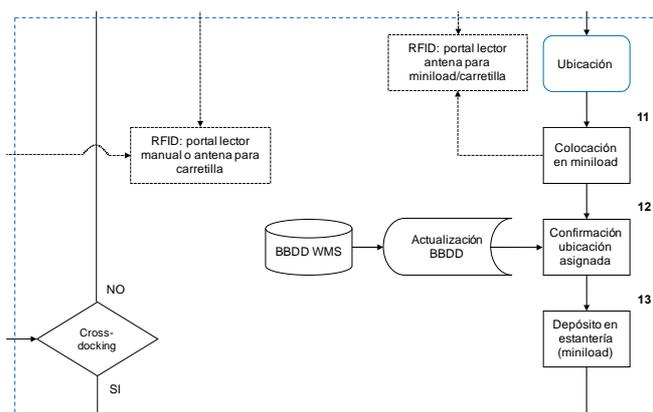


Diagrama 4-Flujo de ubicación

Fuente: Elaboración propia

- Picking:** Al recibir las órdenes de compra del cliente, es difícil enviar un pallet con un solo tipo de producto, por lo que en el área de picking a través del WMS, se emitirá un comando a los transelevadores para servir las cajas en las cabeceras de salida (14). Con un lector instalado en las bandas transportadoras (15) se escaneará las cajas que conformarán el pallet a expedir. Aquí se colocará toda la documentación referente al envío y ésta se obtendrá automáticamente (16) una vez escaneado el pallet con un lector RFID portátil o través del de los muelles.

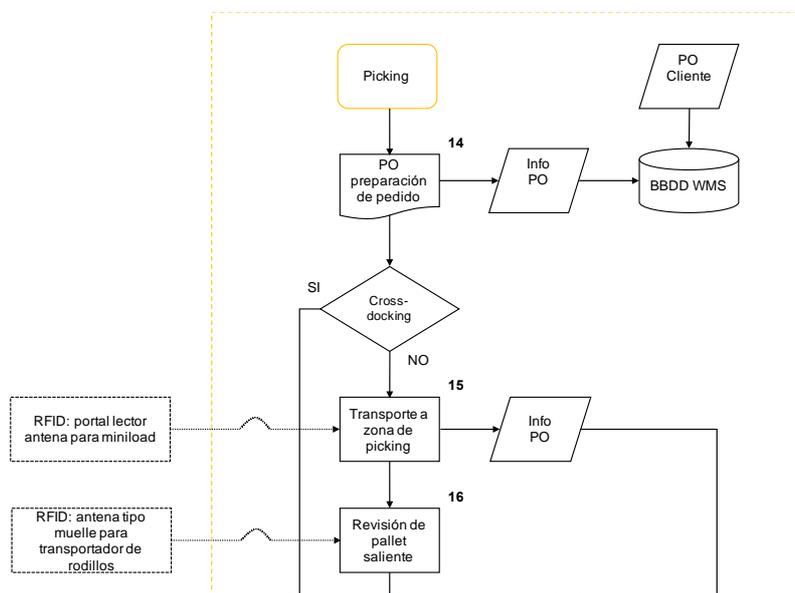


Diagrama 5-Flujo de picking

Fuente: Elaboración propia

- **Expedición:** Una vez terminado el pallet en la zona de pedidos, una carretilla con antena RFID (17), que servirá para validar el pedido y determinar el dock por el cual se embarcará la mercancía, procederá a cogerlo y pasará a través de otras antenas RFID ubicadas en los muelles (18). Estos portales (19) evitarán cometer error en el proceso de expedición.

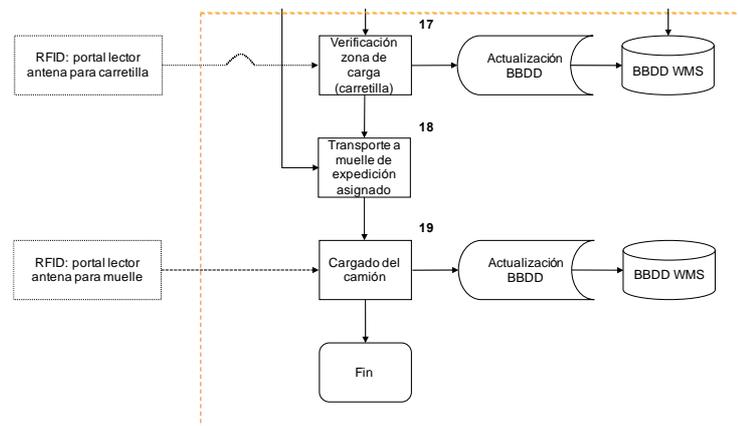


Diagrama 6-Flujo de expedición

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.3 Identificar beneficios estratégicos y económicos

El objetivo es resumir el impacto estratégico y estimar los beneficios cuantificables de la implementación de la tecnología RFID en el almacén logístico.

Para ello se requiere cuantificar los beneficios económicos para los alcances del proceso esperado y determinar los no cuantificables.

Ya que este tipo de beneficios no resultan cuantificables y además de que no se cuenta con la información suficiente, se necesitará justificar por qué son importantes para el almacén (Gidekel, 2010).

#### 7.1.3.1 Proceso cuantitativo y beneficios económicos

Uno de los beneficios principales que se pueden llegar a cuantificar es la eficiencia de la cadena de suministro. Sin embargo, en el presente proyecto solo se mencionan los elementos que se pueden utilizar para cuantificar el beneficio de la implementación del RFID:

Puntos de la cadena de suministro en el que el RFID creará un impacto positivo en la gestión del almacén:

- Mayor precisión en los inventarios
- Carga y descarga de los camiones más rápida y precisa
- Preparaciones de pedido más rápidas
- Localización y trazabilidad de los productos dentro y fuera del almacén, lo que facilitará la logística inversa

Al calcular los beneficios (tabla 7) del RFID los costes de las etiquetas reducirán conforme haya más competencia entre proveedores de esta tecnología. Dependiendo del coste variables y fijos del almacén, así como sus altos ingresos, es muy probable que el retorno de la inversión sea positivo en un periodo de tiempo no mayor a 1 año.

Capacidad de escaneo del sistema RFID						
Cajas/día (aleatorio 10000-32500)	Capacidad RFID	Etiquetas/Seg	Seg/jornada laboral	Capacidad et/seg RFID	Total de uso de capacidad del sistema RFID	Operadores/cabecera
13467	1100	12	25200	308517	21%	2
26842	1100	24	25200	614926	11%	10
22665	1100	21	25200	519235	13%	6

Tabla 7-Capacidad de lectura del RFID

Fuente: *Elaboración propia*

En cuanto al nivel de impacto, existes 3 beneficios muy importantes en la implementación del RFID. La generación de ingresos, reducción de riesgos y la reducción de costes (Gidekel, 2010).

Se debe de realizar un análisis de impacto para estimar el coste laboral anual, los tiempos de ciclo, así como el rendimiento esperado del proceso.

### 7.1.3.2 Requerimientos de inversión

En este apartado se estimarán los costes del hardware, software, mano de obra para la instalación, integración y soporte técnico, tomando como referencia al proveedor de tecnología RFID Logis Center de Barcelona. Con los presupuestos obtenidos (tabla 8, 9 y 10) más adelante permitirán justificar la inversión del sistema RFID.

