



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



Diseño y desarrollo de una etiquetadora OEM para la trazabilidad de envases en el proceso de reciclaje

**MEMORIA PRESENTADA POR:
GEMA LARROY ALARCÓN**

Máster Universitario en Ingeniería Mecatrónica

DIRECTOR:

Vicente Fermín Casanova Calvo

CODIRECTOR:

Juan de Dios Díaz Marques

Septiembre 2018

Dar las gracias.

A mis compañeros de departamento, por el apoyo recibido en toda esta etapa de incorporación al trabajo laboral y el compañerismo que tenemos en el departamento para realizar nuestro trabajo. Concretamente por la ayuda en este trabajo y el apoyo moral que me han transmitido.

Sobre todo, a José y Miguel, que me introdujeron al proyecto y me han ayudado en las decisiones tomadas, haciéndome ver siempre otros puntos de vista.

También dar las gracias a Juande, por el apoyo diario y el ambiente de trabajo que ha conseguido generar.

A mi familia por todas las oportunidades concedidas a lo largo de todo este tiempo.

Muchas gracias.

Índice de contenidos:

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. PlastiCircle	4
1.1.1. Antecedentes y motivación	4
1.1.2. Economía Circular.....	5
1.1.3. Objetivo del proyecto	5
1.2. Alcance de la memoria	6
2. DISEÑO	7
3. COMPONENTES MECÁNICOS.....	10
3.1. Etiquetas	12
3.2. Ejes de rotación	13
3.3. Eje de etiquetas.....	13
3.4. Tubos de tensión.....	16
3.5. Lámina dispensadora de etiquetas	17
3.6. Paredes	18
4. COMUNICACIONES.....	20
4.1. Estado actual	21
4.2. Requisitos iniciales.....	21
4.3. Comparativa de tecnologías disponibles	21
4.4. Selección	23
5. COMPONENTES ELECTRÓNICOS	24
5.1. Lector código de barras	25
5.2. Arduino UNO.....	25
5.3. Módulo RFID	26
5.4. Motor.....	28
5.5. Módulo LoRa	29
6. PRÓXIMOS PASOS.....	30
7. CONCLUSIÓN	32
8. BIBLIOGRAFÍA.....	34
9. PRESUPUESTO	36

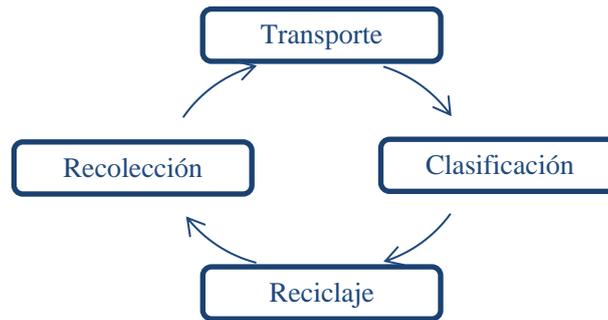
Índice de figuras:

Figura 1 – Gráfico economía circular.....	5
Figura 2 – Disposición de la dispensadora en el contenedor.....	8
Figura 3 – Esquema del dispositivo de las zonas usadas por el usuario.....	8
Figura 4 – Conjunto componentes del dispositivo	11
Figura 5 – Diseño etiqueta PlastiCircle	12
Figura 6 – Eje de rotación de la dispensadora	13
Figura 7 – Detalle del hueco para el eje del motor.....	13
Figura 8 – Tapas de sujeción para el eje de etiquetas.....	13
Figura 9 – Tapón de cierre	14
Figura 10 – Detalle del tapón de cierre	14
Figura 11 – Tapa exterior del eje de etiquetas.....	15
Figura 12 – Mecanismo de sujeción con la pared	15
Figura 13 – Rodillos tensionadores	16
Figura 14 – Tapas de sujeción para los tubos tensores.....	16
Figura 15 – Mecanismo de sujeción con la pared	17
Figura 16 – Lámina dispensadora de etiquetas.....	17
Figura 17 – Alzado y perfil de lámina dispensadora de etiquetas	18
Figura 18 – Diseño 3D de paredes del dispositivo	18
Figura 19 – Prototipo inicial de dispensadora de etiquetas	19
Figura 20 – Arduino UNO.....	25
Figura 21 – Disposición pines Arduino UNO	26
Figura 22 – Módulo RFID – RC522	26
Figura 23 – Conexión RFID - RC522 y arduino	27
Figura 24 – Motor Stepper 28BYJ-48 y módulo driver UL2003	28
Figura 25 – Conexión del motor stepper28BYJ-48 con Arduino.....	28
Figura 26 – Módulo LoRa SX1272 y shield multiprotocolo.....	29

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo final de máster es el diseño y puesta en funcionamiento de un dispositivo “*smart container*” para el proyecto europeo PlastiCircle, llevado a cabo en ITENE (Instituto Tecnológico de Embalaje Transporte y Logística). El proyecto está desarrollado en el departamento ERI4 (Electrónica Robótica e Industria 4.0).

