

2019
/2020

IDENTAG

Diseño y desarrollo de un sistema de identificación individual de piezas en el proceso de fabricación.

Nº Expte: IMDEEA/2019/73

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

Resumen de resultados obtenidos

Breve descripción.

En el presente documento se describe un resumen de los resultados obtenidos en el proyecto durante la anualidad 2019-2020.

Realizado por:
AIDIMME



Contenido

1	DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DEL ENTREGABLE.....	3
1.1	Objetivos del Paquete de Trabajo 4	¡Error! Marcador no definido.
1.2	Objetivos del presente documento.....	¡Error! Marcador no definido.
2	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.	4
2.1	Introducción	¡Error! Marcador no definido.
2.2	Estudio de patentes	¡Error! Marcador no definido.
3	CARACTERIZACIÓN DE PIEZAS Y REQUISITOS PRODUCTIVOS.	29
3.1	CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2	caracterización de productos.....	¡Error! Marcador no definido.
4	ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE LOS TAGS EN ENTORNOS PRODUCTIVOS.....	41
4.1	Hipótesis de trabajo.....	41
4.1.1	DEFINICIÓN DE MODOS POTENCIALES DE FALLO.	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1.1	LISTADO DE POSIBLES FALLOS POTENCIALES Y PROBLEMAS DE LECTURA.	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2	DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DE PRUEBAS A REALIZAR.	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2.1	IDENTIFICACIÓN DE PRUEBAS.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2.2	Formulación de hipótesis de trabajo.	¡Error! Marcador no definido.
4.2	PLANIFICACIÓN DE LAS PRUEBAS A REALIZAR.	¡Error! Marcador no definido.
4.3	METODO DE TRABAJO.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3.1	Equipos de lectura.	¡Error! Marcador no definido.
4.3.1.1	EQUIPO DE LECTURA 1. DISPOSITIVO C72 CHAINWAY	¡Error! Marcador no definido.
4.3.1.2	EQUIPO DE LECTURA 2. LECTOR NPR EASY TAG LITE 500.	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2	Etiquetas y tags analizados.	¡Error! Marcador no definido.
4.3.3	Descripción de las pruebas realizadas.	¡Error! Marcador no definido.
4.3.3.1	Etapa 1. Confirmación H1 / H2.	¡Error! Marcador no definido.
4.3.3.2	Etapa 2. Confirmación H3 / H4.	¡Error! Marcador no definido.
4.3.3.3	Etapa 3. Confirmación H5.	¡Error! Marcador no definido.
4.4	Resultados de las pruebas.	¡Error! Marcador no definido.
4.4.1.1	Etapa 1. Confirmación H1 / H2.	¡Error! Marcador no definido.
4.4.1.2	Etapa 2. Confirmación H3 / H4.	¡Error! Marcador no definido.
4.4.1.3	Etapa 3. Confirmación H5.	¡Error! Marcador no definido.
4.5	Conclusiones.....	¡Error! Marcador no definido.
5	BILIOGRAFÍA	67

1 OBJETIVOS DEL PROYECTO.

Este proyecto se plantea para avanzar en la resolución de un problema común a las empresas de segunda transformación de productos de madera y derivados, y que se agrava a medida que evoluciona la demanda y se tiende a fabricar productos muy personalizados, o productos en series muy cortas. Este modelo productivo implica una amplísima variedad de piezas individuales, y cada una de ellas puede seguir una ruta de fabricación diferente, o necesitar procesos similares pero con especificaciones diferentes.

Fabricar una gran cantidad de piezas diferentes supone un problema de planificación, pero otro de mayor importancia logística es tenerlas identificadas en todo momento de forma que el personal de planta sepa localizar la pieza que debe coger y los procesos que se le deben realizar. Desde hace algunos años, la identificación de las piezas planas de tablero o piezas de madera se realiza en el proceso de cabecera (corte o tronzado) empleando etiquetas adhesivas con un código de barras que se pegan en la superficie de la pieza. Este sistema presenta varios problemas importantes no resueltos hasta la fecha: por un lado la etiqueta debe ser retirada cuando las piezas tienen que ser barnizadas o se realiza el premontaje o montaje; por otra parte y dado que estas piezas se apilan una sobre otra para ahorrar espacio, sólo es visible la etiqueta de la primera pieza debiendo moverlas todas para poder identificar el resto; otro problema radica en que hay muchas piezas similares que cuando pierden la identificación, o no la llevan, se requiere gran experiencia para no equivocarse en su uso.

Estas manipulaciones de piezas en una planta de tamaño medio, suponen aproximadamente el 45% del tiempo productivo. El etiquetado que se realiza tampoco permite automatizar la puesta a punto de las máquinas por la dificultad de lectura de la etiqueta ya que no siempre se posiciona correctamente, o se pega por la parte inferior, o por el roce con otras piezas se borra parcialmente el código.

Para tratar de resolver este problema de identificación y localización de piezas en una planta industrial, añadiendo como valor adicional la trazabilidad que se obtendría a nivel de elemento individual, el proyecto plantea el siguiente objetivo:

- Diseñar y desarrollar un elemento de identificación basado en radio frecuencia, utilizando un chip de UHF, cuyo coste sea inferior a cinco céntimos de euro. La lectura de estos chips debe poder realizarse a la mayor distancia posible.

2 CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTOS Y SOLUCIONES.

Las tareas realizadas para caracterizar la tecnología disponible y las limitaciones de los sistemas actuales se completaron en tres etapas: una etapa previa de recopilación y evaluación de la tecnología y patentes actuales, una fase de caracterización de los productos donde se requiere la identificación individual y la explotación de la información, y una tercera más amplia de análisis del comportamiento real de diversas tecnologías disponibles actualmente.

2.1 Recopilación y evaluación de la tecnología actual

La tecnología de Identificación por Radiofrecuencia, también denominada RFID, está resultando ser una tecnología muy influyente en diversos campos, tanto en actividades productivas como en actividades comerciales y de consumo. Esta tecnología está basada en la lectura de etiquetas con chip, a distancia y sin necesidad de visión directa.

La utilización de esta tecnología supone beneficios comunes para todos los sectores:

- Las etiquetas de RFID pueden almacenar gran cantidad de datos, que además son modificables, permitiendo añadir información de los nuevos procesos por los que pasa un producto.
- Son etiquetas de alta durabilidad, ya que son inmunes a desgastes por el uso, temperatura, humedad, etc.
- La información de estas etiquetas es accesible a distancia y sin visibilidad directa, independientemente de la existencia de suciedad, polvo, grasa, etc. en las mismas.
- Varias etiquetas pueden ser leídas de forma simultánea, lo que permite realizar recuentos e inventarios sin necesidad de acceder a la información una a una.
- Además, estas etiquetas son totalmente infalsificables, ya que su número de serie es invariable, grabado en fábrica y único en todo el mundo.

La clasificación de protocolos EPCGlobal para tags de RFID.

- Clase 0 UHF Sólo Lectura
- Clase 0 Plus UHF Lectura-Escritura
- Clase 1 HF/UHF Una escritura múltiples lecturas
- Clase 1 Gen2 UHF Una escritura múltiples lecturas

- Clase 2 UHF Lectura y Escritura

La tecnología RFID se basa en tags formados por un microchip con memoria y una antena, capaces de transmitir información a distancia y sin visibilidad directa. Esta información es recuperada mediante lectores especiales, que pueden ser lectores industriales, de sobremesa o portátiles, cuya distancia de lectura es variable de cero a cientos de metros.

Dentro de RFID, existen dos tipos de tecnologías según el modo de alimentación de las etiquetas: tecnología pasiva, cuando las etiquetas no disponen de ninguna batería para su alimentación y que utilizan la energía transmitida por los lectores para alimentarse; y tecnología activa, donde las etiquetas disponen de una batería interna para la alimentación del microchip.

Por otra parte, dependiendo de la frecuencia utilizada, las tecnologías RFID más comunes se dividen en: HF (high frequency), cuando la transmisión de información se realiza utilizando la banda de 13,56Mhz; y UHF (ultra high frequency), cuando se realiza en la banda de 866Mhz. La tecnología HF es la utilizada para el etiquetado de artículos a nivel de unidad de consumo, mientras que UHF se utiliza para el etiquetado de unidades de transporte (palets, contenedores, etc.). Esta dualidad obliga a contemplar las diversas tecnologías para garantizar que la tecnología adecuada es utilizada para cada aplicación.

Todo sistema RFID se compone principalmente de cuatro elementos:

- Una etiqueta RFID, también llamada tag o transpondedor (transmisor y receptor).
- Un lector o interrogador, encargado de transmitir la energía suficiente a la etiqueta y de leer los datos que ésta le envíe. Consta de un módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control y una antena para interrogar los tags vía radiofrecuencia.
- Un ordenador, host o controlador, que desarrolla la aplicación RFID. Recibe la información de uno o varios lectores y se la comunica al sistema de información.

Las aplicaciones para la trazabilidad individual de piezas y productos semi-terminados en el sector del mueble mediante tags RFID son inexistentes. La práctica habitual en el sector para la identificación de piezas es la etiqueta de código de barras, que debe ser retirada antes de los procesos de acabado (barnizado, chapado) para garantizar la calidad del mismo. Además aunque se consiguiera limitar el impacto de la etiqueta en el acabado dejan de ser útiles ya que la etiqueta queda oculta por la pintura o la chapa (natural, melamina o PVC). Esta limitación queda superada por la tecnología RFID que no necesita visión, sino proximidad.

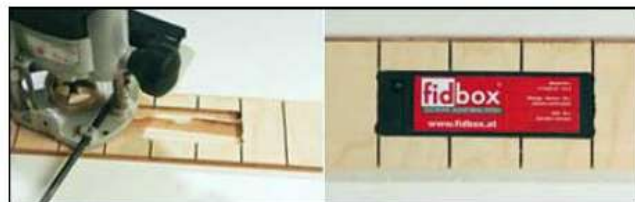
Las pocas aplicaciones existentes en el sector se limitan al control de piezas en lote y no de forma unitaria (Swedberg, 2010).



*Lote de piezas de mobiliario identificadas con un tag RFID
Fuente: (Swedberg, 2010).*

Tal y como ya se ha comentado, uno de los mayores retos a resolver es el de integrar (casi ocultar) el tag RFID en la pieza de tablero de forma que no se vea comprometida la calidad final del proceso de acabado, y no implique operaciones adicionales de retirada o recolocación de tags antes o después del proceso.

Se han desarrollado sistemas de inserción de etiquetas de RFID sobre parquet (Wessel, 2009). Para ello, se mecaniza en la base del producto (que al ser instalado quedará oculta) un espacio (rectangular) suficiente para instalar un tag RFID con diferentes sensores integrados para monitorizar la temperatura y humedad del suelo.



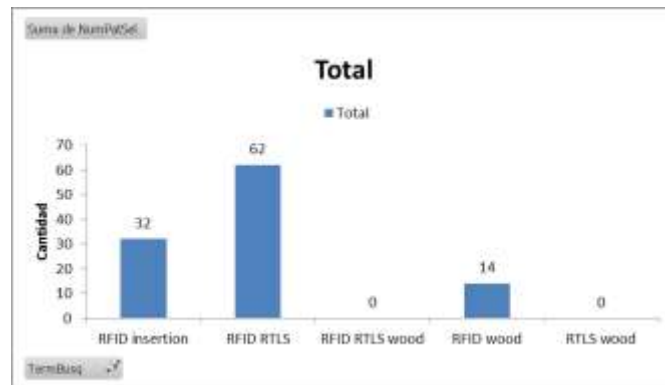
Integración de RFID en parquet. Fuente: (Wessel, 2009)

PATENTES

Dado que la tecnología RFID dispone de un largo recorrido y existen numerosas experiencias al respecto en diversos campos de actividad, se ha considerado relevante evaluar las patentes existentes y sus ámbitos de aplicación, más que la literatura científica que habitualmente se consulta para conocer el estado del arte. Dado que el objeto del proyecto es desarrollar un sistema de identificación individual para piezas de madera, la búsqueda se ha centrado en esos términos, como se indica a continuación.

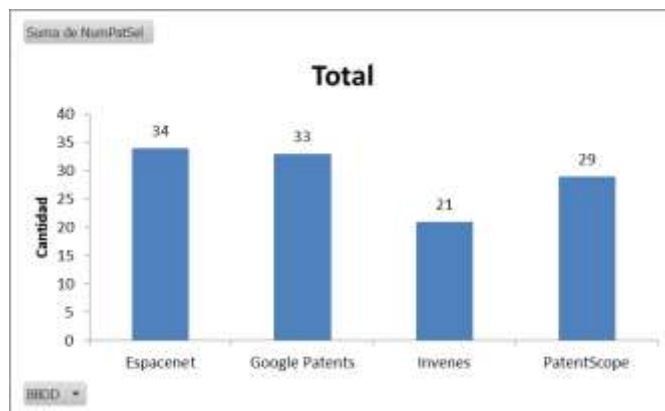
Se han utilizado los siguientes términos de búsqueda de patentes: RFID insertion, RFID Wood, RFID RTLS, RFID RTLS Wood, RTLS Wood. Se han utilizado términos análogos en castellano que no han ofrecido mayor cantidad de resultados.

Las búsquedas relacionadas con los términos “RFID RTLS Wood” y “RTLS Wood” no han ofrecido resultados relevantes.

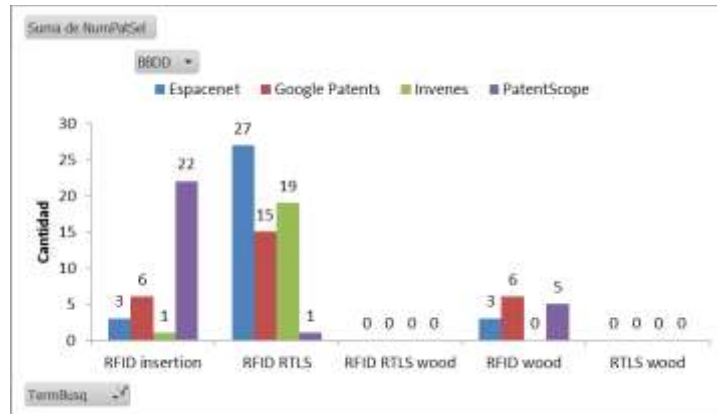


Resultados relevantes por término de búsqueda. Fuente: elaboración propia.

Las bases de datos utilizadas han sido: Espacenet, Google patents, Invenes y PatentScope. Obteniendo una cantidad de resultados similar.



Resultados relevantes obtenidos por base de datos de patentes (i). Fuente: elaboración propia.



Resultados relevantes obtenidos por base de datos de patentes (ii). Fuente: elaboración propia.

Seguidamente se muestran algunas de la patentes encontradas:

Nº solicitud: **US 6,964,370 B1**

Fecha publicación: **15/11/2005**

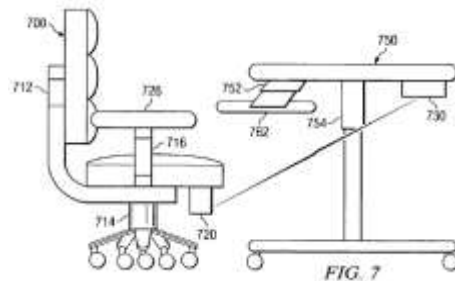
Solicitante: **International Business Machine Corporation, Armonk, NY (US)**

País: **US**

Título: **RFID SMART OFFICE CHAIR**

Aspectos relevantes:

La invención ofrece muebles inteligentes que automáticamente se ajustan a las preferencias de una persona en función de una identificación de la misma. El usuario puede ser equipado con un dispositivo de identificación RFID. Los muebles inteligentes pueden incluir un lector para identificar a la persona usando el mueble. Los muebles inteligentes pueden recibir un perfil que coincide con la persona que usa los muebles y ser ajustable características según el perfil.



Nº solicitud: **US 2010/0141388 A1**

Fecha publicación: **10/06/2010**

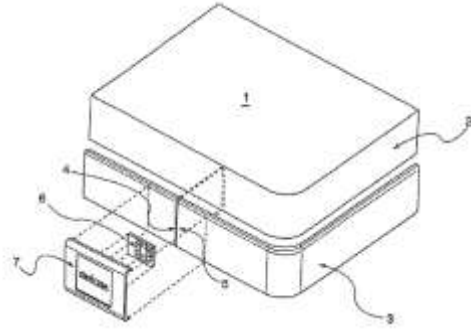
Solicitante: **STEELCASE S.A., Schiltigheim**

País: **US**

Título: **SYSTEM FOR PROVIDING INFORMATION ON PIECES OF FURNITURE**

Aspectos relevantes:

Los dispositivos electrónicos colocados en muebles dentro del alcance de esta invención deben ser capaces de facilitar una gran cantidad de operaciones potencialmente ocurridas en la vida útil de los muebles, desde su fabricación hasta su instalación / verificación / inventario / fin de vida con el usuario, incluidos todos los posibles envíos intermedios, operaciones de entrega, etc. Los datos sobre estas operaciones se pueden obtener de una lectura de la información contenida en un componente integrado en un sistema y que permite, cuando un dispositivo de lectura adecuado se encuentra cerca, lo inmediato e identificación inequívoca del mueble que se manipula / manipula.



Nº solicitud: 2 337 733

Fecha publicación: **28.04.2010**

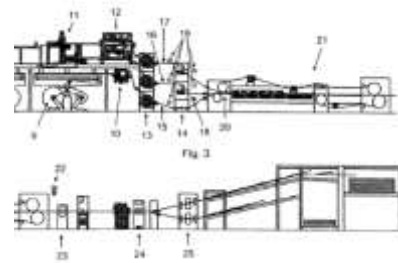
Solicitante: **Texmag GmbH Vertriebsgesellschaft**
Zehntenstrasse 17. 8800 Thalwil, CH

País: ES

Título: **Método para la introducción de etiquetas RFID en cartón ondulado.**

Aspectos relevantes:

Para una trazabilidad sin interrupción del flujo de mercancía de envases de transporte, así como la identificación automática, se proporciona una etiqueta RFID interna en el interior del cartón ondulado o entre las tiras de cartón ondulado individuales. Para esto, la etiqueta se tiene que introducir en la instalación de cartón ondulado durante el proceso de producción del cartón ondulado.