Opción 1						
Zona/tipo de lector	Congelados (unt)	Frescos (unt)	Secos (unt)	Total (unt)	Precio unitario	Total (€)
<b>Muelles</b>						
Antena tipo arco RFID	2	5	4	11	1.346,45 €	14.810,95 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Recepción</b>						
Terminal RFID portátil	1	4	2	7	1.975,30 €	13.827,10 €
Carretillas con antena RFID	1	3	2	6	1.796,59 €	10.779,54 €
Antena RFID	1	3	1	5	1.241,25 €	6.206,25 €
Impresoras RFID	1	3	2	6	2.733,15 €	16.398,90 €
<b>Ubicación</b>						
Miniloads con antena RFID	3	10	6	19	1.796,59 €	34.135,21 €
Antena RFID	6	30	18	54	1.241,25 €	67.027,50 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Picking</b>						
Impresoras RFID	2	4	3	9	2.733,15 €	24.598,35 €
Conveyors antena tipo arco RFID	2	10	6	18	1.346,45 €	24.236,10 €
Preparación de pedidos						
Terminal RFID portátil	1	5	3	9	1.975,30 €	17.777,70 €
Antena RFID	1	2	1	4	1.241,25 €	4.965,00 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	1	4	1.365,39 €	5.461,56 €
<b>Expedición</b>						
Carretillas con antena RFID	1	4	3	8	1.796,59 €	14.372,72 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Muelles</b>						
Antena tipo arco RFID	2	5	4	11	1.346,45 €	14.810,95 €
Software (licencias)						8.749,76 €
Instalación						100.790,00 €
Soporte técnico						1.000,00 €
<b>TOTAL</b>						<b>400.428,44 €</b>

Tabla 8-Presupuesto 1-Implementación RFID

Fuente: Elaboración propia con información de logiscenter.es

En la tabla 7, se ha presupuestado un sistema RFID robusto, con equipo de última generación y considerando una infraestructura completa instalando equipo suficiente para reducir el error humano en el escaneo de cajas al recibir, ubicar, preparar y expedir un pedido de cliente, es decir abarcando en su totalidad los procesos dentro del almacén. La inversión total es de 400.428,44€.

Opción 2						
Zona/tipo de lector	Congelados (unt)	Frescos (unt)	Secos (unt)	Total (unt)	Precio unitario	Total (€)
<b>Muelles</b>						
Antena tipo arco RFID	1	2	2	5	1.346,45 €	6.732,25 €
Lector RFID para 8 antenas	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Recepción</b>						
Terminal RFID portátil	1	4	2	7	1.975,30 €	13.827,10 €
Antena RFID	1	3	1	5	1.241,25 €	6.206,25 €
Impresoras RFID	1	3	2	6	2.733,15 €	16.398,90 €
<b>Ubicación</b>						
Miniloads con antena RFID	3	10	6	19	1.796,59 €	34.135,21 €
Antena RFID	6	30	18	54	1.241,25 €	67.027,50 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Picking</b>						
Impresoras RFID	2	4	3	9	2.733,15 €	24.598,35 €
Preparación de pedidos						
Terminal RFID portátil	1	5	3	9	1.975,30 €	17.777,70 €
Antena RFID	1	2	1	4	1.241,25 €	4.965,00 €
Lector para 6 antenas RFID	1	2	1	4	1.682,70 €	6.730,80 €
<b>Expedición</b>						
Carretillas con antena RFID	1	4	3	8	1.796,59 €	14.372,72 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Muelles</b>						
Antena tipo arco RFID	2	5	4	11	1.346,45 €	14.810,95 €
Software (licencias)						8.749,76 €
Instalación						100.790,00 €
Soporte técnico						1.000,00 €
<b>TOTAL</b>						<b>358.603,34 €</b>

Tabla 9-Presupuesto 2: implementación RFID

Fuente: Elaboración propia con información de logiscenter.es

En la tabla 8, se ha presupuestado un sistema RFID nivel medio, con equipo de última generación y considerando una infraestructura media instalando equipo suficiente para el escaneo de cajas al recibir, ubicar y expedir un pedido de cliente, es decir un 75% de los procesos del almacén. La inversión total es de 358.503,34€.

Opción 3						
Zona/tipo de lector	Congelados (unt)	Frescos (unt)	Secos (unt)	Total (unt)	Precio unitario	Total (€)
<b>Muelles</b>						
Antena tipo arco RFID	1	2	2	5	1.346,45 €	6.732,25 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Recepción</b>						
Terminal RFID portátil	1	4	2	7	1.975,30 €	13.827,10 €
Antena RFID	1	3	1	5	1.241,25 €	6.206,25 €
Impresoras RFID	1	3	2	6	2.733,15 €	16.398,90 €
<b>Ubicación</b>						
Miniloads con antena RFID	3	10	6	19	1.796,59 €	34.135,21 €
Antena RFID	6	30	18	54	1.241,25 €	67.027,50 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Picking</b>						
Impresoras RFID	2	4	3	9	2.733,15 €	24.598,35 €
Preparación de pedidos						
Terminal RFID portátil	1	5	3	9	1.975,30 €	17.777,70 €
Antena RFID	1	2	1	4	1.241,25 €	4.965,00 €
<b>Expedición</b>						
Antena RFID	1	2	2	5	1.241,25 €	6.206,25 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Muelles</b>						
Antena tipo arco RFID	2	5	4	11	1.346,45 €	14.810,95 €
Software (licencias)						8.749,76 €
Instalación						100.790,00 €
Soporte técnico						500,00 €
<b>TOTAL</b>						<b>343.206,07 €</b>

Tabla 10-Presupuesto 3: implementación RFID

Fuente: Elaboración propia con información de logiscenter.es

En la tabla 9, se ha presupuestado un sistema RFID básico, con equipo de última generación y considerando una infraestructura básica instalando equipo suficiente para el escaneo de cajas al recibir y expedir un pedido de cliente, es decir el 50% de los procesos del almacén. La inversión total es de 343.206,07€.

#### 7.1.4 Momento adecuado para la implementación de un sistema RFID

Se deben de considerar 3 razones de cuándo implementar el sistema RFID; en el caso del almacén logístico, estos criterios no han sido considerados, sin embargo, es importante conocerlos cuando se trata de proyectos con inversiones de este tipo (Gidekel, 2010) :

- En la mayoría de los casos, se debe a exigencias de los clientes, como es el caso de Wal-Mart, que exige a sus principales proveedores que los productos estén debidamente identificados con etiquetas RFID. Este tipo de requerimientos por

parte de clientes de este tipo, crean la necesidad de dar una fecha límite para la implementación de la tecnología.

- Cuando en realidad no existe una exigencia de un cliente, sin embargo, la implementación de la tecnología traerá beneficios económicos al almacén, como es el caso del almacén logístico para el cual se implementará un sistema RFID.
- El análisis del retorno de la inversión es positivo en un periodo corto de tiempo. Es decir, es un proyecto viable para su implementación.