En PlastiCircle se abordan los problemas asociados a la cadena logística del plástico, y más específicamente, la baja tasa de recuperación de residuos de envases de plástico en Europa. Proponiendo una mejora en cada uno de los engranajes que forman esta cadena logística mediante la innovación en las cuatro etapas asociadas con el tratamiento de plástico-embalaje: recogida, transporte, clasificación y reciclado.



En concreto, la parte del proyecto que abarca este trabajo es el desarrollado en el paquete de trabajo referente a la recolección, en este se desarrolla un prototipo de un dispositivo modular y portable que permite mejorar la trazabilidad de residuos plásticos. Este prototipo se puede adherir al lateral de cualquier contenedor de plásticos de una ciudad y convertirlo en un contenedor inteligente gracias al uso de nuevas tecnologías como el NFC o el IoT, que se analizarán más adelante en esta memoria.

1.1. PlastiCircle

PlastiCircle se enmarca en Horizonte 2020, una línea de financiación para proyectos de i+D+i creada por la Unión Europea, en concreto, en la convocatoria “enfoques ecoinnovadores sistémicos para la economía circular” CIRC-01-2016-2017.

El proyecto PlastiCircle es un proyecto de 4 años de duración (2017-2021) formado por un consorcio de empresas, ayuntamientos, universidades e institutos tecnológicos que no solo desarrolla un prototipo técnico para la mejora de cada uno de los procesos anteriores, sino que también analiza la sostenibilidad de todo el sistema, realiza campañas de concienciación e incentivación de los ciudadanos y, en definitiva, propone una nueva forma a las ciudades para afrontar el proceso de reciclado del plástico al completo.

1.1.1. Antecedentes y motivación

El mercado del plástico europeo actual no está ligado con la economía circular según lo expuesto por la Comisión Europea (*UE Resource Efficiency Roadmap*). Más de 25,8 millones de toneladas de residuos plásticos son producidos al año en la UE28 (50 kg por ciudadano europeo), reciclándose solamente el 29,7%. (España tiene una tasa de recogida de plástico del 73,1%).

A demás, esto va en contra de la legislación europea sobre residuos, *Waste Framework Directive* 2008/98/EC, ya que tiene un alto impacto ambiental (23,8 Mt de CO₂). Representando un claro desperdicio de recursos (582€/tonelada de plástico recuperado, con unas pérdidas de 10,56 millones de euros).

Para garantizar la economía circular del plástico, se necesita mejorar tanto en la recogida del residuo de envases domésticos como en su tratamiento.

1.1.2. Economía Circular

No se puede entender el proyecto PlastiCircle sin entender lo que implica la filosofía de economía circular. La economía circular es un sistema cerrado de interacciones entre economía y medio ambiente, cuya idea es optimizar sistemas más que componentes, con el objetivo de reducir tanto la entrada de los materiales vírgenes como evitar producir todos desechos posibles. Como explica la fundación, *Ellen MaCarthur foundation*, la economía circular sigue 3 principios:

- Preservar e incentivar el capital natural, controlando y equilibrando los flujos renovables.
- Optimizar recursos intentando maximizar todos los posibles usos de los componentes y materiales del sistema.
- Maximizar la efectividad del sistema, al minimizar los posibles conflictos externos.

En la Figura 1 se muestra un gráfico en el que se explica la economía circular tanto para el consumidor como para el productor o fabricante.



Figura 1 – Gráfico economía circular

Lo que se pretende es reducir, reutilizar, reparar y reciclar los recursos utilizados con unos sistemas de aprovechamiento que van más allá del reciclaje. Realizar procesos de recuperación y reciclaje de la manera más respetuosa posible con el medio ambiente, manteniendo así el valor de los productos, materiales y recursos en la economía el mayor tiempo posible.

1.1.3. Objetivo del proyecto

El proyecto PlastiCircle será probado y validado en tres ciudades europeas (Valencia, Utrech y Alba Iulia) con el objetivo de mejorar la economía circular de los plásticos. Se pretende desarrollar un proceso de tratamiento integral para la reintroducción de los envases en la cadena de valor del plástico.

En la parte de *recogida*, se desarrollará, integrará y validará un sistema de recolección innovador, para aumentar la cantidad de residuos de envase plástico recogidos. El sistema se basa en un contenedor capaz de identificar la cantidad y calidad de los envases de plástico generado por cada familia/ciudadano, con el fin de aplicar políticas de compensación para fomentar una recogida óptima (bajo la filosofía de “mejor separas, menos pagas”).

En cuanto a el *transporte*, se está desarrollando y validando un innovador proceso de transporte que pretende disminuir el precio final del plástico, a través de la reducción del consumo de combustible y los costes del transporte. Este sistema de transporte está basado en sensores que reconocen los niveles de llenado de los contenedores en tiempo real, por lo que se puede optimizar automáticamente la ruta de recolección. Y para una optimización más completa, el sistema cuenta con un sistema de presión en el camión para la recogida de residuos, con el objetivo de maximizar la cantidad de residuo plástico transportado por ruta.