De acuerdo con la invención, se pone a disposición un método para la producción de cartón o una tira de material de cartón, donde al menos dos estratos de material se unen entre sí y se introducen portadores de información entre los al menos dos estratos de material, donde al menos una de las tiras externas se provee de una marca (X, Y) que indica el portador de información interno.

En la búsqueda realizada, hasta la fecha no se ha encontrado ningún sistema o dispositivo específicamente diseñado para su uso en piezas individuales de madera, alcanzando como mucho la identificación de muebles o de palets para el transporte de diversas mercancías.

Aunque fuera del ámbito que nos ocupa, sí que se ha detectado la identificación de elementos de cartón en la propia fabricación del cartón ondulado. Cabe pensar que los elementos identificativos que se inserte en las piezas de cartón deberán tener un coste muy bajo, ocupar muy poco volumen y ser resistentes a ciertas manipulaciones mecánicas, características que deben ser consideradas en el desarrollo de las etiquetas objeto del proyecto.

2.2 Caracterización de piezas y requisitos productivos

Caracterización de procesos

Tras la revisión de los procesos generales existentes en el sector se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Dado el nivel de afectación que se produce sobre las superficies del material, si se quisiera identificar las piezas de madera en sus procesos iniciales (procesos de preparación) sería necesario que la identificación se encontrara insertada en el interior de la pieza, a una profundidad suficiente de la superficie que evitara que los procesos posteriores no alcanzaran dicha posición.
- Las piezas que llevan proceso de chapado de caras, serían susceptibles de integrar la identificación entre el material y el material de recubrimiento, siempre y cuando el dispositivo de identificación a instalar sea capaz de soportar las condiciones de temperatura y presión de los procesos.
- En muchos procesos sería viable la colocación de una identificación superficial sobre las piezas siempre y cuando esta se posicionara en una ubicación donde en los procesos que tenga que sufrir no vayan a afectar al dispositivo de identificación.
- Aquellos productos que requieren de proceso de barnizado, en caso de que la identificación no esté insertada en el interior de las piezas sería necesario retirar la misma y volverla a colocar tras la realización del proceso (se podría optar por colocar la identificación adjunta a la pieza, pero no directamente sobre la misma “Etiqueta colgada”)

Caracterización de productos

Tal y como se ha visto al analizar los tipos de proceso, una de las características importantes que condicionan los procesos es el tipo de material.

De forma general podríamos indicar que los principalmente los tipos de material con los que nos encontramos son:

- Madera maciza.
- Tableros recubierto con chapa de madera (pueden ser desde tablero de partículas hasta tableros contrachapados)
- Tableros de partículas recubiertos con materiales sintéticos que no requieren de procesos de acabado.

Estos materiales se utilizan para diferentes tipos de piezas.

Además del tipo de material otro aspecto que es importante evaluar es la forma y tamaño de las piezas ya que esto puede condicionar la posible colocación de un dispositivo de identificación de las piezas.

Tras la revisión de los diferentes tipos de pieza, que se detalla en el entregable E4.1, se observa que un aspecto importante a la hora de definir que tipo de identificación se podría utilizar es el tipo de material empleado, ya que en función del tipo de material los procesos por los que tienen que pasar las piezas hace que sea viable o no la identificación.

Esto hace que se llegue a la siguiente conclusión:

- Las piezas macizas en general van a presentar una gran dificultad para ser identificadas debido a:
 - o El tamaño y forma de las piezas
 - o Que la práctica totalidad de las piezas requieren del proceso de barnizado.

La opción de la identificación de estas piezas pasaría por, insertar el dispositivo en el interior de la pieza en una zona que no se vaya a ver afectada, esto no sería fácil de conseguir, o bien la colocación de la identificación de forma anexa a la pieza en formato de "Etiqueta colgada".

- Las piezas curvas, los parámetros del proceso de curvado generalmente hacen muy complejo que los dispositivos de identificación sean capaces de soportarlas las condiciones de temperatura, presión e intensidad a la que se ven sometidas las piezas. Tras el proceso de curvado se podrían identificar hasta llegar al proceso de tratamiento superficial lugar donde se debería retirar el dispositivo de identificación de la superficie.
- Las piezas planas, dentro de este grupo cabe diferenciar entre:

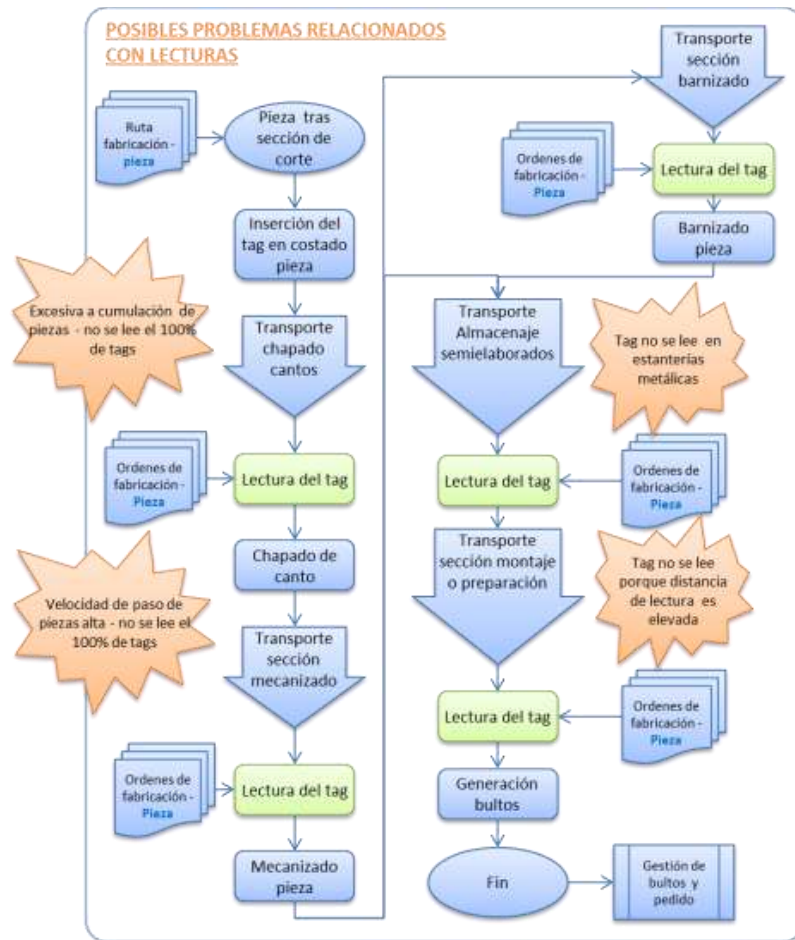
- Piezas que no requieren de acabado superficial. En estos casos el dispositivo se puede colocar sobre la superficies, con la única salvaguarda de que se coloque en una posición donde no se vea afectados por los procesos que sufra la pieza.
- Piezas que requieren acabado superficial. Dado que la identificación superficial de este tipo de piezas no es factible debido al proceso de recubrimiento con productos de acabado, las opciones pasan por la inserción del dispositivo en el interior de la pieza o tal y como se ha indicado anteriormente la colocación de la identificación de forma anexa a la pieza en formato de “Etiqueta colgada”.

En resumen, para las piezas que requieren acabado superficial la opción de identificación pasa por la inserción de la identificación en el interior de la pieza o bien la utilización de una etiqueta anexa, en el caso de las piezas que no requieren acabado superficial, la identificación se puede colocar sobre la superficie de las mismas.

2.3 Análisis del comportamiento de la tecnología disponible

A partir de un esquema del proceso de fabricación estándar de muebles de tablero, se han definido los siguientes problemas o fallos potenciales que podrían llegarse a dar mediante el uso de la solución a desarrollar dentro del proyecto.

En el esquema siguiente, en color naranja, se han identificado potenciales fallos con un tag que diera problemas de lectura debido a diferentes circunstancias.



Tipos de fallo potencial. Fuente: elaboración propia

A partir de los modos potenciales de fallo definidos en la etapa anterior se ha identificado un tipo de prueba a realizar para comprobar su ocurrencia o no durante la ejecución del proyecto.

Para cada prueba o verificación se han identificado (de manera preliminar) las principales Variables de Control (“VC” en el diagrama) que habrá que modificar en las pruebas para conocer cuál es la capacidad real del sistema desarrollado.

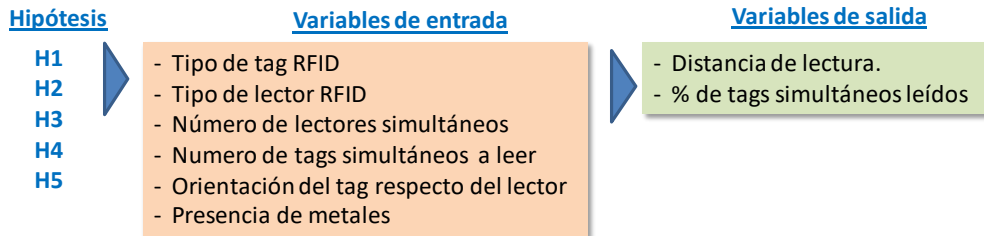
ESQUEMA DE VERIFICACIONES A REALIZAR

A) PROBLEMAS DE LECTURA EN EL PROCESO

- Verificar lectura de varias piezas apiladas → VC: número de piezas, distancia-entre piezas, orientación.
- Verificar lectura a velocidades de paso elevadas → VC: velocidad de paso.
- Verificar lectura en presencia de metales → VC: estantería metálica, carro de transporte.
- Verificar lectura a distancias elevadas → VC: distancia de paso.

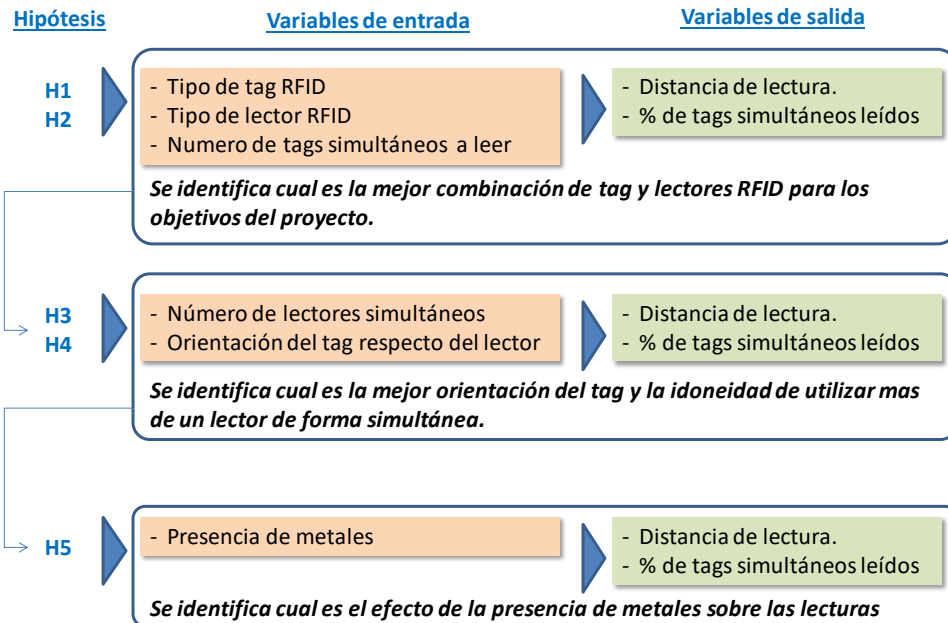
Variables de control o entradas de las pruebas a realizar. Fuente: elaboración propia

De forma resumida, existen cinco hipótesis a contrastar. Dichas cinco hipótesis se pueden resumir en identificar el valor de dos variables de salida que son, la distancia de lectura y el porcentaje de lectura simultánea de varios tags, bajo diferentes condiciones de trabajo expresadas en las hipótesis como variables de entrada en las pruebas: tipo de tag, tipo de lector RFID, número de tags a leer de forma conjunta, orientación del tag respecto del lector, número de lectores utilizados de forma conjunta y presencia de metales en la lectura.



Conjunto de variables de entrada y salida de las pruebas. Fuente: elaboración propia

Con el objetivo de optimizar y dar coherencia al proceso de pruebas se han organizado las pruebas a realizar bajo la siguiente secuencia.



Organización secuencial de las pruebas. Fuente: elaboración propia

En primer lugar se desarrollan las pruebas encaminadas a resolver las hipótesis de trabajo H1 y H2 para identificar la mejor combinación de tags y lectores de RFID en base a la distancia de lectura alcanzada y porcentaje de tags que se pueden leer de forma conjunta, teniendo en cuenta los objetivos y requerimientos del proyecto.

A continuación se realizaron las pruebas que trabajan sobre las hipótesis H3 y H4 encaminadas a identificar cual es la mejor orientación del tag respecto del lector RFID así como si es necesaria la utilización de más de un lector.

Finalmente, se llevaron a cabo las pruebas encaminadas a comprobar la hipótesis H5 para verificar si la utilización del sistema con elementos de manipulación y almacenaje con metal puede afectar a la lectura de los tags.

Equipos de lectura y etiquetas a utilizar

En cuanto a los equipos de lectura a utilizar en las pruebas se probaron dos categorías de lectores. Por un lado aquellos denominados comúnmente móviles o “terminales de mano” y los considerados como fijos.

El tipo de lector móvil tiene un formato de pistola o PDA, que puede ser portado por un operario o embarcado en un medio de manipulación como una carretilla elevadora. Se

utiliza en aquellas aplicaciones donde es el trabajador el que acude a la búsqueda de una mercancía y es responsable de su movimiento y nueva ubicación.

El tipo de lector fijo, como su nombre indica, se instala en una ubicación permanente en zonas de paso habitual de mercancía mediante medios automáticos o bien de forma manual, pero por diferentes operarios.

Se describen a continuación los dos tipos de equipos seleccionados para realizar las pruebas.

EQUIPO DE LECTURA 1. DISPOSITIVO C72 CHAINWAY

Se trata de un dispositivo de mano de lectura y escritura, que en las pruebas realizadas se ha identificado como lector modelo 1. Dispone de un sistema Android con aplicaciones para la lectura de distintos tipos de etiquetas, que pueden responder a diferentes rangos de frecuencia.



Imagen del lector "tipo 1" (i). Fuente: Chainway

Tiene instalada una antena con polarización lineal y circular. Consta de varios botones de activación de lecturas, según el tipo de uso que se le vaya a dar. Asimismo consta de puerto USB y ranura para tarjeta SD para la comunicación y traspaso de archivos a otros dispositivos.

Algunas de las principales características del dispositivo, son las siguientes:

Chainway C72

Marca:	Chainway
Modelo:	C72

Comunicaciones:	Bluetooth, Wi-Fi, USB, SD card
Dimensión:	164 x 80 x 24 mm
Cond. Funcionamiento	
Temp.:	-20º C to 50º C
Humedad:	5% RH - 95% RH
IP:	IP65
Protocolo RFID:	EPC C1 GEN2 / ISO18000-6C
Frecuencia:	865-868 MHz / 920-925 MHz / 902-928 MHz
Anticolisión:	>200 tags/s (circular polarization)
Sensibilidad Lectura:	>25 m (circular polarization, indoors); >15 m (circular polarization, open outdoors); >21 m (linear polarization, indoors); >7 m (linear polarization, open outdoors)

EQUIPO DE LECTURA 2. LECTOR NPR EASY TAG LITE 500.

Este dispositivo de lectura y escritura es una antena RFID instalable en distintas ubicaciones. Tanto en posición vertical como en posición horizontal, no obstante la instalación condiciona los rangos de lectura del equipo.



Imagen de la antena. Fuente: Deister electronics.

Este equipo de instalación fija es muy apropiado para la instalación en determinados puesto de trabajos, en áreas de máquinas y en finales de línea. Ya que una vez instalado no requiere de manipulación para realizar las lecturas.

La antena se conecta a una controladora y está su vez a un ordenador. En este proyecto se ha empleado un software propio del fabricante para realizar las pruebas.



Imagen del controlador. Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME.

Algunas de las principales características del dispositivo, son las siguientes:

LECTOR RFID-UHF INTEGRADO NPR EASYTAG LITE500

Marca:	Deister Electronic
Modelo:	UDL500
Comunicaciones:	RS485 Open Collector, USB, Ethernet, Wi-Fi (opcionales)
Dimensión:	620 x 280 x 75 Mm
Cond. Funcionamiento	
Temp.:	-20°C a 70°C
Humedad:	> 95% RH
IP:	IP54
Protocolo RFID:	EPC Class 1 Gen1 / Gen2; ISO 18000-6 A/B/C; UCode, EM 4223 Otros: ATMEL TAG IDU, EM 4422
Frecuencia:	865-870Mhz
Anticolisión:	hasta 100 tags simultáneamente
Sensibilidad Lectura:	hasta 5 metros

Para cumplir con los requisitos del proyecto debe de utilizarse un tag o etiqueta RFID de dimensiones muy reducidas, que pueda ser ocultado y compatible con los procesos de acabado del sector del mueble.

Se seleccionan para realizar las pruebas 2 modelos de etiquetas de dimensiones reducidas, que en teoría presentan menor radio de lectura debido al diseño reducido de su antena (identificados en las pruebas como modelos A y B) y 2 modelos de etiquetas

con un tamaño “estándar” (identificados en las pruebas como modelos C y D). Se procede a continuación a la descripción de los 4 tipos de etiquetas utilizados en las pruebas.