## **7.2 Etapas para su implementación**

### **7.2.1 Primera etapa: laboratorio para realizar pruebas**

Antes de implementar un sistema RFID completo en el almacén, es necesario crear un centro de pruebas o test, dentro del almacén logístico o bien contratar un servicio que integre este tipo de sistemas, que si bien puede ser el proveedor contratado para la implementación. Este tipo de pruebas debe de ser realizado en un área de embalaje simulada ya que el tipo de productos y sus embalajes tiene un grado de sensibilidad respecto a las ondas de radio frecuencia, es por eso que se determinará un estándar para la aplicación de la etiqueta RFID (Gidekel, 2010).

Para esta prueba es necesario ser asistido por expertos en análisis de frecuencias de radio y simular las pruebas con un producto “genérico”, es decir en donde la ubicación de la etiqueta no resulte un factor crítico y la señal de lectura pueda ser percibida por las cajas con etiquetas RFID y éstas puedan ser leídas sin fin de orientaciones.

El equipo o elementos a ser evaluado incluirá:

- Etiquetas (5.000 cajas)
- Impresora RFID
- Antenas RFID, y lectores portátiles y fijos RFID
- Sistemas de información (WMS)

Con los elementos anteriormente mencionados se podrán hacer pruebas para evaluar rangos de lectura, la velocidad de lectura entre otros. Se determinará la distancia máxima de lectura para el caso de los transelevadores, la cobertura máxima de las antenas instaladas a lo largo del almacén, con en el fin de aumentar y maximizar la precisión y eficiencia del sistema instalado.

### 7.2.2 Ubicación de las etiquetas en las cajas

Desde la configuración de la etiqueta, diseño, ángulo de lectura pueden hacer una diferencia en la efectividad de la lectura. Es por eso que factores como la ubicación del lector, orientación de la caja, contenido de las cajas, diseño de embalaje han sido considerados para determinar la ubicación de la etiqueta (figura 10) en las cajas que entren al almacén logístico.

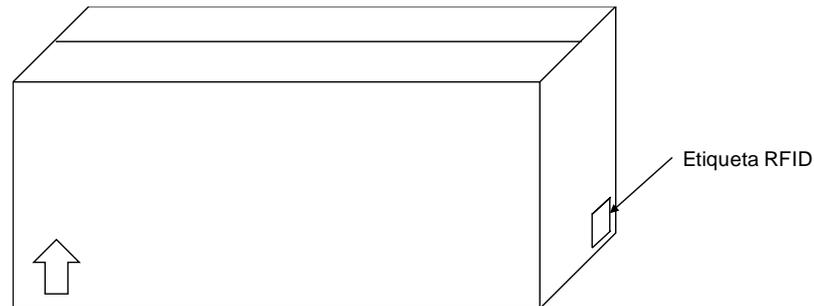


Figura 10-Ubicación de la etiqueta RFID en cajas

*Fuente: Elaboración propia*

### 7.2.3 Segunda etapa: prueba y validación

En esta etapa se requiere seleccionar una línea de productos para utilizarla como área de validación. En este caso se seleccionará el área de secos, ya que es el que tiene una demanda media de cajas/día en comparación de las otras dos áreas.

Después de seleccionada el área para validación, los resultados obtenidos de esta etapa serán la ubicación de la etiqueta (la cual ha sido estandarizada previamente), estrategia de impresión, el diseño de layout en caso de tener que ser modificado, o arquitectura de estaciones de etiquetado y terminales de lectura necesarias, y los requerimientos del WMS para el flujo de datos óptimo.

#### 7.2.3.1 Asegurando la inversión del sistema RFID

Las 2 inversiones más importantes para esta implementación son el equipo y la integración de los sistemas (Ortega, 2017), por lo que es necesario considerar lo siguiente:

- **Etiquetas certificadas:** el coste unitario más importante y representativo es el de las etiquetas. Es necesario seleccionar proveedores que ofrezcan etiquetas certificadas para garantizar la calidad de lectura y no comprometer la fiabilidad del sistema.

- **Respaldo ante incidencias con el sistema RFID:** el código de barras se presta como un sistema de contingencia frente a problemas que puede presentar un problema con el sistema RFID. Es por eso que el uso de herramientas de migración utilizados para cambiar de código de barras a código EPC sean utilizados en el proceso de implementación.

#### **7.2.4 Sistema de integración (WMS)**

Esta fase es muy importante ya que los recursos RFID implementados tienen que ser integrados con los sistemas ERP del almacén. Se debe de considerar que la cantidad de información que se obtendrá será muy grande, por lo que es necesario considerar un almacenamiento de datos, velocidades de redes (ancho de banda, fibra óptica, proveedores de comunicaciones etc.).

#### **7.2.5 Tercera etapa: implementación piloto**

En esta etapa es muy importante documentar toda la información para mejoras de los procesos en un futuro. El objetivo de un piloto es ser preciso en la instalación, para lograr desarrollar un sistema fiable. Es por eso que al documentar todos los procesos será posible estandarizarlos e identificar puntos críticos para realizar un seguimiento en caso de que se generen problemas con el sistema.

Actividades clave para lograr un piloto exitoso:

- Formación del personal para la operación de sistemas RFID
- Contacto cercano con el cliente para realizar envíos prueba

#### **7.2.6 Cuarta etapa: implementación final**

Para la implementación del sistema RFID se ha seleccionado al proveedor Logis Center, ya que cuenta con una cartera de clientes como Amazon, Inditex, Coca-Cola, SEUR, entre otros y además cuenta con proveedores líderes en tecnología RFID como Zebra, Honeywell, Unitech y TOSHIBA.

La implementación se llevaría un total de 3 meses (tabla 11), ésta se muestra en el gráfico 2, con tiempos estimados. fases del proyecto y mano de obra (100.790,00€).

Etapas para implementación del RFID	Fecha de inicio	Duración (días)	Fecha de fin	Tipo	Cantidad	Coste día	Coste total
<b>PRIMERA ETAPA</b>	15/2/18		14/2/18				
Estudio y selección para área de testeo y/o prueba piloto	14/2/18	30	15/3/18	Ingeniero/a	1	250,00 €	7.500,00 €
Creación de centro de testeo	15/3/18	10	24/3/18	Tecnico/a	2	180,00 €	3.600,00 €
Análisis del embalaje a etiquetar	24/3/18	3	26/3/18	Tecnico/a	2	180,00 €	1.080,00 €
Análisis de los procesos afectados	26/3/18	5	30/3/18	Ingeniero/a	1	250,00 €	1.250,00 €
<b>SEGUNDA ETAPA</b>	30/3/18		29/3/18				
Montaje de línea piloto en área de secos	29/3/18	15	12/4/18	Tecnico/a	4	180,00 €	10.800,00 €
Primer prueba con equipo básico RFID	12/4/18	5	16/4/18	Ingeniero/a	1	250,00 €	1.250,00 €
Validación de resultados obtenidos	16/4/18	3	18/4/18	Tecnico/a	4	180,00 €	2.160,00 €
Integración de los sistemas (WMS) con el RFID	18/4/18	5	22/4/18	Tecnico/a	4	180,00 €	3.600,00 €
<b>TERCERA ETAPA</b>	22/4/18		21/4/18				
Implementación de piloto con documentación de procesos	21/4/18	5	25/4/18	Tecnico/a	4	180,00 €	3.600,00 €
Formación de personal	25/4/18	3	27/4/18	Ingeniero/a	1	250,00 €	750,00 €
Pruebal piloto con el cliente	27/4/18	8	4/5/18	Ingeniero/a	1	250,00 €	2.000,00 €
<b>CUARTA ETAPA</b>	4/5/18		3/5/18				
Análisis de resultados de la prueba piloto	3/5/18	3	5/5/18	Ingeniero/a	1	250,00 €	750,00 €
Feedback del cliente para mejorar procesos	5/5/18	2	6/5/18	Ingeniero/a	1	250,00 €	500,00 €
Implementación en todas las áreas del almacén	6/5/18	30	4/6/18	Tecnico/a	8	180,00 €	43.200,00 €
Prueba final de la infraestructura RFID	4/6/18	7	10/6/18	Ingeniero/a	1	250,00 €	1.750,00 €
Recursos propios del almacén							17.000,00 €

Tabla 11-Etapas para la implementación del RFID

Fuente: Elaboración propia

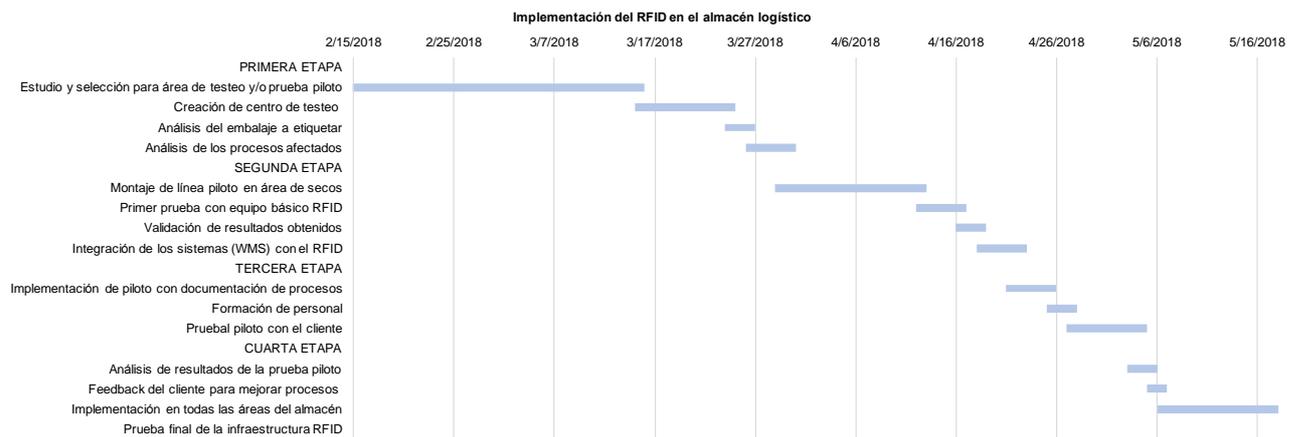


Gráfico 2-GANTT de implementación del proyecto RFID

Fuente: Elaboración propia

### 7.3 Infraestructura RFID en el almacén logístico

La instalación de un sistema RFID dentro del almacén generará oportunidades para automatizar ciertos procesos, reducir costes, el depender del operador en todo momento, y aumentar la fiabilidad y precisión del control de los inventarios.

El equipo con el que contará el almacén logístico, así como sus características principales será descrito en relación a cada una de las operaciones del almacén.

- **Recepción:** en el área de recepción (figura 11) se contará con una antena para muelle por cada y ésta se encargará de energizar las etiquetas RFID de cada caja o pallet, capturando y conciliando automáticamente contra las cantidades del WMS. Faltantes, sustituciones, logística inversa o pérdidas, así como discrepancias en las cantidades de unidades serán identificados en el punto de recepción y comparados con los registros del proveedor.

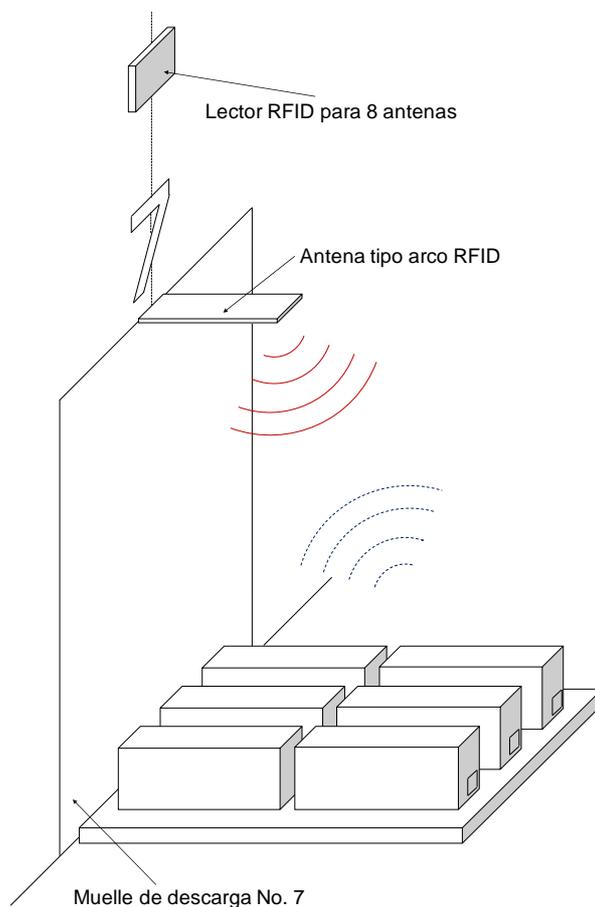


Figura 11-Muelle #7 de recepción de almacén con RFID

Fuente: Elaboración propia

- **Ubicación:** Capturar información a detalle sobre el movimiento de las cajas al momento de recibirlas y colocarlas en el transelevador con la carretilla, ambos elementos del almacén con antenas RFID, para posteriormente asignar una ubicación en las estanterías (figura 12) gracias al WMS. Con esta información será posible mantener el control del inventario (FIFO) de acuerdo a las necesidades. No será necesario conteo visual de cajas y ni la lectura de las posiciones físicas al trazar el producto con las antenas RFID instaladas por cada pasillo del almacén.