MODELO A

Marca:	Alien
Modelo:	WET INLAY UHF H3 96/512B
Dimensión:	124x7 mm
Frecuencia:	860~960MHz
Protocolo:	ISO/IEC 18000-6CEPC Class1 Gen2
Memoria:	512 Bits
Material:	PET
Sensibilidad Lectura:	--

MODELO B

Marca:	Alien
Modelo:	WET INLAY UHF H3 96/512B
Dimensión:	12x9 mm
Frecuencia:	860~960MHz
Protocolo:	ISO/IEC 18000-6CEPC Class1 Gen2
Memoria:	96 Bits (EPC)-512 Bits (User)
Material:	PET
Sensibilidad Lectura:	--

MODELO C

Marca:	Rafatrac
Modelo:	Rafsec UHF Global TagClass 1 Gen 2 96-bit EPC
Dimensión:	97x27 mm
Frecuencia:	868±15 MHz

IDENTAG
 Resumen resultados

Protocolo:	96 bit EPC Class 1 Gen 2
Memoria:	96 Bits
Material:	Papel Recubierto
Sensibilidad Lectura:	Min. 1,75 V/m

MODELO D

Marca:	Fongwah
Modelo:	UHF-AZ9662
Dimensión:	73x23 mm
Frecuencia:	860-960 MHz
Protocolo:	ISO / IEC 18000-6C, Clase EPC
Memoria:	96 Bits (EPC)-512 Bits (User)
Material:	Papel Recubierto
Sensibilidad Lectura:	1-8 m. dependiendo del tipo de lector y antena

Las etiquetas se han fijado a probetas de tablero contrachapado y aglomerado de 100 x 100 mm de ancho y largo. A continuación se muestran unas imágenes de las pruebas realizadas.





Imagen de las probetas utilizadas en las pruebas. Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME.



Imagen de las probetas ubicadas en la orientación horizontal. Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME.



Imagen de las probetas colocadas en la orientación vertical. Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME.



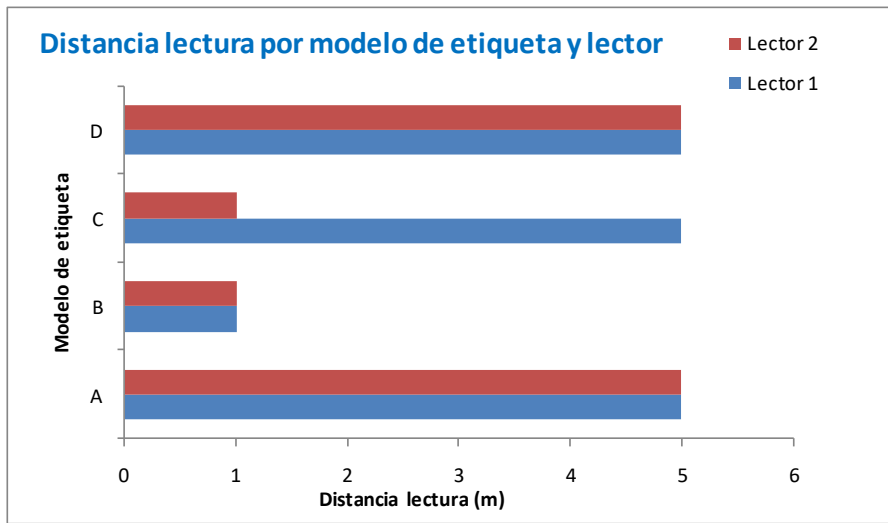
Imagen de las antenas ubicadas en modo arco. Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME.



Imagen de las probetas en la estantería metálica. Fuente: Fotografía tomada por AIDIMME.

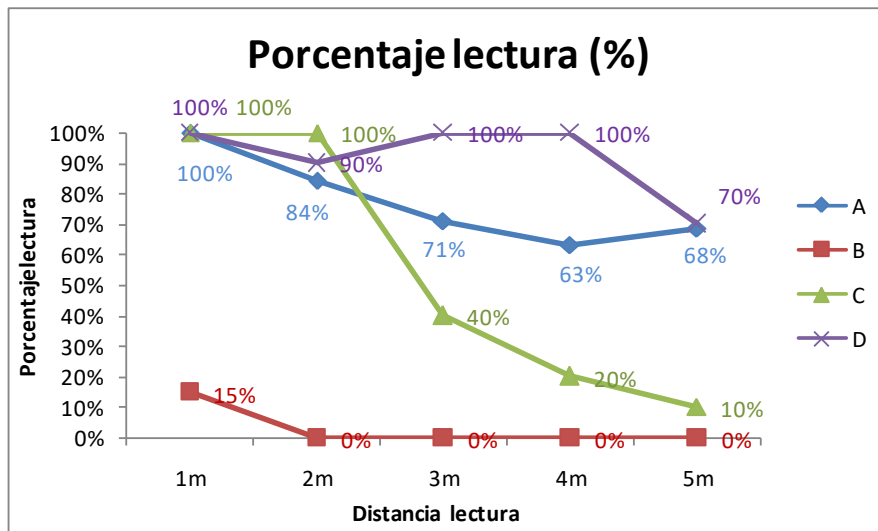
Resultados de las pruebas realizadas.

Seguidamente se ofrecen gráficos con los resultados de las pruebas y las conclusiones obtenidas.

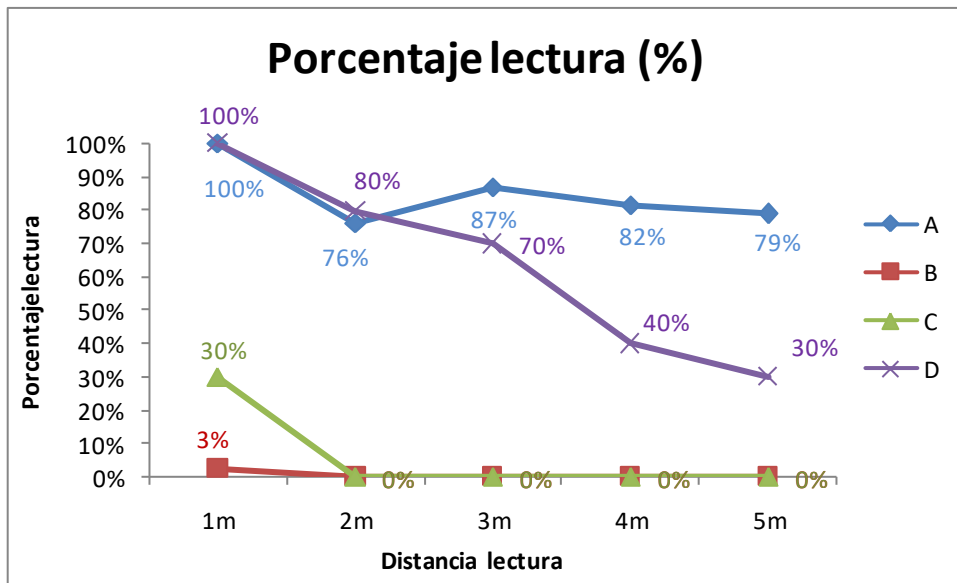


Distancia de lectura por etiqueta y lector
Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas siguientes muestran el porcentaje de etiquetas leídas de forma simultánea con cada uno de los equipos de lectura:

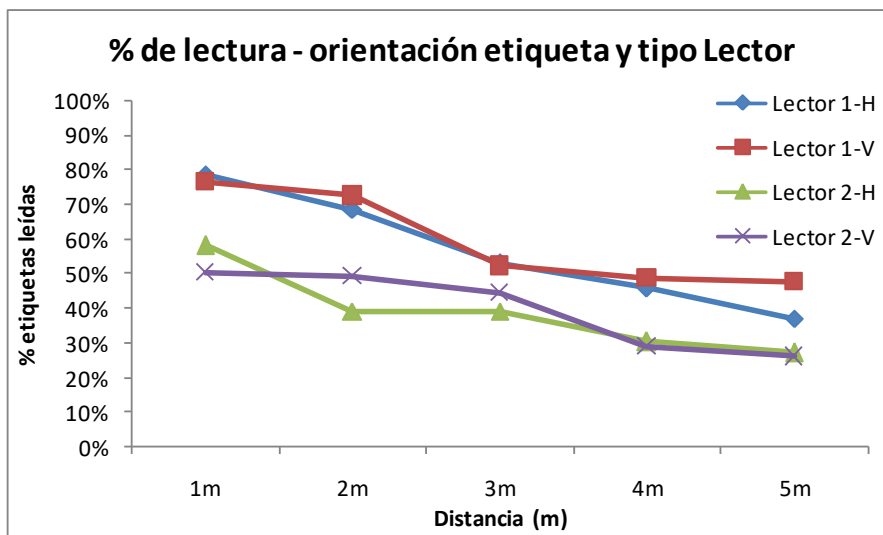


Porcentaje de lectura lector portátil
Fuente: Elaboración propia.

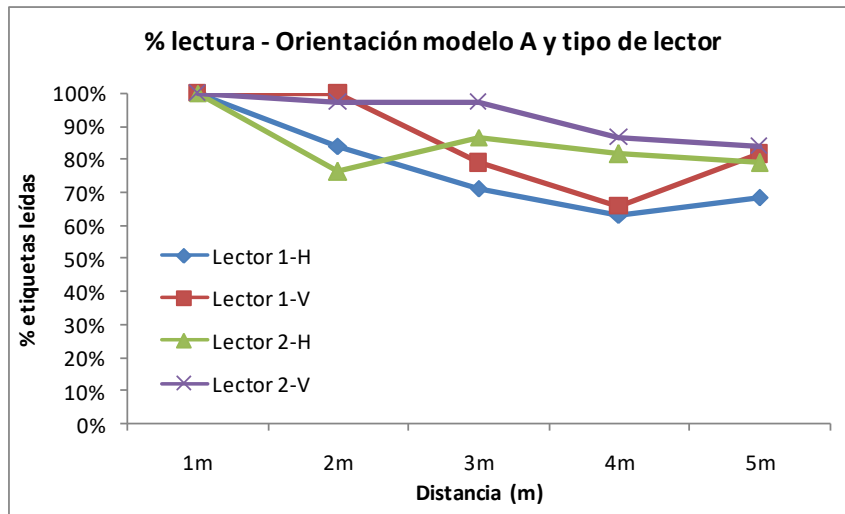


Porcentaje de lectura lector fijo
Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se muestra los resultados de las lecturas dependiendo de la orientación de las etiquetas, la primera gráfica calculando el promedio de lecturas para todas las etiquetas, y la segunda aplicada sólo a la etiqueta tipo A.

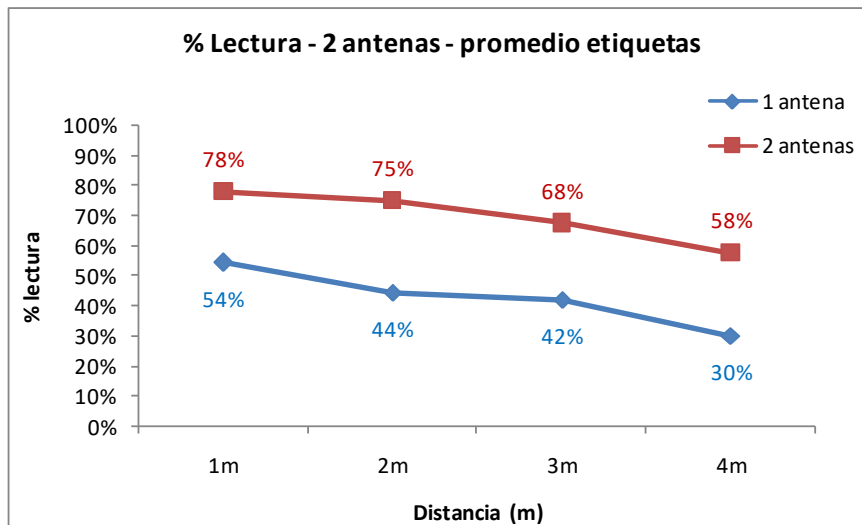


Porcentaje de lectura promedio para todas las etiquetas, según orientación
Fuente: Elaboración propia.

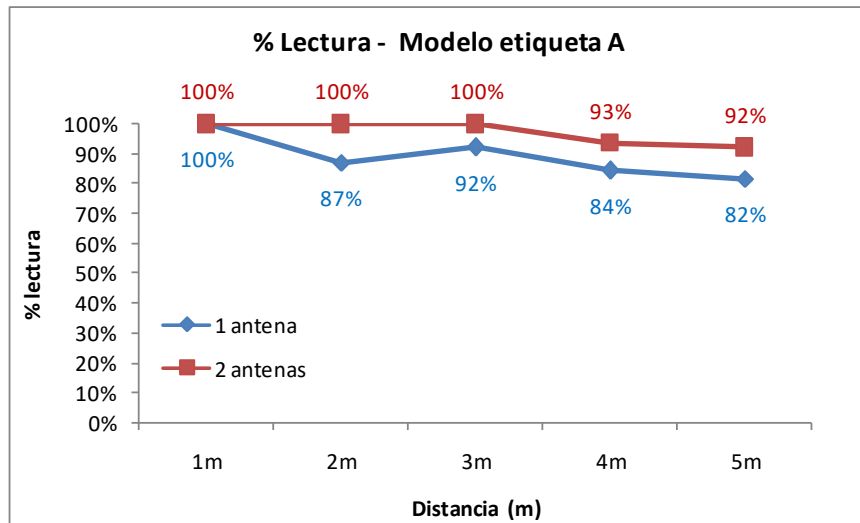


Porcentaje de lectura promedio para la etiqueta A, según orientación
Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas siguientes se muestran los resultados de las lecturas con dos antenas fijas en modo arco, con etiquetas en horizontal y en vertical. La primera muestra el promedio de lecturas considerando todas las etiquetas y la segunda sólo para la etiqueta tipo A.

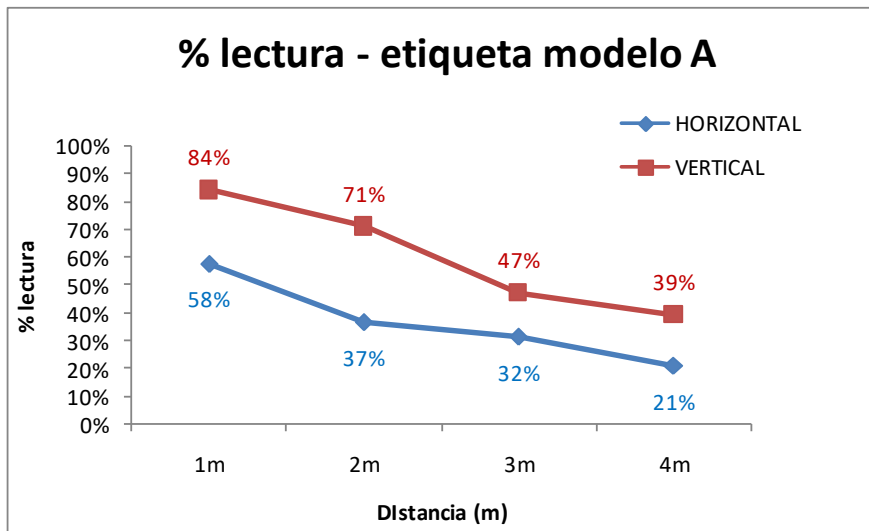


Porcentaje de lectura promedio para todas las etiquetas, según orientación (comparativa con una y dos antenas fijas)
Fuente: Elaboración propia.



Porcentaje de lectura promedio para la etiqueta A, según orientación (comparativa con una y dos antenas fijas)
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se ofrecen los resultados de lecturas en presencia de metal, sólo para la etiqueta A, dado que es el mejor resultado obtenido.



Porcentaje de lectura para la etiqueta A, según orientación, en presencia de elementos metálicos
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Durante las pruebas se han utilizado dos tipos de lectores. Un terminal portátil (identificado en la pruebas como “tipo1”) y una antena fija (identificada como “tipo2”). Con excepción del modelo “C” de etiqueta el rendimiento de ambos tipos de lectores se puede considerar similar.

Respecto de los modelos de etiquetas RFID se disponía de 4 modelos, 2 modelos de pequeñas dimensiones y que potencialmente tenían aplicabilidad al proyecto (modelos “A” y “B”) y dos de dimensiones estándar de difícil aplicación al proyecto (modelos “C” y “D”), pero que han permitido contrastar la bondad de los resultados de las etiquetas modelos “A” y “B”.

La etiqueta “B” solo puede ser leída a distancias muy cortas, por debajo de 1 metro. Su uso queda restringido a aplicaciones donde el lector y la pieza a ser leída estén dentro de ese rango, y se trate de una pieza única.

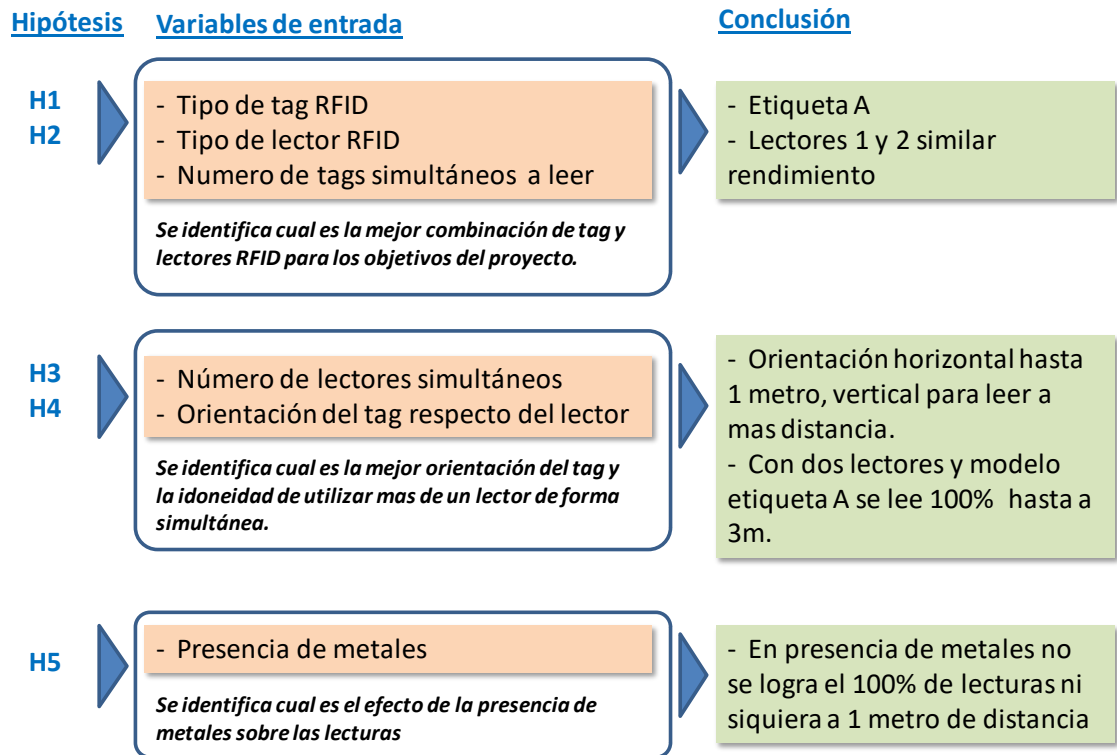
La etiqueta “A” puede ser leída a mayores distancias. Si se realiza la lectura simultánea de varias etiquetas, a 1 metro se alcanza el 100% de efectividad. Si la etiqueta se orienta de forma perpendicular al suelo (ofreciendo su superficie al lector) se alcanza el 100% de lectura hasta una distancia de 2 metros.