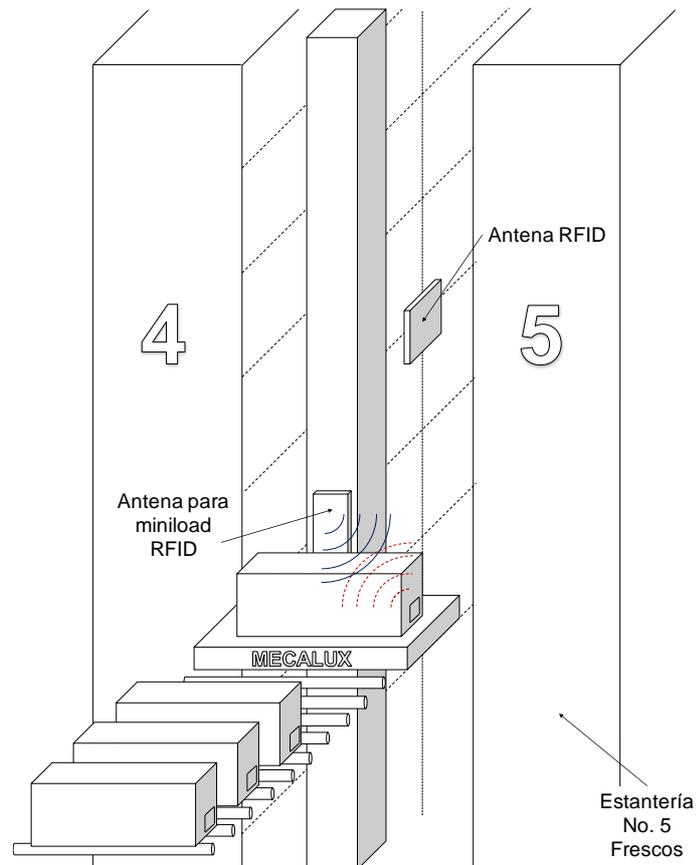


Figura 12-Estanterías 4 y 5 en proceso de ubicación de una caja

Fuente: Elaboración propia

- **Picking:** en las cabeceras de salida de las estanterías se ubicarán las zonas de picking (figura 13). El miniload después de ser dirigido por el ordenador y en función de la orden de compra del cliente, este servirá las cajas al conveyor en el cual una antena tipo arco se encargará de comprobar el pedido e imprimir la etiqueta con la información del mismo. La obtención de datos de la etiqueta RFID que corresponda a productos individuales previamente etiquetados por los proveedores, permitirán que sean rápidamente localizados por un lector portátil de RFID. A través de la información visual desde el dispositivo, el operador será capaz de conseguir cualquier información integrada en el WMS.

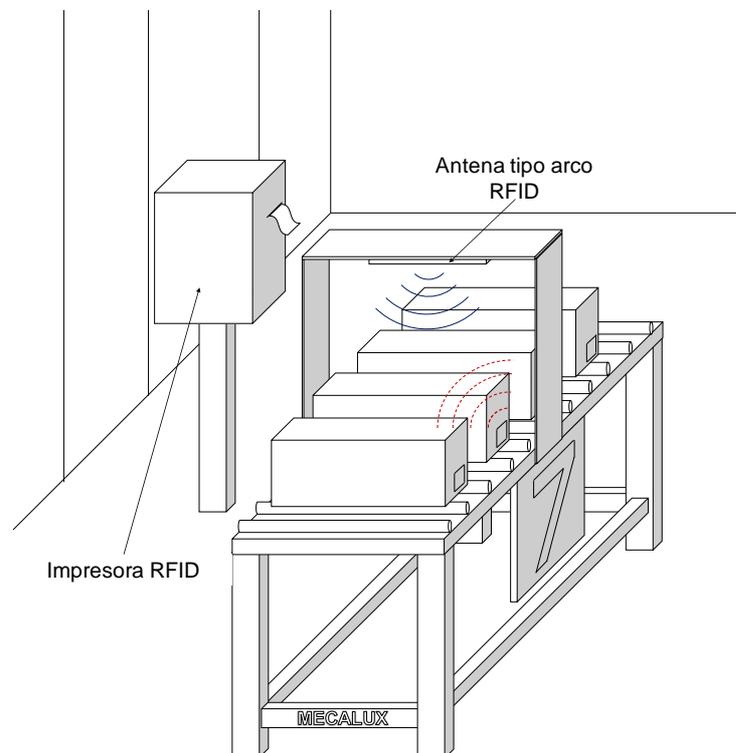


Figura 13-Zona de picking No. 7 del almacén logístico

Fuente: *Elaboración propia*

- **Expedición:** una vez preparado el pedido en el área de picking, se procederá a expeditar (figura 14) los pedidos del cliente utilizando carretillas con antenas RFID que, con una mejor precisión, se encargarán a través de la verificación de la cantidad correcta de producto en movimiento, se carguen en el muelle y camión correcto. Los datos obtenidos a través del WMS en el punto de carga permitirán obtener un registro para posibles auditorías, en caso de que haya discrepancias en alguna parte del proceso se podrá saber en dónde con mayor precisión.

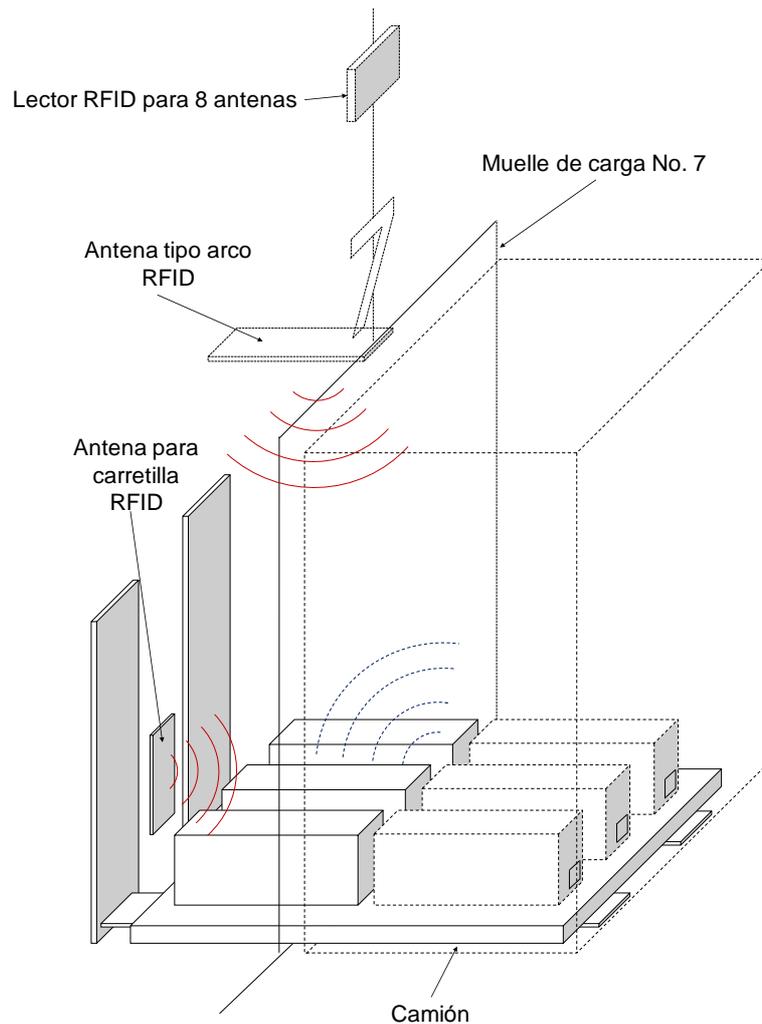


Figura 14-Muelle de carga No. 7 del almacén logístico

Fuente: Elaboración propia

## 7.4 Gestión del almacén logístico con tecnología RFID

Los sistemas de gestión de almacenes logran reducir costes optimizando el flujo de productos, utilizando al máximo los activos y aumentando su precisión para medir su

inventario. Para lograr el objetivo los sistemas RFID deben de ser alimentados por una cantidad masiva de datos obtenida a través de las etiquetas. Adoptando los estándares EPC, es posible identificar cada producto a lo largo de la cadena de suministro (Gidekel, 2010).

A través del WMS será posible controlar todas las cajas que ingresen al almacén logístico; gracias a las etiquetas RFID, la preparación de pedidos, conociendo atributos como fecha de fabricación, origen del producto, fecha de recepción y/o vencimiento, resultará una tarea fácil cumplir con la regla del inventario FIFO.

Al ser posible identificar lotes completos, los productos podrán ser trazables en toda la cadena de suministro. La gestión del almacén hará posible con la información cuando retirar productos vencidos, identificar roturas de stock, así como prevenir deterioros de la mercancía recibida y almacenada.

Con la tecnología RFID, la integración desde la fábrica hasta la distribución, y con el WMS será posible planificar la demanda y gestionar los inventarios con información actualizada en todo momento.

Seguir en todo momento el flujo de entradas y salidas con etiquetas RFID provee mayor capacidad para identificar los productos en cuanto a su ubicación y/o destino final facilitando la recuperación de productos vencidos o con problemas de calidad (productos en cuarentena), lo que hará posible la logística inversa y además se tendrán notificaciones en tiempo real de o de reducción de inventarios de seguridad.

### **7.5 Aspectos claves en la implementación del RFID**

Existen diferentes características críticas que son necesarias tener en cuenta en el momento de la fase de implementación del sistema RFID para lograr una operación óptima del mismo. Estos elementos pudieran parecer no tener importancia, pero son aspectos claves para hacer que el sistema opere con normalidad y pueda dar los resultados esperados al momento de medir la eficiencia en la cadena de suministro dentro del almacén logístico (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007).

### 7.5.1 Embalaje de los productos

El mencionar el embalaje es respecto a la determinación de la ubicación de la etiqueta RFID, la cual se ha estandarizado en el punto [7.2.2](#). El objetivo de este análisis es lograr una legibilidad óptima de la etiqueta en todos los ángulos donde será leída.

### 7.5.2 Características que afectan el rango de lectura de las etiquetas

Esta tecnología se ha ido desarrollado cada con el paso del tiempo y se podría considerar una tecnología relativamente nueva si se compara con el código de barras. Si bien, cada instalación es diferente, algunas características que afectan la lectura de las etiquetas son (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007):

- **Absorción:** materiales que contienen líquidos, absorben las ondas de radio frecuente UHF, las cuales son las que el sistema implementado será capaz de admitir. Lo que esta característica hace es debilitar el campo electromagnético emitido desde un lector a una etiqueta. Una sencilla solución es colocar la etiqueta en la parte donde hay aire en la caja (parte superior de la caja).
- **Zonas de interferencia o punto muerto:** mejor conocida como interferencia, la cual es causada por otros elementos dentro del almacén, como puede ser ordenadores portátiles, móviles personales, sin embargo, éstas son filtradas por la antena y lector, aunque si se hace una mala instalación de estos 2 elementos del sistema RFID, se puede dar el caso de crear un punto muerto.
- **Perdida de sintonía de las antenas:** de las etiquetas RFID; éstas son afectadas por los alrededores. Un ejemplo, el metal de un transportador de rodillos o el metal del transelevador pueden hacer perder la sintonía de una etiqueta e incluso bloquearla. Es por eso la importancia del diseño del embalaje y la ubicación de la etiqueta en el mismo.

### 7.5.3 Ubicación del test

La selección de las ubicaciones de los lectores fijos implica un análisis del entorno físico dentro del área de lectura, así como la evaluación de distintas configuraciones del equipo para su óptimo rendimiento.

Equipo como las antenas necesitan ser limitadas en rango para no crear interferencia con otras.

En el caso del almacén logístico, lectores fijos serán instalados únicamente sobre los muelles de entrada y salida, y las antenas serán limitadas para dar servicio únicamente por área, congelados, frescos y secos, lo que evitará cualquier interferencia de las mismas y además están en función de la capacidad de los lectores fijos.

## **7.6 Evaluación económica: análisis coste beneficio del proyecto**

En este apartado se presenta la relación de los costes teniendo como proveedor del sistema RFID a Logis Center SA, líder en España en tecnología de identificación.

Para determinar distintas opciones a implementar, se han considera 3 presupuestos con el proveedor, siendo la diferencia en porcentaje de eficiencia, además de coste de los equipos debido a la infraestructura.

Se implementará la opción número 1, la más completa y la que permite tener una trazabilidad de los productos en todo el proceso dentro del almacén. Si bien implica una inversión pequeña comparada con los ingresos que podría tener un almacén de estas dimensiones, se ha comparado con información de un supermercado líder en ventas en España, para hacer más visible el proyecto.

Se han considerado en el presupuesto (tabla 12) costes de instalación y soporte técnico (incluye cuota GS1) para estimar el coste total del sistema RFID del almacén.

Opción 1						
Zona/tipo de lector	Congelados (unt)	Frescos (unt)	Secos (unt)	Total (unt)	Precio unitario	Total (€)
<b>Muelles</b>						
Antena tipo arco RFID	2	5	4	11	1.346,45 €	14.810,95 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Recepción</b>						
Terminal RFID portátil	1	4	2	7	1.975,30 €	13.827,10 €
Carretillas con antena RFID	1	3	2	6	1.796,59 €	10.779,54 €
Antena RFID	1	3	1	5	1.241,25 €	6.206,25 €
Impresoras RFID	1	3	2	6	2.733,15 €	16.398,90 €
<b>Ubicación</b>						
Miniloads con antena RFID	3	10	6	19	1.796,59 €	34.135,21 €
Antena RFID	6	30	18	54	1.241,25 €	67.027,50 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Picking</b>						
Impresoras RFID	2	4	3	9	2.733,15 €	24.598,35 €
Conveyors antena tipo arco RFID	2	10	6	18	1.346,45 €	24.236,10 €
Preparación de pedidos						
Terminal RFID portátil	1	5	3	9	1.975,30 €	17.777,70 €
Antena RFID	1	2	1	4	1.241,25 €	4.965,00 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	1	4	1.365,39 €	5.461,56 €
<b>Expedición</b>						
Carretillas con antena RFID	1	4	3	8	1.796,59 €	14.372,72 €
Lector para 8 antenas RFID	1	2	2	5	1.365,39 €	6.826,95 €
<b>Muelles</b>						
Antena tipo arco RFID	2	5	4	11	1.346,45 €	14.810,95 €
Software (licencias)						8.749,76 €
Instalación						100.790,00 €
Soporte técnico						1.000,00 €
<b>TOTAL</b>						<b>400.428,44 €</b>

Tabla 12-Presupuesto elegido para la implementación

Fuente: Elaboración propia

En el cálculo del VPN para justificar el proyecto, se ha considerado el volumen de ventas anuales (tabla 13) de un almacén logístico de la empresa Bon Preu con características similares de dimensionamiento y capacidad ubicado en Barcelona.

Periodo	0	1	2	3	4	5
Ventas	-	5.378.177,72 €	5.872.970,07 €	6.413.283,31 €	7.003.305,38 €	7.647.609,47 €

Tabla 13-Ventas anuales de un almacén logístico de alimentos

Fuente: (Vanguardia, 2017)

Para el cálculo del VPN (tabla 14), se tiene en cuenta el movimiento de fondo una vez estimados los costes fijos y costes variables que la implementación, y uso de la tecnología pueda generar en un periodo de tiempo de evaluación de 5 años.