De forma general, la orientación que alinea el frontal de la etiqueta con el lector es la que garantiza la mayor tasa simultánea de lecturas. En las pruebas esta alineación se ha dado con la orientación horizontal a 1 metro de distancia, y la vertical a partir de 2 metros.

Cuando se utilizan 2 lectores de forma simultánea en modo arco, la distancia a la que se ha obtenido el 100% de lecturas ha sido de 3 metros.

En presencia de metales (como puede ser el almacenaje en una estantería metálica) no se alcanza una tasa de lectura del 100% ni siquiera a la distancia de 1 metro.

A continuación se muestra un esquema resumen con las principales conclusiones obtenidas tras las pruebas realizadas.



Se ha podido contrastar experimentalmente la idoneidad de una etiqueta de pequeñas dimensiones (124 mm x 7 mm) para las aplicaciones habituales en el Sector, siendo conveniente utilizar un conjunto de al menos dos antenas externas ubicadas en modo arco para garantizar el 100% de lecturas hasta 3 metros de distancia y para que la orientación de la etiqueta no influya en el resultado. El problema de realizar lecturas en presencia de metal, habitual en los almacenes y elementos de transporte, es un hándicap difícil de resolver con las etiquetas estándar.

3 DISEÑO Y DESARROLLO DEL TAG DE RADIO-FRECUENCIA.

El trabajo desarrollado ha consistido en el diseño y desarrollo del TAG de radiofrecuencia. Esto incluye el diseño del circuito electrónico, el diseño de la tarjeta de circuito impreso, el cálculo electromagnético de la tarjeta de circuito impreso, la generación de planos de fabricación, su envío a un fabricante y montador de tarjetas de circuito impreso y la verificación del comportamiento de la etiqueta de radiofrecuencia una vez montada.

Para el diseño del circuito se empleó la aplicación informática Cadence OrCAD, capaz de permitir la captura del circuito, diseño de la tarjeta de circuito impreso y elaboración de las órdenes de fabricación de la tarjeta de circuito impreso. Para el cálculo electromagnético de la etiqueta de radio frecuencia se empleó la aplicación informática Altair Feko. Esta herramienta permite calcular el comportamiento electromagnético de la antena asociada a la etiqueta de radiofrecuencia.

Las especificaciones de diseño se determinaron a partir de las experiencias previas con etiquetas comerciales. El primer requisito es que la etiqueta debe ser muy barata, por lo que se debe utilizar el chip más económico que se encuentre en el mercado. Otro requisito es el tamaño, especialmente para determinado tipo de pieza en la que el tag debe incrustarse de algún modo en el interior de la pieza. Considerando que el tablero estándar que se usa en la fabricación de mobiliario es de 16 mm o 19 mm de grueso, el tamaño del tag no debe exceder los 12 mm en una dirección, y debería ser lo más compacto posible ya que si en la otra dirección es muy largo su aplicación sobre la pieza puede verse comprometida. El tercer parámetro a considerar es la distancia de lectura: deberían leerse todas las etiquetas que se encuentren como mínimo a 25 cm de cualquier dispositivo lector, y obviamente cuanto mayor distancia de lectura se pueda conseguir, mucho mejor.

Diseño del circuito

Para el diseño del circuito se seleccionó un componente electrónico del fabricante Alien Technology, LLC, un circuito integrado muy compacto UHF, empaquetado en un formato SOT para poder fabricar una pequeña cantidad de prototipos a un coste razonable. El chip se ajusta a la clase EPC, clase 1, Gen-2. Su coste en formato oblea de silicio, que requiere máquinas específicas para su corte y montaje, es inferior a un céntimo por unidad pero cuando se compra en cantidades muy elevadas (más de 400.000 unidades). Obviamente es interesante para su industrialización a gran escala, pero inviable para fabricar prototipos, de ahí que se haya elegido el encapsulado SOT, que es manejable por máquinas convencionales para fabricar prototipos. Al contactar con el fabricante, éste se ofreció a proporcionar algunas muestras para ello.

El tamaño del chip es de 2 mm x 2,125 mm x 0,9 mm, por lo que su montaje debe realizarse con máquinas especializadas.

Este componente contiene todos los circuitos electrónicos necesarios para la etiqueta de radiofrecuencia con la excepción de la antena de comunicaciones necesaria para la captación de la energía electromagnética que sirve tanto para que el componente reciba su alimentación eléctrica como también para la transmisión de la información del código de identificación. Este componente tiene dos contactos eléctricos (1 y 2) que deben conectarse a los extremos de una antena formada por un bucle. El bucle está formado por una pista de circuito impreso que recorre el perímetro de la etiqueta de radio frecuencia, naciendo en el contacto eléctrico 1 y muriendo en el contacto eléctrico 2.

El componente electrónico necesita energía eléctrica para su funcionamiento. Al no poseer una fuente de energía eléctrica propia, debe obtener la energía que necesita de la propia onda electromagnética proveniente del equipo de interrogación. Esto se logra cuando el equipo de interrogación emite una onda electromagnética estable en el tiempo. Si la antena de la etiqueta de radio frecuencia está orientada de cara al equipo de interrogación, la onda electromagnética atravesará el bucle. Como la onda electromagnética es de corriente alterna, se produce un fenómeno de acoplamiento por inducción según la Ley de Faraday y se evoca un potencial eléctrico de corriente alterna en los dos contactos eléctricos (1 y 2) del componente electrónico. Según el fabricante, estos contactos están conectados a un rectificador de onda completa que produce una tensión de corriente continua que alimenta al componente electrónico HIGGS-3. Al superarse el umbral de tensión de alimentación necesario, el componente electrónico se despierta y transmite la información de su código de identificación. Esto se realiza mediante la conmutación electrónica de un transistor conectado a los dos contactos eléctricos (1 y 2) del componente electrónico, lo cual altera los parámetros de acoplamiento entre las antenas del equipo interrogador y del componente electrónico. Gracias a esta alteración, el equipo interrogador percibe dos estados diferentes de acoplamiento electromagnético entre las antenas, uno es óptimo (con las impedancias emparejadas) y el otro no lo es (con las impedancias desemparejadas). Esto, a su vez, establece los dos estados binarios de 0 y 1 necesarios para la transmisión de datos. Los datos son transmitidos mediante estas alteraciones y son recuperados por el equipo interrogador que, de esta manera, averigua el código de identificación de la etiqueta de radio frecuencia.

Diseño de la tarjeta de circuito impreso

Para el diseño de la tarjeta de circuito impreso se empleó el material FR4 con recubrimiento de cobre por una sola cara. Se dibujó cada una de las tres huellas del componente electrónico en su presentación del encapsulado electrónico normalizado SOT-323 de tres contactos eléctricos. El contacto 1 se conectó al inicio de la antena de

bucle, el contacto 2 se conectó al final de la antena de bucle y el contacto 3 se dejó sin conexión (según las prescripciones del fabricante).

La antena de bucle sigue el perímetro de la tarjeta de circuito impreso para el caso de las antenas rectangulares. Para el caso de la antena circular, esta queda inscrita en el rectángulo que forma la tarjeta de circuito impreso.

Se realizaron tres variantes de la tarjeta de circuito impreso. La primera variante tiene una antena de bucle que forma un rectángulo de 12 mm de alto y 9 mm de ancho. La segunda variante tiene una antena de bucle que forma un rectángulo de 12 mm de alto y 18 mm de ancho, con el objeto de duplicar la superficie de la antena de bucle de la primera variante. La tercera variante tiene una antena de bucle que forma un círculo cuya superficie es equivalente a la superficie de la antena de bucle de la primera variante.

Con estas tres variantes se probó si el comportamiento mejora al duplicar la superficie de la antena de bucle (mediante el análisis comparativo entre la primera y segunda variante) y si se mantiene constante pese a cambiar la forma geométrica de la antena de bucle (mediante el análisis comparativo entre la primera y tercera variante). Una hipótesis de partida era que si duplicamos la superficie de la antena de bucle, debe mejorar el comportamiento (por ejemplo, pudiendo detectarse la etiqueta de radiofrecuencia a una mayor distancia de separación con el equipo de interrogación). Otra hipótesis de partida era que si alteramos la forma geométrica de la antena de bucle pero mantenemos constante su superficie, el comportamiento debe ser el mismo para ambas geometrías.

Las pruebas de campo aportan los datos que apoyan o desmienten a estas hipótesis.

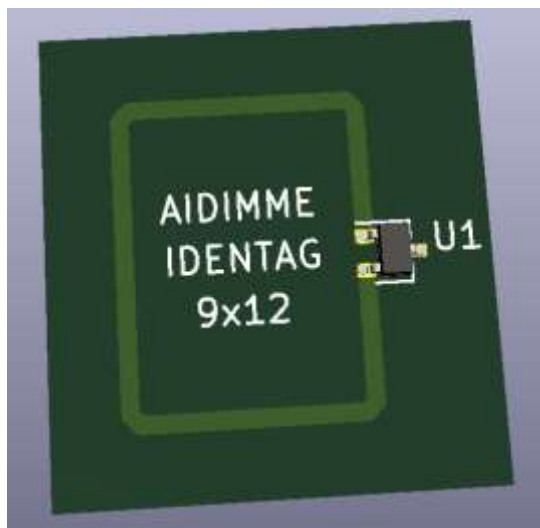


Imagen foto realista de la tarjeta de circuito impreso rectangular de 9 mm x 12 mm

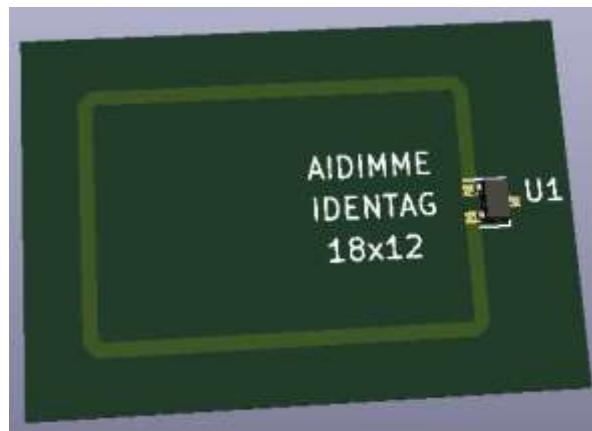


Imagen foto realista de la tarjeta de circuito impreso rectangular de 18 mm x 12 mm

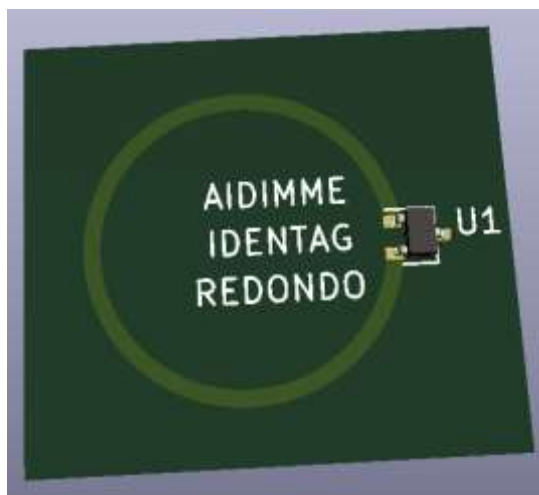


Imagen foto realista de la tarjeta de circuito impreso circular

Cálculo electromagnético de la tarjeta de circuito impreso

La aplicación informática Altair Feko se empleó para el cálculo electromagnético de la etiqueta de radio frecuencia con las tres variantes del diseño de la tarjeta de circuito impreso. En este cálculo se realizaron las simulaciones del comportamiento de cada variante de la tarjeta de circuito impreso, ya que la geometría de la antena cambia y esto produce una alteración del comportamiento electromagnético de la tarjeta de circuito impreso.

Hay dos variantes de la tarjeta de circuito impreso con antena de bucle rectangular y una variante de la tarjeta de circuito impreso con antena de bucle circular. La primera hipótesis de trabajo es que la superficie inscrita en el rectángulo de la primera variante (9 mm de ancho por 12 mm de alto son 108 mm^2) debe ser igual a la mitad de la superficie inscrita en el rectángulo de la segunda variante (18 mm de ancho por 12 mm de alto son 216 mm^2) y, por lo tanto, la segunda variante posee dos veces más superficie de captación de la señal de interrogación del equipo lector de etiquetas de radiofrecuencia que la primera variante. Esto implica que la segunda variante debe tener una mayor distancia de detección que la primera variante en virtud de su mayor superficie de captación de energía electromagnética. Es decir, si la primera variante de la tarjeta de circuito impreso tuviese una distancia de detección de un metro, la segunda variante de la tarjeta de circuito impreso debería tener una distancia de captación mayor que un metro porque su superficie de captación es mayor. Suponiendo que la potencia de la señal de interrogación del equipo lector de etiquetas de radiofrecuencia se distribuyese uniformemente en la superficie de una esfera, las diferencias de superficie entre las antenas de bucle de las dos variantes nos permitirían calcular la mayor distancia de captación, según aparece a continuación.

- $R_0 = 1 \text{ m}$ //la variante A está a un metro de distancia del equipo de interrogación
- $S_0 = 4 * \pi * (R_0)^2 = 12,56 \text{ m}^2$ //superficie de una esfera de un metro de radio
- $P_0 = 1 \text{ W}$ //potencia del equipo de interrogación
- $D_0 = P_0 / S_0 = 0,07958 \text{ W/m}^2$ //densidad a un metro de distancia
- $S_A = 9\text{e-}3 \text{ m} \times 12\text{e-}3 \text{ m} = 108\text{e-}6 \text{ m}^2$ //superficie de la antena de bucle de la variante A
- $S_B = 18\text{e-}3 \text{ m} * 12\text{e-}3 \text{ m} = 216\text{e-}6 \text{ m}^2$ // superficie de la antena de bucle de la variante B
- $P_A = D_0 * S_A = 0,07958 \text{ W/m}^2 * 108\text{e-}6 \text{ m}^2 = 8,59\text{e-}6 \text{ W}$ //potencia de la variante A

Primera hipótesis de trabajo: $P_B = P_A$ //igualdad de potencia a distintas distancias

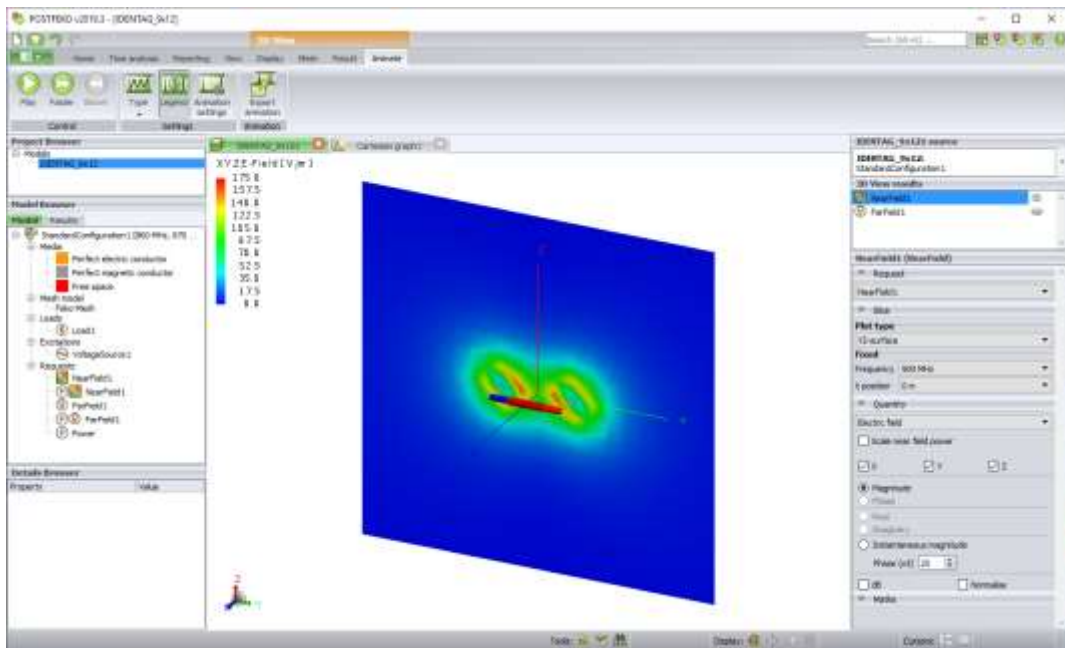
- $D_1 = P_B / S_B = 8,59\text{e-}6 \text{ W} / 216\text{e-}6 \text{ m}^2 = 0,0398 \text{ W/m}^2$
- $P_0 = 1 \text{ W} = D_1 * S_1 = D_1 * 4 * \pi * (R_1)^2$
- $R_1 = \text{raíz}(1 \text{ W} / (D_1 * 4 * \pi)) = \text{raíz}(1 \text{ W} / (4 * \pi * 0,0398 \text{ W} / \text{m}^2)) = 1,414 \text{ m}$
- $R_1 = R_0 * \text{raíz}(S_B / S_A) = R_0 * \text{raíz}(2)$

Queda por verificar experimentalmente si se cumple esta primera hipótesis de trabajo.