Concepto/Periodo	0	1	2	3	4	5
Inversión RFID	400.428,44 €	-	-	-	-	-
Costes fijos		4.840.359,95 €	5.285.673,06 €	5.771.954,98 €	6.302.974,84 €	6.882.848,53 €
Costes fijos (mantenimiento RFID)		10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
Costes variables (etiquetas RFID)		306.473,47 €	306.473,47 €	306.473,47 €	306.473,47 €	306.473,47 €
Total de pagos	400.428,44 €	5.156.833,41 €	5.602.146,53 €	6.088.428,45 €	6.619.448,31 €	7.199.321,99 €
Ventas		5.378.177,72 €	5.872.970,07 €	6.413.283,31 €	7.003.305,38 €	7.647.609,47 €
Movimiento de fondo	-400.428,44 €	221.344,31 €	270.823,54 €	324.854,86 €	383.857,07 €	448.287,48 €

Tabla 14-Cálculo del VPN del proyecto

Fuente: Elaboración propia

La tasa de rentabilidad para el cálculo del VPN (tabla 15) se ha estimado en un 20%, ya que, al ser una inversión de alto coste, no implica un impacto significativo en los movimientos de fondo del almacén.

<b>Tasa</b> 20%
<b>VPN</b> 525.364,71 €

Tabla 15-VPN del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Si se observa el flujo de los movimientos de fondo, desde el primer periodo tenemos un saldo positivo y así durante los próximos 4 años. Por lo que se puede deducir que la inversión del sistema RFID para el almacén logístico es completamente viable al recuperar el coste de la inversión al final del primer año.

## 8. Impacto ambiental

El impacto ambiental de cualquier proyecto debe de ser de gran importancia para las empresas hoy en día. Un equipo de investigación del Centro de Innovación y Tecnología de la Universidad Estatal de Sam Houston, en Texas, E.U.A. realizó un estudio que encontró que el uso de la tecnología de identificación por radio frecuencia puede mejorar la sostenibilidad ambiental al proporcionar información más precisa y oportuna sobre las prácticas de gestión de la cadena de suministro verde de una organización (Sower, 2015).

El RFID es una tecnología que se asocia con frecuencia a la mejora de la capacidad de los fabricantes para gestionar los activos, el inventario y la cadena de suministro. En estas áreas, ha ayudado a los fabricantes a reducir los tiempos de ciclo, disminuir los niveles de stock de seguridad y mejorar los tiempos de ciclo (Banks, Hanny, Pachano, & Thompson, 2007). Pero la capacidad de la tecnología para proporcionar información casi en tiempo real también promete ayudar en las prácticas de sostenibilidad ambiental. Entre los beneficios se encuentran una mayor capacidad para contabilizar, reparar y reutilizar los contenedores de envío devueltos a través de la cadena de suministro, por ejemplo.

El consumo energético que genera un sistema RFID de las dimensiones del almacén es mínimo ya que las antenas se encargan de emitir la señal únicamente cuando una etiqueta se encuentra cerca del dispositivo, además que el consumo promedio de energía de los elementos básicos (antena y lector) es igual o menor al de un dispositivo de uso común personal como el móvil. Sin embargo, el poco consumo del sistema se verá compensado por la posible reducción de inventarios, disminución de movimientos de maquinaria para compensar stocks entre otros.

### **8.1 El impacto de las etiquetas RFID en el reciclaje**

Se puede pensar que la tecnología RFID es en realidad un impedimento para la sostenibilidad ambiental, ya que las etiquetas RFID pueden ser una fuente de contaminación que aumenta los costes de reciclaje.

Los materiales reciclables de metal de las etiquetas RFID son cobre, plata y níquel y silicio. De estos, solo el cobre se considera problemático y particularmente en el reciclado de metales no ferrosos a través de la ruta de reciclado de aluminio (Sower, 2015)

Ese estudio también sugirió que el desperdicio creado por las etiquetas RFID presenta problemas durante el proceso de reciclaje. Sin embargo, esta conclusión se basa en algunas suposiciones erróneas. El primero es que las etiquetas RFID contienen un gran volumen de material que no se puede reciclar. Según Chris Diorio, cofundador de Impinj (empresa líder en la fabricación de componentes de RFID), el hecho de que no sea factible extraer etiquetas de material reciclable hace poca diferencia en el proceso al que son sometidos los desechos. Esto se debe al volumen de circuitos integrados presentes en dicho proceso no tiene importancia. La segunda suposición errónea se refiere al uso de cobre en el chip de las etiquetas RFID, ya que muy pocas usan cobre hoy, y el coste del cobre significa que ninguna lo usará cobre dentro de unos años (Sower, 2015).

Finalmente, se puede inferir que, si bien se ha pensado que la tecnología RFID es una amenaza para el medio ambiente, en realidad ha sido todo lo contrario, ya que además de usarse en procesos internos para mejorarlos y hacerlos más eficientes, se puede integrar en procesos que tienen un gran impacto ambiental, como por ejemplo en lavanderías que prestan servicio a grandes hoteles, las cuales colocan etiquetas RFID en la ropa de cama para tener un mejor control en el lavado de las mismas y no hacer uso excesivo de químicos industriales que pueden afectar al medio ambiente.

## 9. Conclusiones

Al definir los procesos logísticos internos del almacén se puede pensar que alguno tiene mayor relevancia que otro, sin embargo, al integrarlos en un proyecto para mejorar la cadena de suministro, se encuentra que todos estos añaden el mismo valor a la operación del almacén, siempre y cuando sean integrados correctamente dentro de un proyecto de mejora, objetivo con el cual se ha cumplido.

En el presente proyecto, dichos procesos se han integrado con una tecnología en común y para ello ha sido necesario conocer ciertas características del almacén, como el dimensionamiento, la capacidad e infraestructura. Partiendo de esos elementos ha sido posible crear un sistema con la tecnología RFID y para ello se ha estudiado la arquitectura que lo conforma, sus elementos más importantes y sus características, regulaciones, y normas para su correcta implementación.

Es por eso que la tecnología RFID se ha considerado para mejorar los procesos actuales del almacén logístico dimensionado, logrando que la trazabilidad de las cajas dentro y fuera del almacén sea visible en su totalidad. Esta solución permitirá proporcionar costes menores, inventarios más rápidos, con información precisa que permitirá el seguimiento en todo momento.

El complementar los procesos de recepción, ubicación, picking y expedición del almacén de cajas con RFID, dará resultados a corto plazo, como la disminución del tiempo para dar entrada al sistema del almacén, lecturas más rápidas y precisas, niveles de inventario más bajos, reducción de roturas de stock, lo que sin duda incrementará la eficiencia de los procesos y la operatividad del almacén.

Dentro de la investigación llevada a cabo, en la actualidad existen grandes almacenes alrededor del mundo, y empresas como Wal-Mart han implementado el RFID y han hecho que sus propios proveedores adopten la misma tecnología para crear procesos eficientes en su distribución, consiguiendo resultados positivos en un corto periodo de tiempo después de la inversión en el sistema.

La investigación de los beneficios que brindará esta tecnología, sus elementos, costes de implementación, alcance dentro del proyecto, así como la evaluación de diferentes componentes que integran el sistema, ha permitido evaluar la viabilidad del proyecto en términos económicos para un almacén con las características descritas, esto se puede observar claramente con los datos obtenidos teniendo un retorno de la inversión positivo a

corto plazo por lo que también se ha cumplido el último de los objetivos del presente proyecto.