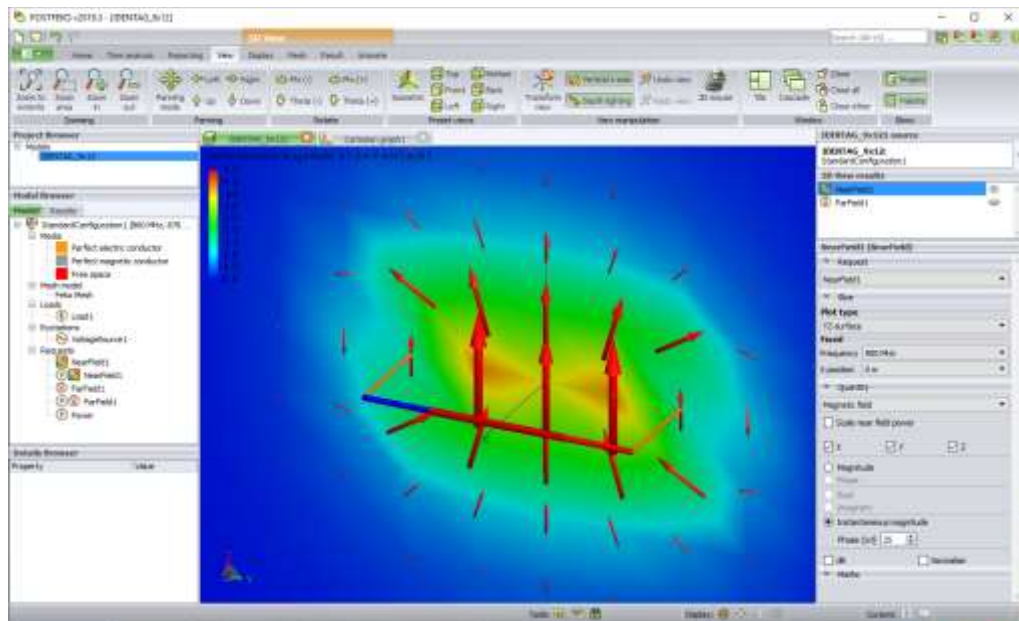
La segunda hipótesis de trabajo es que la superficie inscrita en el rectángulo de la primera variante (9 mm de ancho por 12 mm de alto son 108 mm^2) es igual a la superficie inscrita en el círculo de la tercera variante (π por el cuadrado del radio de 5,86 mm son 108 mm^2) y, por lo tanto, la tercera variante posee la misma superficie de captación de la señal de interrogación del equipo lector de etiquetas de radiofrecuencia

que la primera variante. Esto implica que la tercera variante debe tener la misma distancia de detección que la primera variante en virtud de su misma superficie de captación de energía electromagnética. Queda por verificar experimentalmente si se cumple esta primera hipótesis de trabajo.

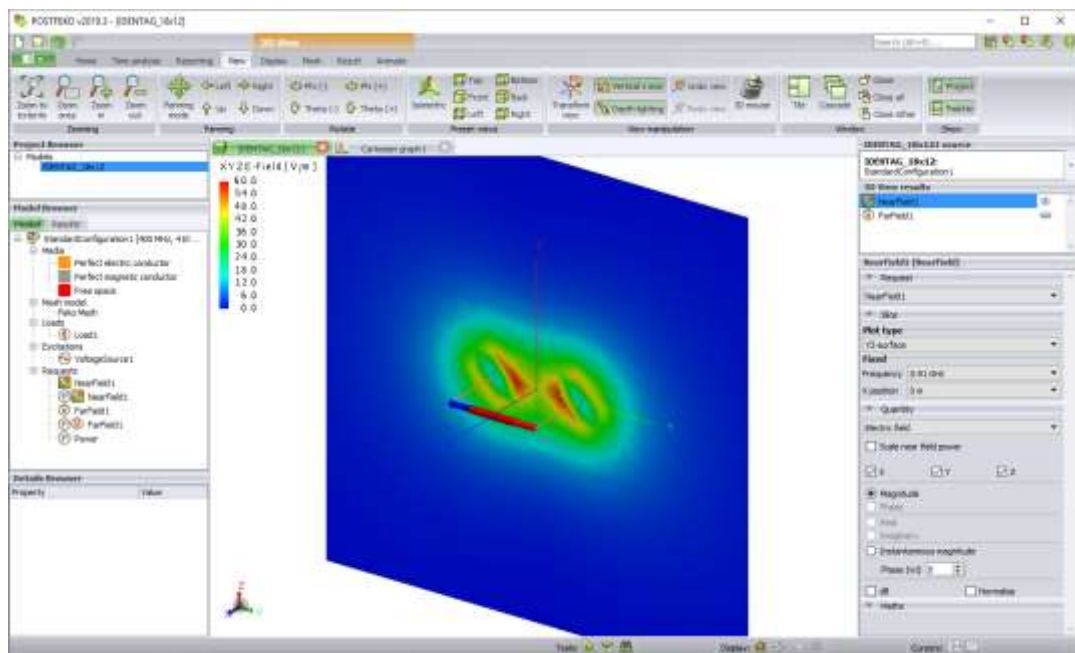
Las siguientes imágenes muestran los resultados de las simulaciones de Altair Feko realizadas con tres variantes de antena diseñadas. Los resultados de las simulaciones dan valores de campo magnético suficientes a 25 cm de distancia del núcleo de la antena, con potencias emitidas por el equipo lector muy bajas.



Análisis del campo eléctrico cercano en la variante de 9x12 mm

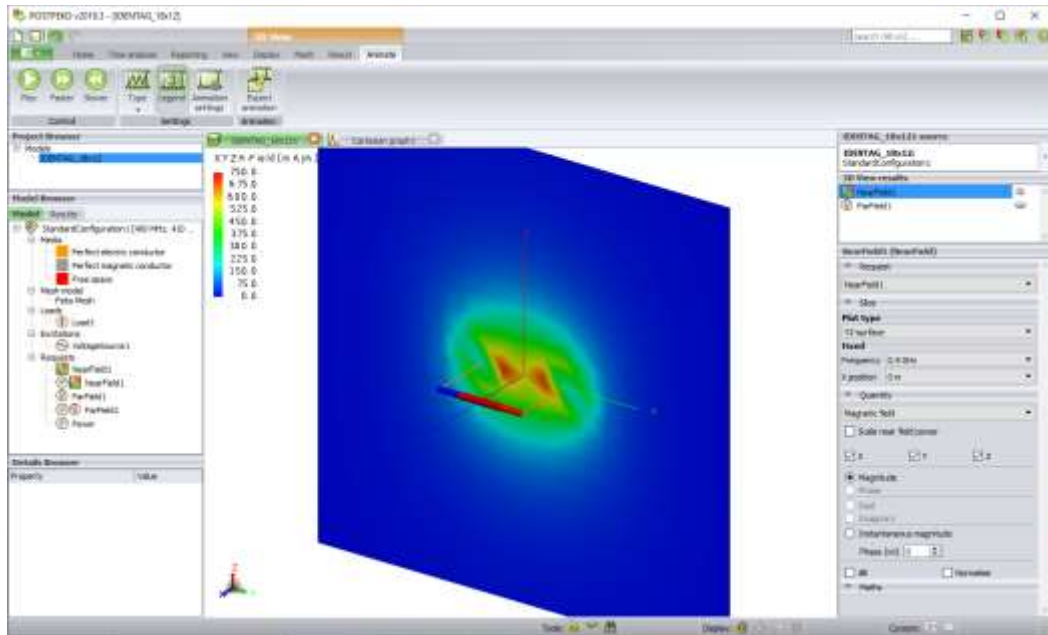


Análisis del campo magnético cercano en la variante de 9x12 mm

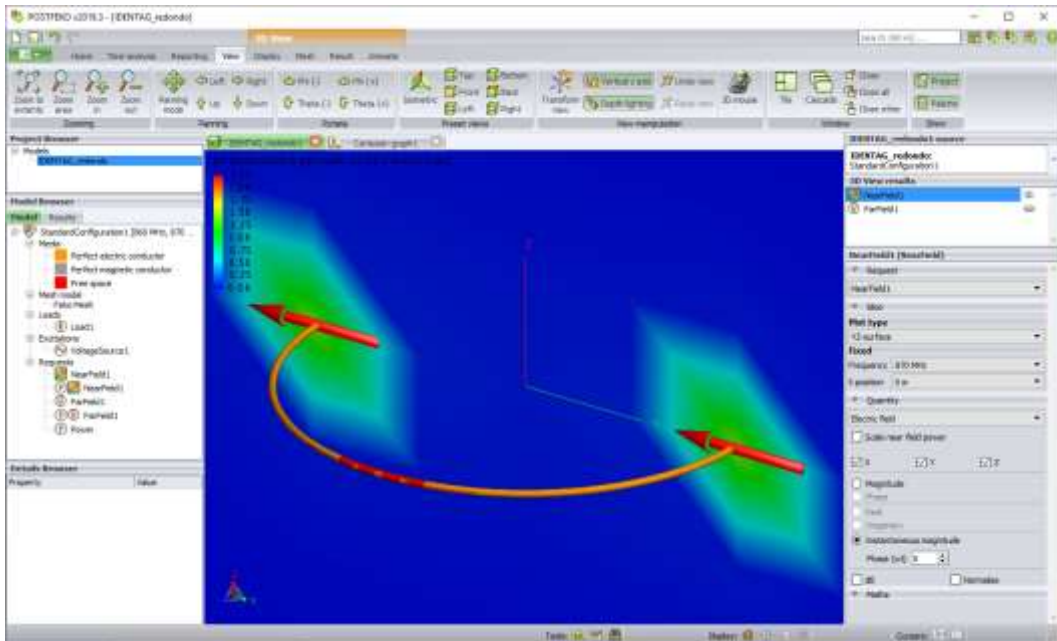


Análisis del campo eléctrico cercano en la variante de 12x18 mm

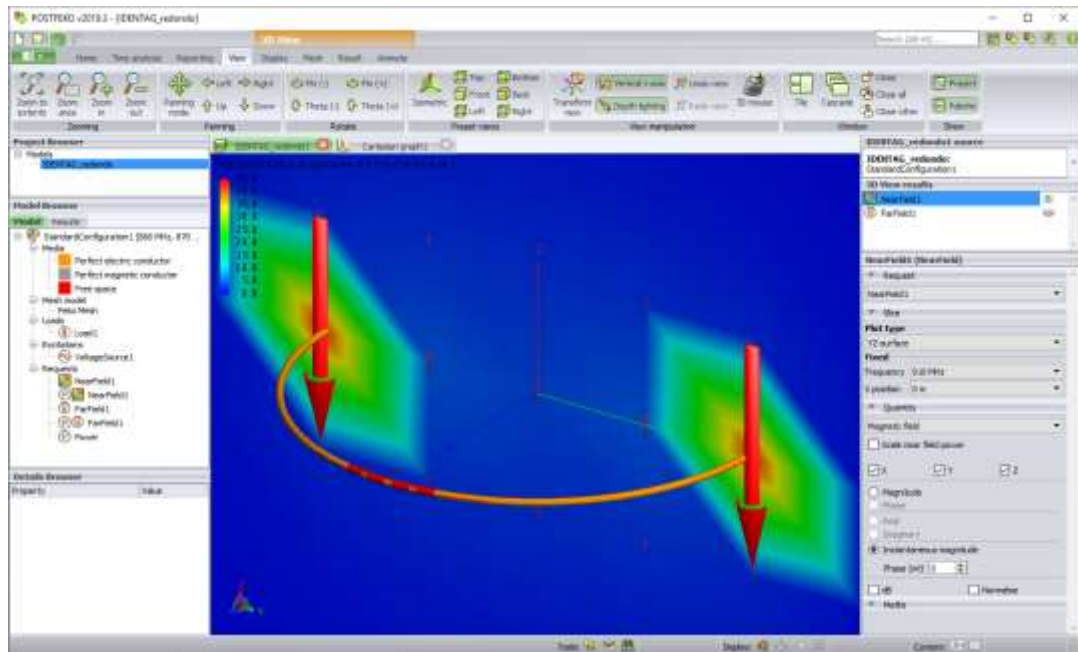
IDENTAG
Resumen resultados



Análisis del campo magnético cercano en la variante de 12x18 mm



Análisis del campo eléctrico cercano con flechas para indicar el flujo en la variante de antena de bucle circular

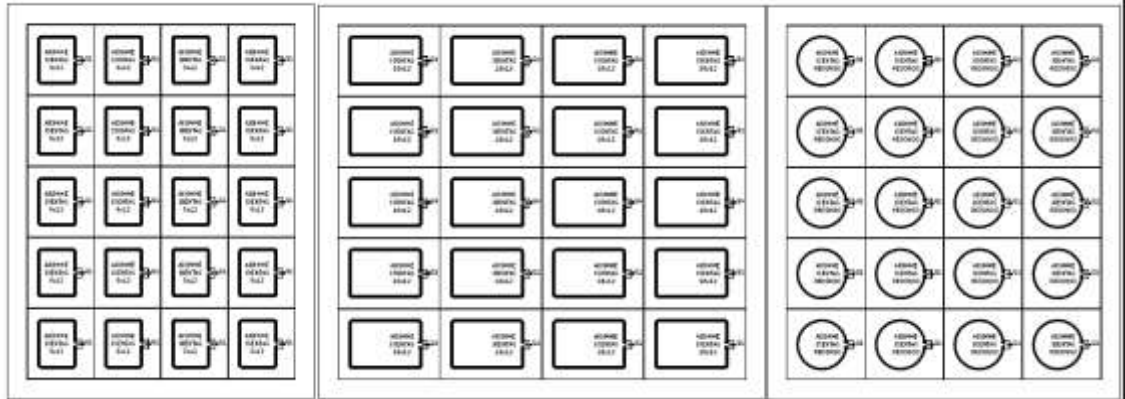


Análisis del campo magnético cercano con flechas para indicar el flujo en la variante de antena de bucle circular

El análisis de las antenas demuestra que la primera variante (ganancia = 0,0020) y la tercera variante (ganancia = 0,0020) tienen la misma ganancia porque tienen la misma superficie de captación. La segunda variante (ganancia = 0,0090) tiene una ganancia superior como se esperaba, ya que dispone de una superficie que duplica aquella de las otras dos variantes.

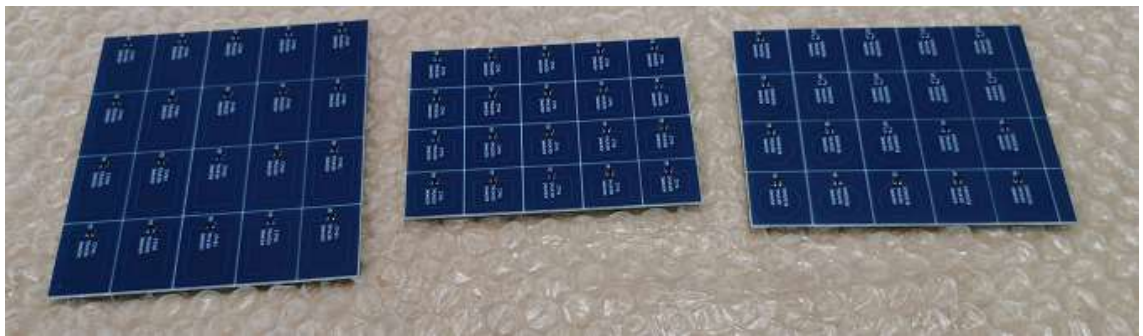
Una vez diseñadas las diversas configuraciones y verificadas teóricamente sus prestaciones, se procede a solicitar su fabricación a un proveedor externo. La empresa fabricante del chip ALLIEN TECHNOLOGIES, a través de su distribuidor para Europa, facilita cincuenta unidades de muestra para construir los prototipos.

Se facilita al proveedor tanto el diseño de una pequeña placa PCB con el chip y los tres modelos de antena, como el diseño de un bloque de 20 placas de cada modelo, a solicitud del proveedor, ya que la fabricación se simplifica con este tipo de bloque.



Diseño de bloques de PCB para fabricación

El resultado se muestra en las siguientes imágenes.



Placas PCB fabricadas



Detalle de la PCB con la antena circular de 5,86 mm de radio (tamaño real de la placa 16 mm x 18 mm)

Con los tres modelos de tag y el dispositivo de mano C72 Chainway se han realizado lecturas preliminares para identificar el rango de distancias con la que se podrá trabajar en pruebas posteriores. En las siguientes imágenes se muestra un ejemplo de las pruebas realizadas con los diferentes modelos de etiquetas.



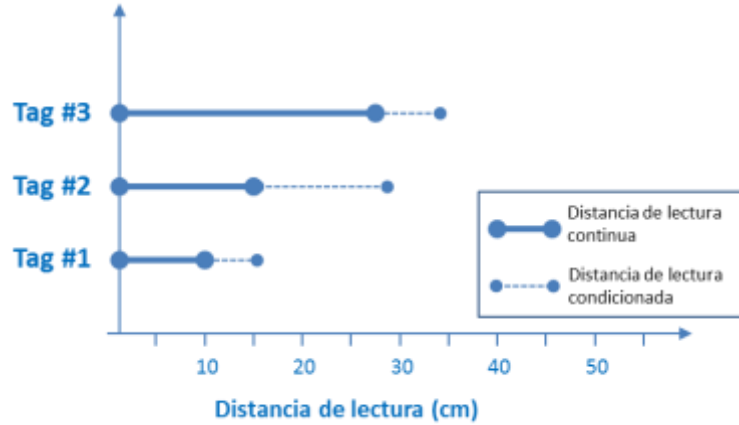
Medición del alcance de lectura de cada modelo de tag

Como resultado, se ha identificado que:

- El modelo de tag #1 (9x12) se ha leído de forma continuada hasta una distancia de 10 cm. A partir de ahí se ha conseguido leer el tag de forma interrumpida a 15 cm variando la orientación del lector. Se han obtenido lecturas ocasionales en alguna distancia algo mayor, sin alcanzar ninguna repetitividad en dicho resultado.
- El modelo de tag #2 (12x18) se ha leído de forma continuada hasta una distancia de 15 cm. A partir de ahí se ha conseguido leer el tag de forma interrumpida a 30 cm variando la orientación del lector. Se han obtenido lecturas ocasionales en alguna distancia algo mayor, sin alcanzar ninguna repetitividad en dicho resultado.
- El modelo de tag #3 (circular de 5,86 mm de radio) se ha leído de forma continuada hasta una distancia de 30 cm. A partir de ahí se ha conseguido leer el tag de forma interrumpida a 35 cm variando la orientación del lector. Se han obtenido lecturas ocasionales en alguna distancia algo mayor, sin alcanzar ninguna repetitividad en dicho resultado.