Al ser un proyecto completamente viable el siguiente paso sería analizar la viabilidad de instalar RFID a menor escala dentro de los supermercados, de esta manera se logrará tener un mejor control de lo que entra y sale pero esta vez con la interacción del consumidor, lo que sin duda revolucionará

Finalmente, se concluye que la tecnología RFID tiene gran potencial para mejorar el funcionamiento integral de los centros de distribución, ayudando a revolucionar la logística en la totalidad de sus procesos internos, permitiendo un mayor control de la cadena de suministro, y viéndose reflejado en la satisfacción del cliente final.

## 10. Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres por confiar y creer siempre en mí. Esta es una muestra más de lo agradecido que estoy con la vida y con ustedes, una meta más en la vida, personal y profesional finalmente concluida. Sin duda no fue fácil, pero gracias a su apoyo incondicional lo he logrado.

A mi tutor Xavier Garriga Bosch por apoyarme con el trabajo ya que, sin su conocimiento y guía durante el desarrollo de mi TFM, lo hubiera hecho tan bien.

A todos mis compañeros de clase, pero en especial a un compañero de master y amigo que siempre me dijo que siguiera hasta el final con este proyecto, Adrià Garcia Solà.

## 11. Índice de figuras, imágenes, tablas, diagramas y gráficos

Figura 1-Flujo de materiales del almacén logístico (flujo laminar) .....	12
Figura 2-Diseño (en mm) de la profundidad, altura y pasillos de las estanterías del almacén .....	16
Figura 3-Diseño (en mm) de la longitud de las estanterías de un módulo del almacén ...	16
Figura 4-Recuperación y logística de devoluciones .....	25
Figura 5-Flujos físicos de un almacén logístico.....	26
Figura 6-Diagrama general del flujo del proceso en el almacén logístico .....	27
Figura 7-Comunicación entre etiqueta, antena, lector y host.....	35
Figura 8-Circuito de una etiqueta RFID .....	40
Figura 9-Mecanismo de acoplamiento de campo lejano (UHF).....	42
Figura 10-Ubicación de la etiqueta RFID en cajas .....	57
Figura 11-Muelle #7 de recepción de almacén con RFID .....	60
Figura 12-Estanterías 4 y 5 en proceso de ubicación de una caja .....	61
Figura 13-Zona de picking No. 7 del almacén logístico .....	62
Figura 14-Muelle de carga No. 7 del almacén logístico .....	63
Imagen 1-Zona de descarga .....	13
Imagen 2-Zona de etiquetado .....	13
Imagen 3-Zona de ubicación.....	13
Imagen 4-Zona de picking.....	14
Imagen 5-Zona de preparación de pedidos.....	14
Imagen 6-Vista del almacén RFID .....	15
Imagen 7-Ubicaciones a disposición de un transelevador .....	18
Imagen 8-Zona de picking de un almacén.....	19

Imagen 9-transelevador (miniload) de cajas.....	21
Imagen 10-Tipologías de antenas en etiquetas RFID.....	39
Imagen 11-Impinj Speedway xPortal antena RFID y Nordic AR55 antena para carretilla	41
Imagen 12-Lector FX9500 Motorola.....	42
Imagen 13-Impresora RFID Toshiba SX5.....	43
Imagen 14-Formato de EPC.....	45
Tabla 1-Dimensiones del diseño.....	17
Tabla 2-Demanda del cliente para determinar ubicaciones.....	18
Tabla 3-Demanda estimada del cliente por día laboral.....	20
Tabla 4-Normas ISO referentes a la radio identificación.....	44
Tabla 5-Entrada de cajas al almacén por día laboral.....	48
Tabla 6-Capacidad total del almacén.....	48
Tabla 7-Capacidad de lectura del RFID.....	52
Tabla 8-Presupuesto 1-Implementación RFID.....	53
Tabla 9-Presupuesto 2: implementación RFID.....	54
Tabla 10-Presupuesto 3: implementación RFID.....	55
Tabla 11-Etapas para la implementación del RFID.....	59
Tabla 12-Presupuesto elegido para la implementación.....	67
Tabla 13-Ventas anuales de un almacén logístico de alimentos.....	67
Tabla 14-Cálculo del VPN del proyecto.....	68
Tabla 15-VPN del proyecto.....	68
Diagrama 1-Flujo de la recepción y ubicación.....	30

---

Diagrama 2-Flujo de picking y expedición .....	32
Diagrama 3-Flujo de recepción .....	49
Diagrama 4-Flujo de ubicación .....	50
Diagrama 5-Flujo de picking .....	50
Diagrama 6-Flujo de expedición .....	51
Gráfico 1-Costes reducidos conforme la producción de etiquetas aumenta .....	39
Gráfico 2-GANTT de implementación del proyecto RFID .....	59

## 12. Bibliografía

- Banks, J., Hanny, D., Pachano, M., & Thompson, L. (2007). *RFID Applied*. Hoboken, New Jersey, EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Casado, F. (01 de Agosto de 2014). Trazabilidad de productos en un almacén mediante RFID. Madrid, Madrid, España.
- Connaughton, P., & Wildeman, R. (04 de Agosto de 2008). *Forrester*. Obtenido de Forrester Research:  
<https://www.forrester.com/search?tmtxt=rfid&searchOption=0&source=typed>
- España, G. d. (05 de Junio de 2005). *BOE*. Obtenido de Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-10286>
- García, A., & Treviño, A. (02 de Mayo de 2016). Almacenamiento y manutención. *Creación de un almacén logístico*. Barcelona, Catalunya, España.
- García, E. (22 de Septiembre de 2014). *Logisticspm*. Obtenido de Ingeniería Intralogística LPM:  
<https://susolucionlogistica.com/2014/09/22/consultorialogisticaparasiloadomatico-ingenieria-logistica/>
- Gidekel, A. (15 de Enero de 2010). Introducción a la tecnología RFID. Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Martínez, D. (02 de 04 de 2002). *Mecalux España*. Obtenido de Mecalux ESMENA:  
<https://www.mecalux.es/articulos-de-logistica/seguridad-almacenes>
- Ortega, J. (01 de Enero de 2017). *RFID point*. Obtenido de RFID point:  
<http://www.rfidpoint.com/que-es-rfid/rfid-vs-codigo-de-barras/>
- Roux, M. (1996). *Manual de logística para la gestión de almacenes*. Paris: Gestión 2000.
- Rubio, S. (5 de mayo de 2003). *Universidad de Extremadura*. Recuperado el 25 de noviembre de 2017, de UNEX ES: <http://biblioteca.unex.es/tesis/8477236135.PDF>
- Sower, V. (01 de Enero de 2015). *RFID Journal*. Obtenido de RFID:  
<http://www.rfidjournal.com/articles/view?11008/2>

Stephen, M., Sanjay, S., & Williams, J. (2008). *RFID Technology and Applications*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Vanguardia, L. (13 de Marzo de 2017). *La Vanguardia*. Obtenido de La Vanguardia: <http://www.lavanguardia.com/economia/20170313/42857592039/bon-preu-facturacion-2016.html>