En la siguiente figura se muestra un resumen de los resultados obtenidos. En el eje x se han marcado las distancias de lectura en tramos de 5 cm. Cada línea superior representa un modelo de tag, donde la línea continua gruesa indica el tramo donde el tag se lee de forma continuada, y el tramo de línea discontinua representa el rango de

distancia donde el tag se leía de forma interrumpida (en función de la orientación dada al lector).



Alcances efectivos de lectura en cada diseño

En pruebas posteriores del PT6, queda pendiente verificar el alcance de lectura de cada tag y el efecto de la orientación del mismo frente al lector, junto con las condiciones “ambiente” de un entorno de fábrica.

Como puede apreciarse, el mayor alcance se consigue con la antena circular, aunque según las hipótesis planteadas debería haber sido el modelo #2.

4 DESARROLLO DE PILOTOS Y VALIDACIÓN.

Las pruebas de validación utilizando a empresas como input del proceso de validación se han dividido en dos etapas secuenciales.

En primer lugar (Etapa 1), con los resultados obtenidos y equipamiento (tags y lectores) del paquete de trabajo PT4 (Caracterización de productos y soluciones) se han llevado a cabo 2 pruebas piloto en empresas de fabricación de mobiliario. Estas pruebas han permitido confirmar los resultados alcanzados en el PT4, y extraer información relevante acerca de las condiciones en las que un sistema de identificación de RFID debería de trabajar en la empresa.

Por último (Etapa 2 de la validación) se han llevado a cabo las pruebas y test sobre los nuevos modelo de tag, empleando además equipos de lectura y grabación RFID adquiridos para ampliar el rango de posibilidades de lectura y escritura tanto de equipos fijos, como de terminales móviles.



Organización de las pruebas.

4.1 Pruebas piloto.

Pruebas en ROYO SPAIN

Se han llevado a cabo pruebas en 3 zonas de la empresa:

- Prueba 1. Zona de salida de piezas de la seccionadora.
- Prueba 2. Zona del cargador de piezas a la chapadora de cantos.

- Prueba 3. Zona de buffer de piezas antes de sección de mecanizado.

Previamente al inicio de las pruebas se ha llevado a cabo una lectura preliminar, realizando un barrido por si existiera alguna lectura ajena e identificarla. No se han identificado tags RFID existentes en la empresa que pudieran llevar a confusión en la fase de análisis de datos.

Prueba 1.

En esta localización se procede a fijar los modelos de etiquetas A y B en un lateral a las piezas (canto de las piezas que han salido de la seccionadora). El etiquetado del lote se realiza en 2 partes de la pila de piezas existentes en una cala, más concretamente en la parte superior y en la parte inferior, dejando la parte central de la pila de piezas sin etiquetar. En total, se han utilizado 6 etiquetas del modelo A y 6 etiquetas del modelo B en la parte superior de la pila, y otras 6 de cada modelo en la parte inferior de la misma. En la siguiente imagen se puede apreciar la ubicación de las etiquetas de RFID sobre las piezas.



Lectura de etiquetas modelo A y B a la salida de la seccionadora.

Hay que tener en cuenta que en esta ubicación podemos encontrarnos con múltiples lotes apilados unos juntos a otros y dispuestos encima de rodillos metálicos.

Las lecturas se han realizado a una distancia máxima de 1 metro dada la configuración de los caminos de rodillos que impedían realizar la prueba a mayor distancia. Y se han repetido las lecturas reduciendo la distancia a 50, 30 y 20 centímetros.

Asimismo en esta ubicación se han podido realizar lecturas desde 2 localizaciones. Una de forma lateral (lector situado perpendicularmente al canto etiquetado) y de forma frontal (lector paralelo al canto etiquetado).

Prueba 2.

En esta prueba la configuración de las etiquetas es exactamente igual que en la prueba 1. La distancia de las lecturas está condicionada por la configuración de la máquina, ya que esta dispone de 2 alimentadores automáticos con un enjaulado de protección. Este enjaulado obliga a realizar las lecturas a una distancia considerable y tendrá influencia en las lecturas al tratarse de un elemento metálico.

El lateral etiquetado queda ubicado hacia la zona exterior del alimentador con lo que las lecturas se realizan de forma perpendicular a dicha cara y por tanto a las etiquetas.

Es posible realizar la lectura fuera de la jaula de protección, en la cabecera de la línea de alimentación pero para ello hay que realizar una parada en el proceso, ya que los rodillos en esta línea son motorizados.



Lectura desde fuera del enjaulado del cargador de la chapadora de cantos.

Prueba 3.

En esta prueba las etiquetas de RFID se han colocado sobre las caras de las piezas (no sobre el canto como en las pruebas 1 y 2). Al igual que en la zona de la chapadora de cantos la distancia de las lecturas están condicionadas por la configuración de la máquina. También dispone de alimentador automático de piezas con jaula de protección.

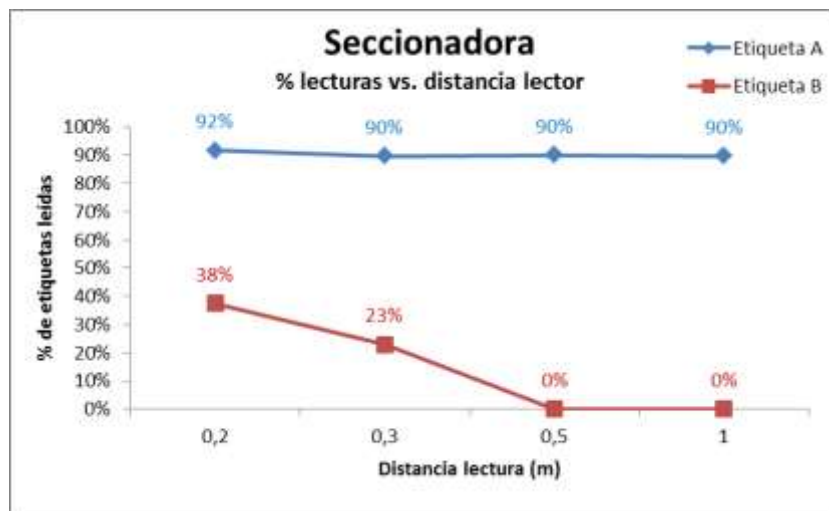


Ubicación de etiquetas de RFID para la prueba 3.

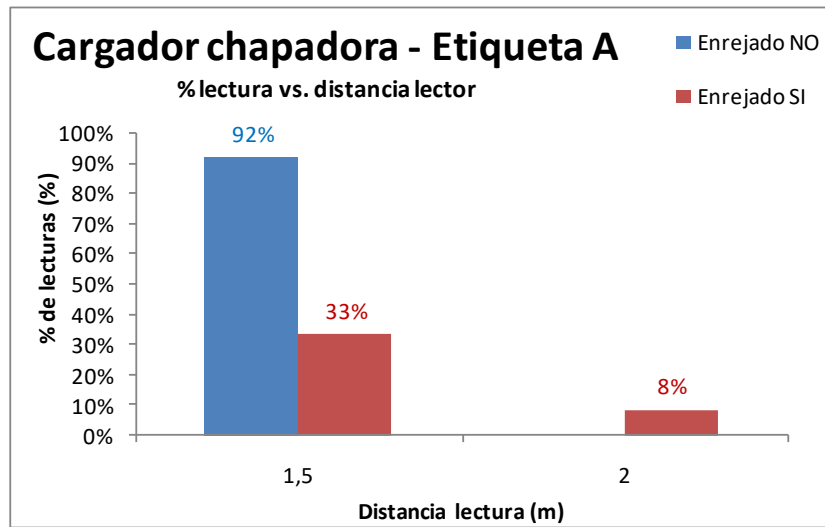
Las lecturas se realizaran a la distancia mínima que permite el enjaulado. Asimismo se puede realizar lectura fuera del área enjaulada en los rodillos de la parte inicial del alimentador, siendo en esta zona la distancia menor que en la zona de la jaula.

Resultados obtenidos

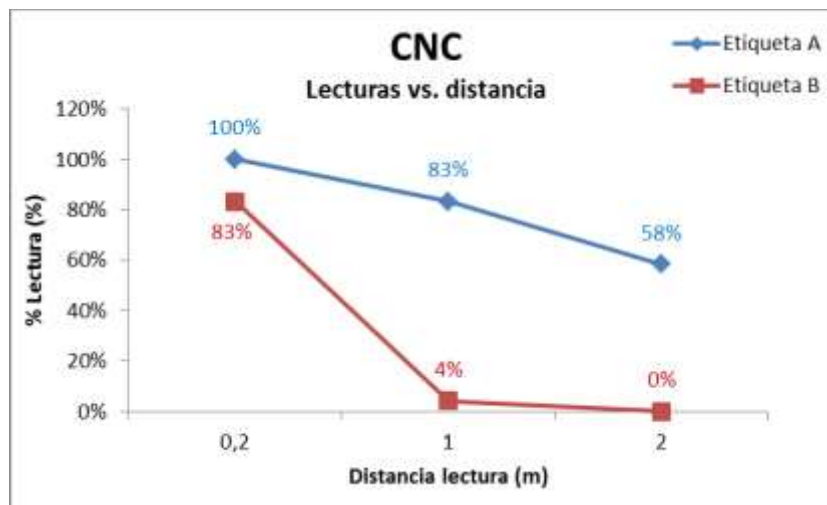
Los resultados detallados se pueden revisar en el entregable del proyecto. Seguidamente se ofrecen algunas gráficas significativas y las conclusiones.



Porcentaje de lectura de etiquetas (modelos A y B) en función de la distancia del lector.



Comparativa entre lecturas con enrejado y sin enrejado.



Porcentaje de etiquetas leídas en función de la distancia

Conclusiones

En función de los objetivos marcados al inicio de la prueba piloto se puede concluir respecto de los mismos:

OBJETIVO 1.- Confirmar en un entorno real, la diferencia en cuanto al ratio de lectura de los modelos de etiquetas A y B detectada en laboratorio de AIDIMME.

CONFIRMADO. La diferencia en cuanto a rendimiento de la etiqueta “modelo A” respecto del “modelo B” (con una antena mucho más pequeña) es notable.

Con el “modelo B” no se ha alcanzado en ningún caso un ratio de lectura de etiquetas del 100%.

OBJETIVO 2.- Confirmar en un entorno real las distancias de lectura que garantizan un 100% de ratio de lectura.

CONFIRMADO. En las pruebas de laboratorio de AIDIMME se alcanzaba el 100% de etiquetas leídas hasta 1m de distancia entre los tags y el lector. En las pruebas realizadas, solo en pruebas puntuales con el modelo de etiqueta A se ha alcanzado el 100% de lecturas a distancias cortas.

Una de las etiquetas ubicada en piezas inferiores de la cala no se leía. Se estima probable la incidencia del metal de los rodillos y guías sobre el que viajan las calas como el causante de no lograr el 100% de lecturas en distancias menores a 1 metro.

OBJETIVO 3.- Identificar posiciones de lectura u orientaciones, particulares de un layout de una fábrica real que impiden la lectura.

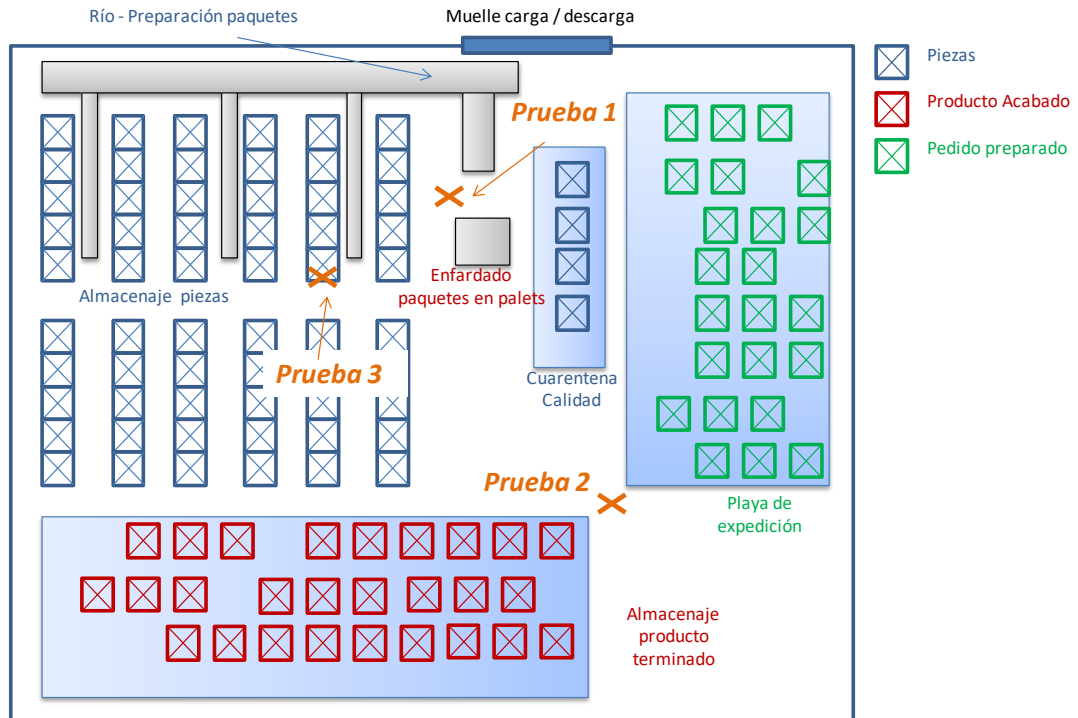
En ninguna de las 3 ubicaciones de las pruebas se han identificado datos, que muestren diferencias excepcionales en cuanto a las distancias y ratios de lectura.

Si que se ha observado diferencias entre el porcentaje de lectura a través del enrejado del cargador de la prueba 2 y de la prueba 3. Dado que el enrejado parece similar en ambas ubicaciones, la ubicación de las etiquetas en las caras (lo que les otorga mayor separación entre las mismas) parece haber favorecido las lecturas.

Pruebas en RANDAL

Se han llevado a cabo pruebas en 3 zonas de la empresa, marcada con una “X” de color naranja en el esquema mostrado a continuación:

- Prueba 1. Zona de consolidación de paquetes de producto acabado.
- Prueba 2. Zona de preparación de pedidos a playa de expedición.
- Prueba 3. Zona de almacenaje de piezas.



Esquema de planta y zonas donde se han realizado las pruebas

Las pruebas 1 y 2 se han llevado a cabo sobre paquetes de producto acabado. La prueba 3 se ha llevado a cabo sobre piezas.

Previamente al inicio de las pruebas se ha llevado a cabo una lectura preliminar, realizando un barrido por si existiera alguna lectura ajena e identificarla. No se han identificado tags RFID existentes en la empresa que pudieran llevar a confusión en la fase de análisis de datos.

Pruebas 1 y 2.

Se han etiquetado con los modelos A y B un palet de producto terminado en la zona identificada como "prueba 1".

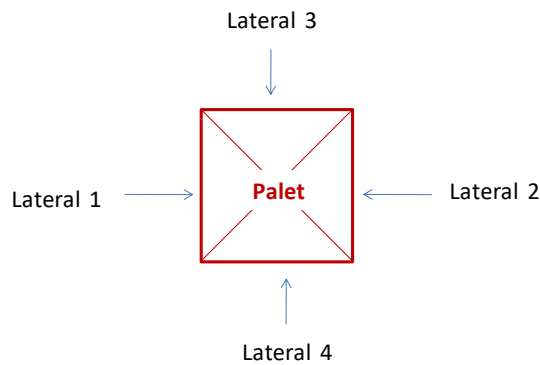
Se han fijado con un poco de cinta adhesiva removible para no dañar el embalaje del producto en el momento de retirarlas. El palet de las pruebas contenía 9 paquetes de la misma referencia de producto acabado. Las etiquetas se han fijado justo al lado de la etiqueta actual del paquete (con código de barras).



Esquema del palet y ubicación de etiquetas RFID..

Una vez finalizada la colocación de etiquetas en los paquetes de producto acabado en el palet, se han realizado varias lecturas del mismo modificando los siguientes parámetros:

- Posición de lectura: lateral 1, lateral 2, lateral 3, lateral 4, vuelta completa. Lateral 1, 2, 3, 4 hacen referencia a cada uno de los 4 lados del palet. Vuelta completa es una lectura que se lleva a cabo rodeando el palet completamente (360º), y que cubriría los 4 laterales.



Laterales del palet leído.

- Distancia de lectura: 4m, 3m, 2m, 1m, 0'5m. Se trata de la distancia del lector de RFID al palet. Al tratarse la lectura de varios paquetes en un palets. La distancia de lectura de cada etiqueta es diferente y algo mayor a la indicada, según la posición específica del paquete en el palet, y de la etiqueta dentro de cada paquete.

Las distancias de 2, 3 y 4 metros solo se han podido testar en la zona del lateral 1 del palet, ya que en el resto de posiciones no existía distancia para dicha lectura.



Ejemplo de lectura realizada

- Modelo de etiqueta: modelo A, modelo B. Se colocan sobre cada paquete de producto acabado (9 en total) una etiqueta del modelo A y una etiqueta del modelo B.
- Capa. Hace referencia al nivel de apilado de los paquetes de producto acabado sobre el palet. Capa 1 (nivel de suelo), Capa 2.

Prueba 3.

Se procede a fijar las 9 etiquetas RFID del modelo A y las 9 del modelo B sobre una pila de piezas, almacenadas sobre palet de madera en una estantería metálica de tipo convencional.

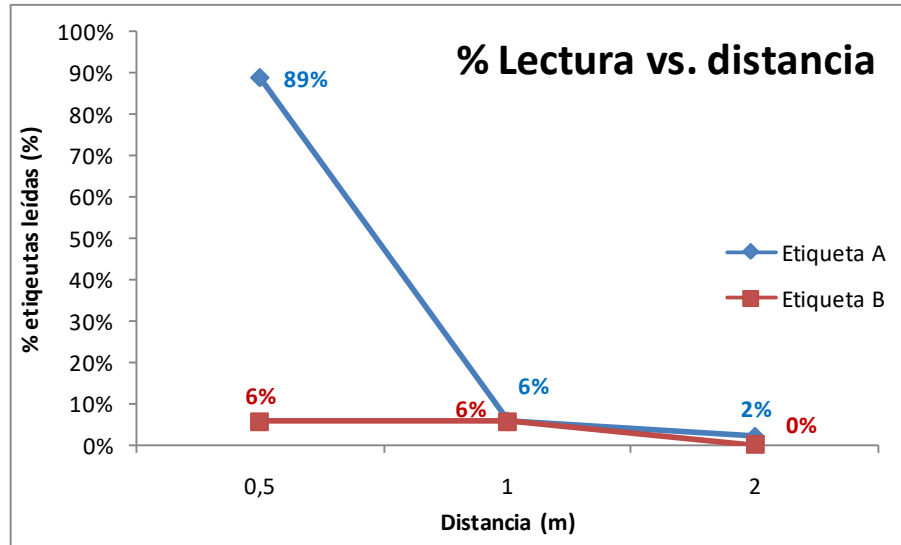


Etiquetas RFID fijadas a piezas.

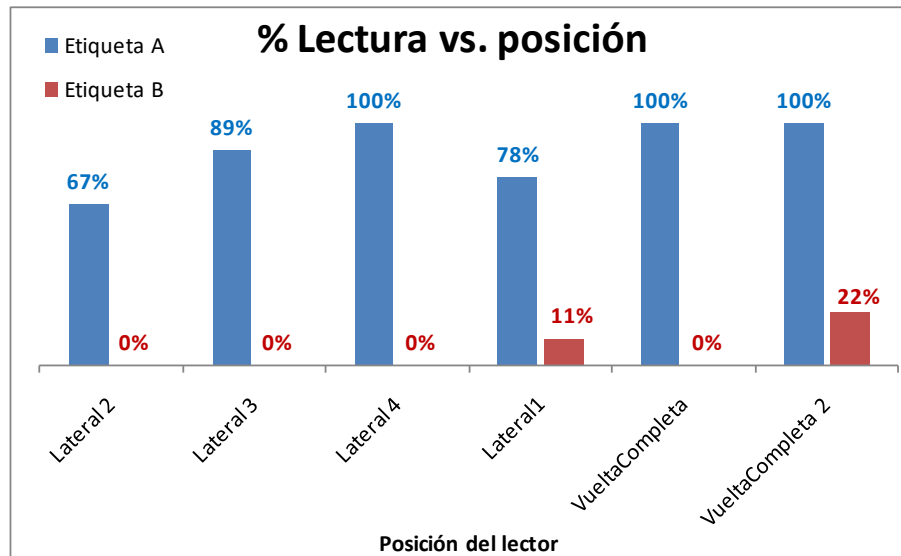
Se han realizado pruebas de lectura a una distancia variable de 0'5, 1 y 2 metros.

Resultados obtenidos

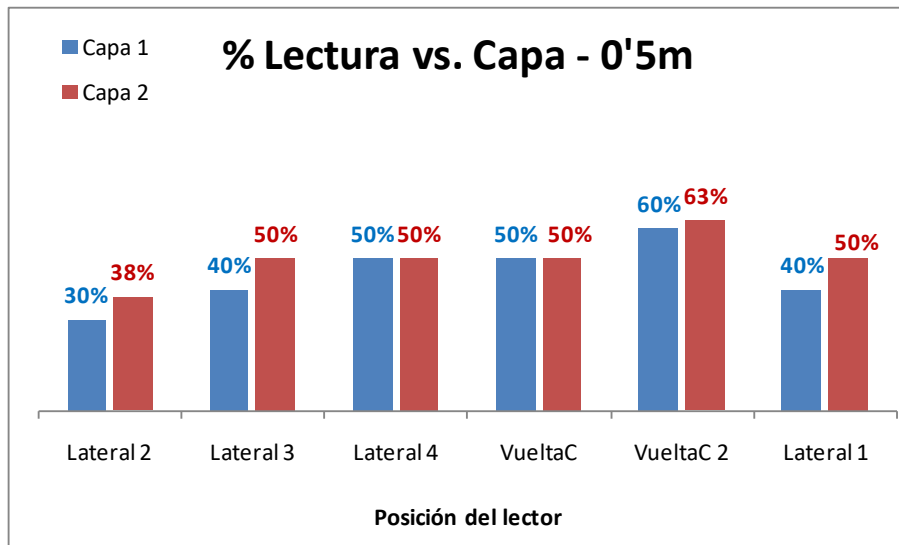
Los resultados detallados se pueden revisar en el Entregable 6.1. Seguidamente se ofrecen algunas gráficas significativas y las conclusiones.



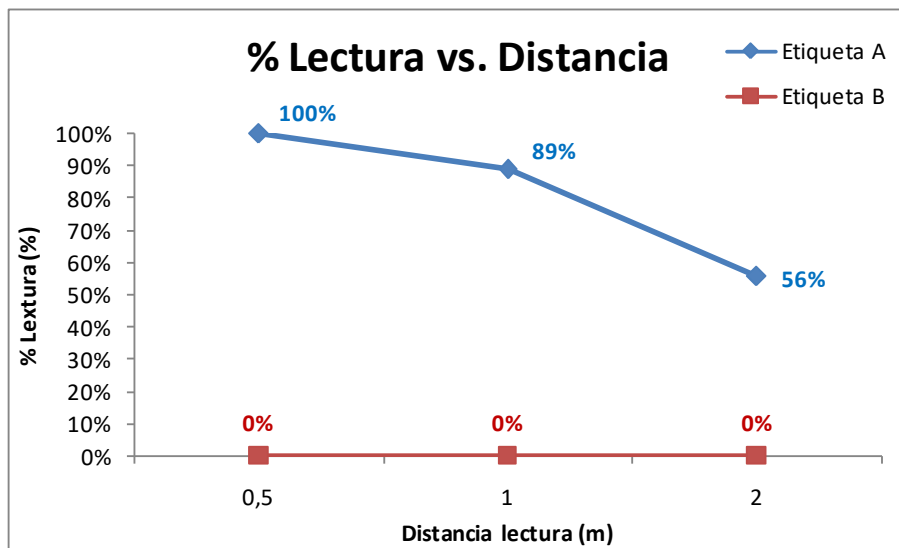
Porcentaje de etiquetas leídas (i).



Porcentaje de etiquetas leídas (ii).



Porcentaje de etiquetas leídas (iii).



Porcentaje de etiquetas leídas con las piezas almacenadas en estantería convencional (vi)

Conclusiones

En función de los objetivos marcados al inicio de la prueba piloto se puede concluir respecto de los mismos:

OBJETIVO 1.- Confirmar en un entorno real, la diferencia en cuanto al ratio de lectura de los modelos de etiquetas A y B detectada en laboratorio de AIDIMME.

CONFIRMADO. La diferencia en cuanto a rendimiento de la etiqueta “modelo A” respecto del “modelo B” (con una antena mucho más pequeña) es notable.

Con el “modelo B” no se ha alcanzado en ningún caso un ratio de lectura de etiquetas del 100%.

OBJETIVO 2.- Confirmar en un entorno real las distancias de lectura que garantizan un 100% de ratio de lectura.

CONFIRMADO. En las pruebas de laboratorio de AIDIMME se alcanzaba el 100% de etiquetas leídas hasta 1m de distancia entre los tags y el lector. En las pruebas realizadas, dicha distancia ha sido de 0'5 metros.

Sin embargo, esta distancia es coherente con los resultados previos, ya que la distancia medida en ésta prueba era desde el lector al palet (800 x 1.200 mm), por lo que alguna etiquetas leídas se podrían encontrar realmente a una distancia de entre 1 y 2 metros.

En cualquier caso, una configuración con 2 lectores de RFID en modo arco garantizaría un 100% de lectura de etiquetas.

OBJETIVO 3.- Identificar posiciones de lectura u orientaciones, particulares de un layout de una fábrica real que impiden la lectura.

En ninguna de las 3 ubicaciones de las pruebas se han identificado datos, que muestren diferencia en cuanto a las distancias y ratios de lectura. La presencia de maquinaria o pilares metálicos no ha afectado a las lecturas realizadas.

4.2 Escenarios de validación.

Para diseñar los escenarios de validación se han tenido en cuenta 7 parámetros a controlar surgidos de las pruebas internas llevadas a cabo en el PT4 y de los resultados iniciales obtenidos en las pruebas en las instalaciones de las empresas participantes.

Para la realización de pruebas se han identificado los siguientes aspectos o parámetros variables:

- 3 nuevos tags RFID diseñados por AIDIMME, identificados como sigue:

Modelo	Tamaño de antena
#1	9 mm x 12 mm
#2	12 mm x 18 mm
#3	Circular

- 5 posibles equipos de lectura (4 de ellos no testados en pruebas anteriores).
- Distancias de lectura variables en función del layout en planta y espacio disponible para operarios y materiales. En muchas circunstancias es difícil disponer de más de 1 metro de distancia libre.
- Es posible que en algunas aplicaciones se requiera de más de 1 antena leyendo de forma conjunta para garantizar un 100% de tags leídos.
- En algunas aplicaciones la lectura debería de realizarse con las piezas en movimiento.
- En algunas aplicaciones es posible que haya que realizar lecturas a través de un enrejado metálico.

Se ha decidido fijar las diferentes posibilidades de cada uno de los parámetros según las opciones mostradas en la siguiente tabla, de modo que se estandarice en la medida de lo posible el tipo de pruebas a realizar.

Parámetro a controlar	Posibilidades
[1] Tags diseñados	3 tipos de tags: Modelos #1,#2, #3
[2] Equipos de lectura	5 equipos diferentes
[3] Distancias de lectura	3 opciones: 20, 50, 100 cm
[4] Orientación del tag	3 orientaciones: A-frontal al lector, B-perpendicular al lector, C-parte trasera del tag frontal al lector
[5] Número de	2 opciones: 1 sola antena, 2 antenas en configuradas

antenas leyendo de forma conjunta	en modo arco
[6] Movimiento de los tags	2 opciones: Si, No.
[7] Lectura a través de enrejado	2 opciones: Si, No

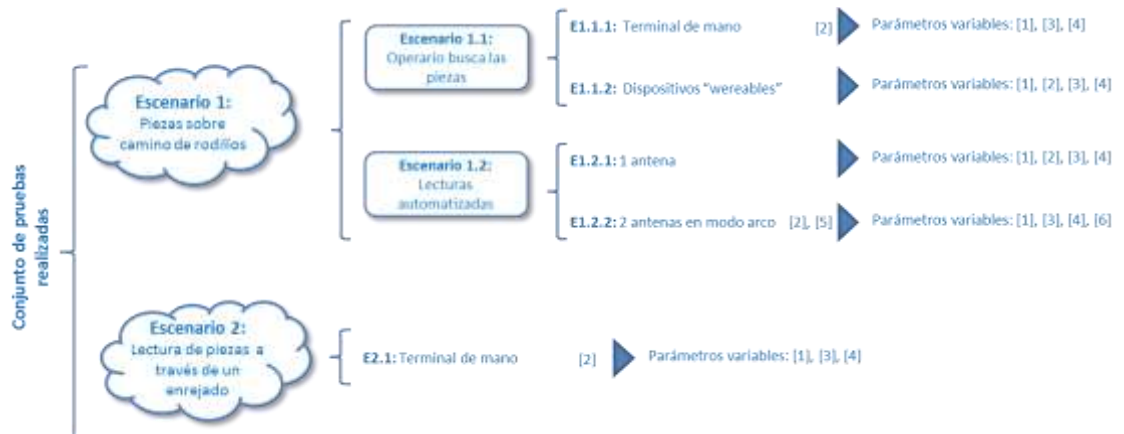
A partir de aquí se han considerado dos escenarios básicos para las pruebas:

- Escenario 1: Las piezas avanzan entre secciones de la fábrica sobre caminos de rodillos, y es en éstas zonas donde se realizan las lecturas.
- Escenario 2: Las piezas han pasado dentro de una máquina y se intenta realizar la lectura a través del enrejado de protección de dicha máquina.

Dentro del Escenario 1, se contemplan diferentes ramificaciones al mismo:

- Escenario 1.1: Es el operario el que busca las pieza y realiza la lectura con un terminal portátil. Dentro de éste subescenario se planteado dos posibilidades más:
 - o Una lectura con un terminal de lectura RFID “clásico” como el modelo C72 Chainway.
 - o Una lectura con terminales considerados como “weareables”.
- Escenario 1.2: Las piezas se mueven por el camino de rodillos y la lectura se produce de forma automatizada, con terminales y antenas RFID fijas, sin actuación de un operario. Dentro de éste subescenario se plantean, de nuevo, dos posibilidades:
 - o Lectura con una sola antena.
 - o Lectura simultánea con dos antenas.

En la siguiente figura se muestra el resumen de los escenarios planteados y los parámetros manejados en cada uno de ellos.



Resumen de escenarios de la validación.

Preparación de muestras a ensayar.

Para la realización de las pruebas se han adherido los tag a los cantos de las piezas probetas de madera de superficie 100x100 mm y 16 mm de espesor (canto). Quedando dispuestas tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Ejemplo de probetas utilizados en las pruebas de validación.

Equipos de lectura empleados.

Para las pruebas de lecturas se han empleado distintos equipamientos:

- Dispositivo de mano C72 Chainway.
- Lector de largo alcance Feig Electronic ISC.LR1002 con antenas UHF externas.



Lector FEIG electronics ISC.LR1002

- Lector de proximidad Feig Electronic ISC.MR102 con antena integrada.



Lector FEIG electronics ISC.MR102

- Dispositivo wearable Feig Hywear.



Dispositivo FEIG Hywear

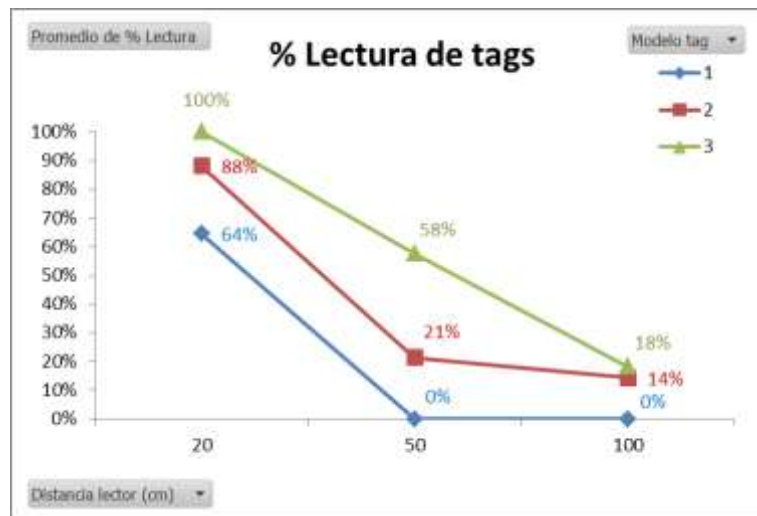
- Dispositivo wearable Chainway R5.



Dispositivo Chainway R5.

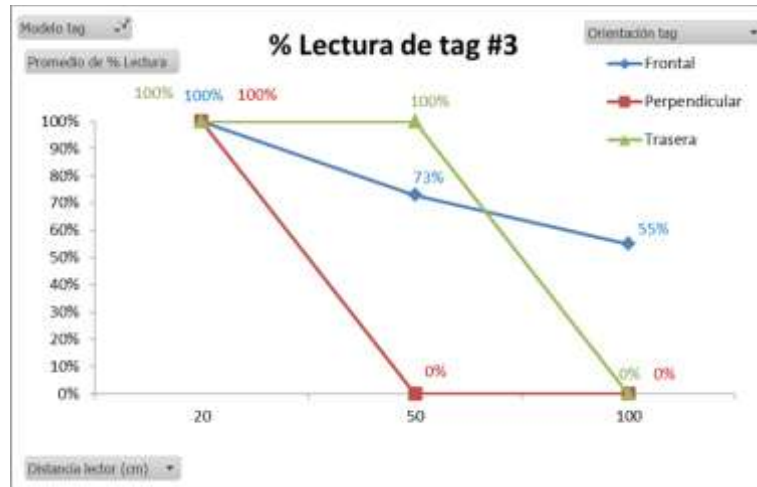
Pruebas de validación

En el entregable del proyecto se detallan los resultados de las pruebas realizadas. Seguidamente se muestran algunas gráficas significativas y las conclusiones



Promedio de porcentaje de tags leídos con lector portátil (i).

El modelo de tag #1 solo ha sido legible en la prueba a 20cm, sin alcanzar el 100% de lecturas en ninguna de las orientaciones del tag.

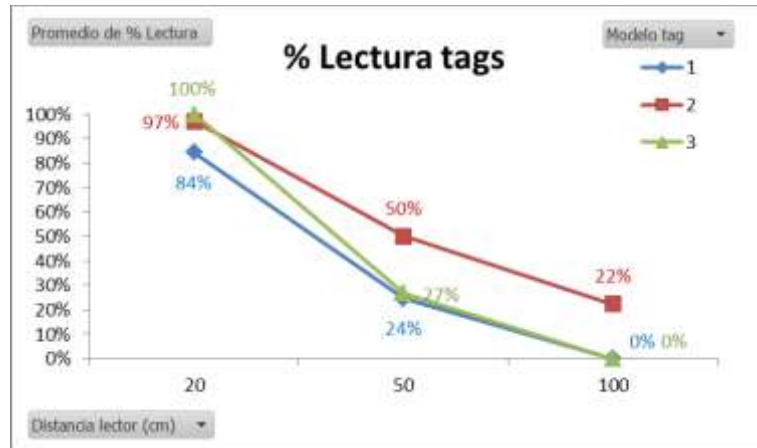


Promedio porcentaje tags leídos modelo #3 con lector portátil según posición



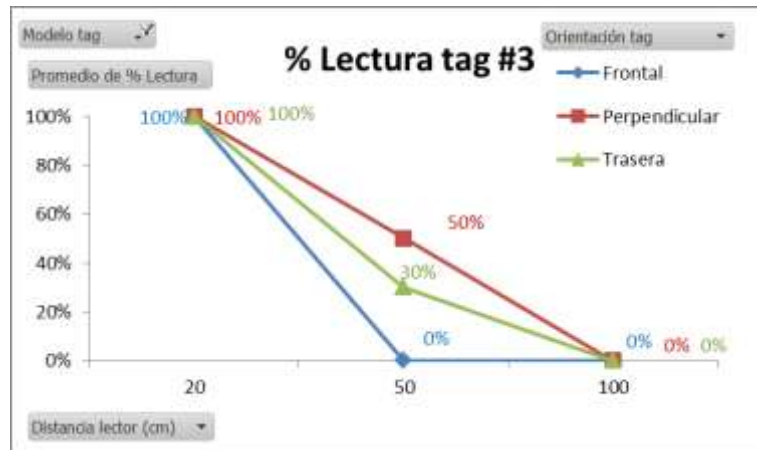
Ejemplo de lecturas realizadas con dispositivo Chainway R5

Con éste modelo de lector los resultados han sido algo mejores para el tag modelo #2 que para el tag modelo #3 (al contrario que con el primer lector).

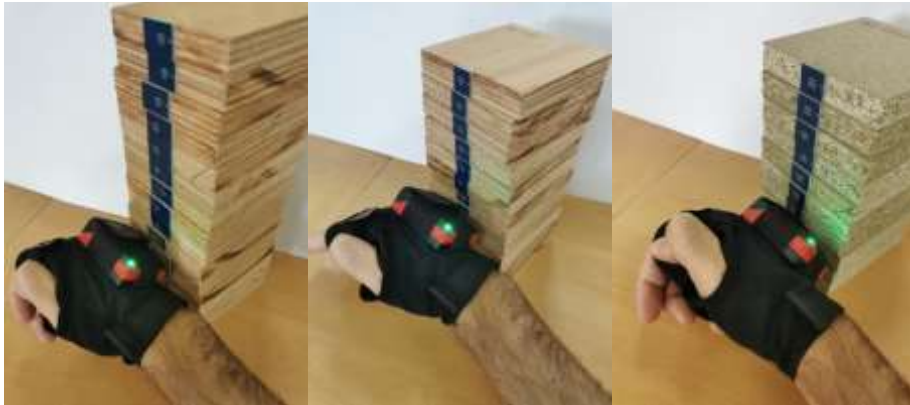


Promedio de porcentaje de tags leídos con el wearable R5 (i).

Con el modelo #3 se alcanza un 100% de promedio de lecturas en cualquier orientación a 20cm.



Promedio de porcentaje de tags leídos modelo #3.



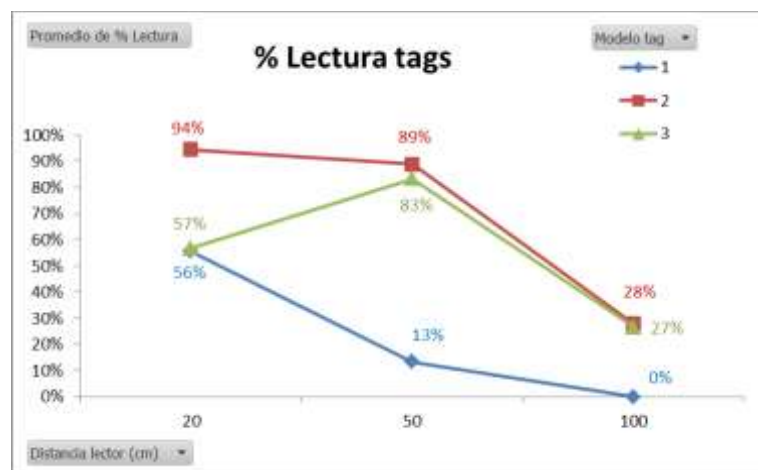
Ejemplo de lecturas realizadas con el dispositivo Feig Hywear

El resultado obtenido con el wearable Feig Hywear es que los tags solo pueden ser leídos con una orientación “frontal” a una distancia no superior a 1 cm.

Para el dispositivo dotado de antenas externas se han realizado las lecturas con los mismos parámetros de distancia y posicionamiento de los tag, que en el caso de los dispositivos manuales.

Pero se ha incluido una nueva variable como es la de realizar las lecturas con 1 y 2 antenas, y en este último caso añadiendo desplazamiento a la cala con las piezas para aprovechar todo el rango de lectura que genera la utilización de más de 1 antena.

De forma general el modelo de tag #2 ha presentado los mejores porcentajes de lectura promedio. No se ha alcanzado el 100% de lecturas en ninguno de los modelos y distancias.

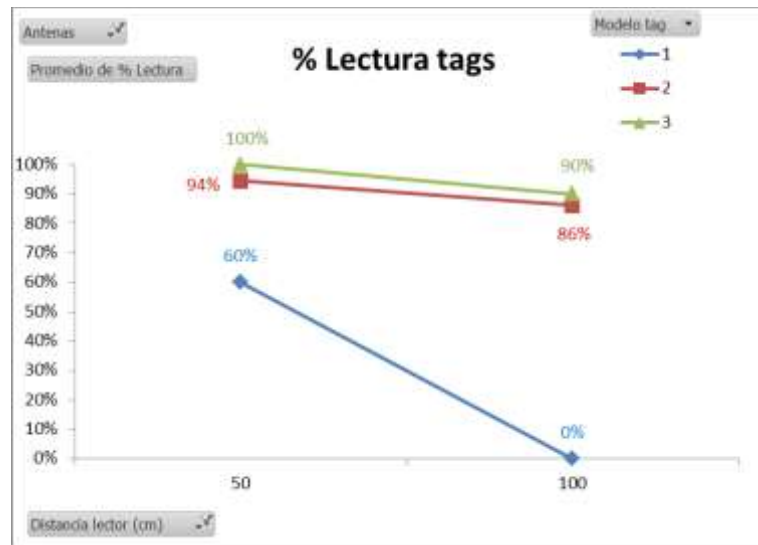


Promedio de porcentaje de tags leídos con una sola antena (i)

Para las lecturas con 2 antenas se han dispuesto las mismas distancias en cada caso, quedando la instalación del arco de lectura con la siguiente configuración que se observa en las imágenes.

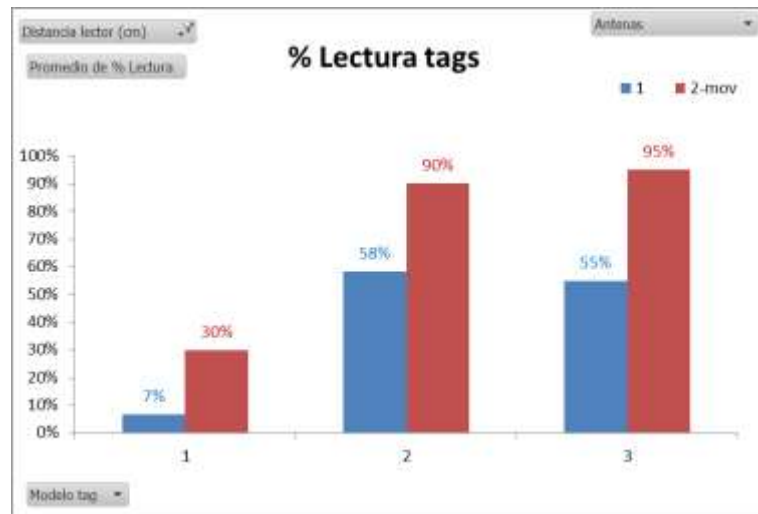


Ejemplo de lecturas realizadas con dos antenas configuradas en modo arco



Promedio de porcentaje de tags leídos con dos antenas (i).

Cuando las lecturas se llevan a cabo con los tags en movimiento sobre el camino de rodillos los porcentajes de lectura mejoran en todos los modelos de tags, alcanzando casi el 100% de lecturas bajo cualquier condición para los tags #2 y #3.



Promedio de porcentaje de tags. Comparativa 1-2 antenas

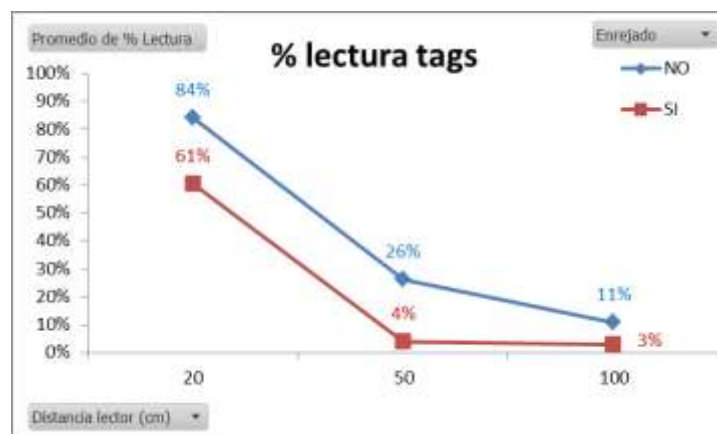
Lectura de piezas a través de un enrejado

También se han emulado en el caso del terminal de mano la condición de ubicación en el interior de una zona con enrejado de seguridad.



Ejemplo de lectura realizada a través del enrejado.



De manera general, se constata como el enrejado disminuye el porcentaje de lectura promedio.





Promedio porcentaje lectura tags. Comparativa “sin” y “con” enrejado.

Conclusiones

Tras la batería de pruebas y validaciones realizadas se puede concluir que los modelos de tag #2 y #3 han presentado resultados compatibles con las prestaciones esperadas para el proyecto. El modelo de tag #1 no ha garantizado el 100% de etiquetas leídas ni siquiera en las distancias más cercanas (20 cm).

Modelo de tag	Resultado
#1	
#2	
#3	

En cuanto a los modelos de lector testados 3 de ellos se consideran válidos para la utilización en una planta de fabricación para aplicación de trazabilidad y seguimiento de piezas. Dos de los modelos solo han permitido la lectura de los tags a distancias muy cortas de 1-2 cm de distancia, por lo que se han catalogado como no adecuados para los resultados deseados para el proyecto.

Modelo de lector	Resultado
Dispositivo de mano C72 Chainway	
Lector de largo alcance Feig Electronic ISC.LR1002 con 2 antenas UHF externas	
Lector de proximidad Feig Electronic ISC.MR102 con antena integrada	
Dispositivo wearable Feig Hywear....	
Dispositivo wearable Chainway R5...	

Con la combinación adecuada de tag y lector, puede garantizarse una lectura del 100% de tags a 20cm de distancia. Para distancias mayores, solo algunas orientaciones del tag han sido adecuadas, y a 100cm no se puede garantizar el 100% de lecturas.

Distancia de lectura	Resultado
20 cm	✓
50 cm	✓
100 cm	✗

Las lecturas a través de un enrejado disminuyen la efectividad del sistema de lectura, y por tanto quedan desaconsejadas.

CONCLUSIONES DE LA VALIDACIÓN Y PRUEBAS PILOTO

Los resultados de las pruebas piloto y escenarios de validación, a efectos de conclusión del proyecto, pueden resumirse como sigue.

Se han realizado pruebas y comparaciones utilizando etiquetas comerciales del tamaño más reducido que se ha podido localizar, obteniéndose el mejor resultado con una etiqueta de 124 mm x 7 mm, WET INLAY UHF H3 96/512B, con chip de Alien Technologies, como la mostrada en la figura siguiente.



Etiqueta A - WET INLAY
UHF H3 96/512B 124x7 mm

Etiqueta comercial con mejores resultados.

Con este modelo de etiqueta se garantiza el 100% de lecturas en cualquier posición de la etiqueta, y a una distancia de 100 cm con una configuración de lectura de dos antenas en modo arco. Con lectores portátiles se garantiza un 100% de lecturas a una distancia de 20 cm en entornos industriales.

Con el modelo de etiqueta #3 diseñado (circular de 5,86 mm de radio), utilizando un chip, se obtienen resultados que se pueden aproximar a los anteriores.



Etiqueta circular de 5,86 mm .

Es decir, con dos antenas, se obtienen porcentajes de lectura del 90% en modo arco, llegando al 100% cuando la pieza se desplaza. Existe cierta dependencia de la orientación del tag respecto a la posición del lector, resultando mejor las posiciones perpendicular y trasera. Con lectores manuales, a 20 cm el porcentaje de lecturas es del 100% en cualquier posición.

El diseño de una antena circular sencilla de unos 12 mm de diámetro, mucho más pequeña que la antena de 124 mm x 7 mm, consigue unas prestaciones muy próximas a ésta, pese a que la superficie de la antena es equivalente a la del modelo de etiqueta comercial que se ha denominado B, de 9 mm x 12 mm. Cabe pensar que en el diseño de los tags se ha planteado una hipótesis incorrecta al asociar la distancia de lectura con la ganancia de la antena, ya que en este supuesto el modelo de antena #2 hubiese resultado mucho más ventajoso en cualquier circunstancia, lo cual no resulta ser cierto en cualquier situación.

Partiendo del diseño #3, se debe refinar el diseño de la antena para conseguir que el porcentaje de lecturas sea del 100% en cualquier orientación, sin aumentar el tamaño del tag, o incrementándolo ligeramente. Más de 12 mm de ancho podría no encajar en todas las piezas que se consideran objetivo.

Un factor que no ha sido posible verificar debido a limitaciones de fabricación, es la mejora (o no) que se podría conseguir si en lugar de trabajar sobre una PCB estándar, el soporte hubiese sido directamente una superficie transferible, bien sea papel o bien lámina plástica.

En cualquier caso, se ha demostrado que es viable diseñar nuevos modelos de antena, manteniendo un coste de fabricación muy bajo y un tamaño también muy reducido, menor incluso que los modelos que actualmente se están comercializando.

5 BIBLIOGRAFÍA

- AIDIMA; AIMPLAS. (2009). *Informe técnico proyecto ETIC-AUTO*. Paterna.
- Alexandres Fernández, S., Rodríguez-Morcillo García, C., & Muñoz Frías, J. (2006). *RFID: La tecnología de identificación por radiofrecuencia*.
- Bevilacqua, M., Mazzuto, G., Ciarapica, F., & Paciarotti, C. (2015). Implementation of a RFID system in a furniture industry involved in the. *International Journal of RF Technologies Research and Applications*.
- Ke-Sheng, W. (2014). Intelligent and integrated RFID (II-RFID) system for improving traceability in manufacturing. *Advances in manufacturing*, Volume 2, Issue 2, pp 106–120.
- Next Points Solutions. (2009). ETIC-AUTO INVESTIG. IND. EN LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE ETIQUETADO INTELIGENTE PARA TRAZABILIDAD DE CONTENEDORES DE PLÁSTICO INYECTADO EN EL TRANSPORTE DE PIEZAS Y COMPONENTES DE AUTOMOCIÓN. Valencia, España.
- Ntalos, G., Skarvelis, M., & Karampatzakis, D. (2010). Tracing thermal treatment in wood using RFID. *'The Future of Quality Control for Wood & Wood Products', 4-7th May 2010, Edinburgh*.
- O'Connor, M. (2010). Finnish Furniture Maker Adds Value Through RFID. *RFID Journal*.
- Sipilä, E., Virkki, J., Wang, J., Sydänheimo, L., & Ukkonen, L. (2016). Brush-Painting and Photonic Sintering of Copper Oxide and Silver Inks on Wood and Cardboard Substrates to Form Antennas for UHF RFID Tags. *International Journal of Antennas and Propagation*.
- Sundog-RFID. (s.f.). <https://sundog-rfid.com/>. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de <https://sundog-rfid.com/>: <https://sundog-rfid.com/>
- Swedberg, C. (2010). Lithuanian Manufacturer Tracks IKEA-bound furniture. *RFID Journal*.
- Swedberg, C. (2014). Online Furniture Retailer Adds RFID to Its Brick-and-Mortar Showroom. *RFID journal*.

- Tapia, D., Cueli, J., García, Ó., Corchado, J., Bajo, J., & Saavedra, A. (2007). Identificación por radiofrecuencia: fundamentos y aplicaciones. *Proceedings de las primeras Jornadas Científicas sobre RFID.*, (págs. 1-5). Ciudad Real, Spain.
- Valero, E., Adan, A., & Cerrada, C. (2015). Evolution of RFID applications in construction: A literature review. *Sensors 15*(7), 15988-16008.
- Vijayaraman, B., Osyk, B., & Chavada, D. (2008). An Exploratory Study of RFID Adoption in the Paperboard. *Journal of technology management & innovation.*
- Virkki, J., Virtanen, J., Sydänheimo, L., Ukkonen, L., & Tentzeris, M. (2012). Embedding Inkjet-printed Antennas into Plywood Structures for Identification and Sensing. *IEEE International conference on RFID - Technologies and applications (RFID - TA).*
- Wessel, R. (2006). RFID Chops Timber Costs. *RFID Journal.*
- Wessel, R. (2009). Wooden-Flooring Companies Embed RFID. *RFID journal.*
- Zhekun, L., Gadh, R., & Prabhu, B. (2004). Applications of RFID technology and smart parts in manufacturing. *Proceedings of DETC'04: ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.* Salt Lake City, Utah USA.