Para la etapa de *clasificación*, es clave la calidad de las fracciones de plástico obtenidas (en este caso: PET, PE rígido, PP, película de PR, EPS y mezclas de plástico). La innovación en el proceso de clasificación del plástico está basada en la tecnología de infrarrojos ópticos, en la adaptación de los rangos de identificación y sistemas de operación.

Por último, en la etapa de *recuperación*, se pretende potenciar el proceso de fabricación de nuevos productos innovadores producidos con las fracciones clasificadas en la etapa anterior. Las técnicas contempladas son la extrusión, inyección y moldeo por compresión.

1.2. Alcance de la memoria

Este trabajo final de Master se centra en la parte de recolección, proponiendo un módulo portable para crear contenedores inteligentes equipados con nuevas tecnologías y que cumplan las siguientes características:

- Sistema de identificación de usuario.
- Medidas contra el fraude.

Para una posterior incentivación a los usuarios que utilicen este sistema y hagan una separación correcta, es necesario hacer una identificación de las bolsas y relacionarla con el usuario. Para ello, los usuarios deberán estar inscritos en el sistema y disponer de una tarjeta identificadora NFC, la cual acercaran al módulo del contenedor inteligente y éste les dispensará una pegatina con un código de barras asociados que deberán pegar en su bolsa antes de depositarla en el contenedor.

El prototipo se ha diseñado teniendo en cuenta la simplicidad y la minimización de costes de todos los sistemas que se integran en el contenedor inteligente. La memoria analiza el diseño del módulo, sus componentes mecánicos y electrónicos y, por último, el sistema de comunicaciones.

Una vez validado exitosamente los pilotos, se realizará el diseño de un *smart container* desde cero en el que se integrará el dispositivo. De esta forma, dejará de ser un módulo externo para formar parte del mismo contenedor, suponiendo una mejora tanto en medidas antifraude como en el coste total del dispositivo.

2. DISEÑO

Para el planteamiento del diseño del dispositivo se han tenido en cuenta diferentes factores, tanto del lado de la utilidad en cuanto a su funcionamiento o el tipo de material a utilizar como de la seguridad del propio dispositivo.

En primer lugar, se ha tenido en cuenta su localización en el propio contenedor de reciclaje de plásticos. Se colocará en la parte lateral derecha del contenedor, siendo este el sitio más accesible para los usuarios a la hora de su utilización. (Ver Figura 2)



Figura 2 – Disposición de la dispensadora en el contenedor

Se pretende que todo el dispositivo este protegido por una caja que contenga tanto la parte electrónica como la parte mecánica. Como se muestra en la Figura 3, a la caja se le realizará un orificio a través del cual salgan las etiquetas y una zona señalizada donde se ubicará el lector del módulo NFC para la identificación de los usuarios mediante una tarjeta NFC o su propio teléfono móvil.

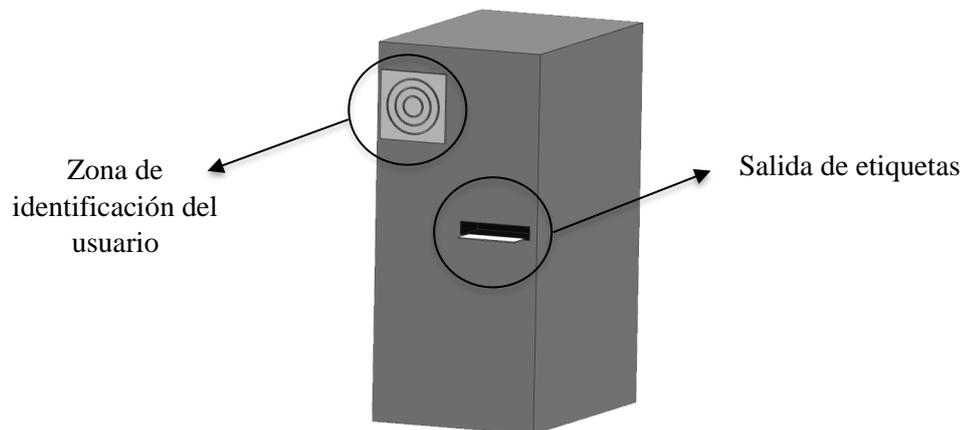


Figura 3 – Esquema del dispositivo de las zonas usadas por el usuario

Se ha requerido que el diseño fuera lo más pequeño y compacto posible, sobresaliendo lo menos posible de la superficie del contenedor. El dispositivo se sujetará con unos remaches a la pared lateral del contenedor. Se ha elegido este tipo de fijación porque es la sujeción menos invasiva y agresiva respecto al contenedor, ya que después del piloto, se retirará el dispositivo.

El presupuesto máximo para este dispositivo es de unos 200€, ya que el precio del contenedor es de alrededor de 1000€ y de ser más caro no sería rentable su implementación.

La limpieza del contenedor ha sido un hándicap, ya que el contenedor se limpia con agua a presión de una forma muy agresiva, pudiendo provocar grandes daños tanto en la electrónica como en la parte mecánica. Las protecciones necesarias para el material electrónico, se ha decidido colocarlo en una caja aislada con una protección IP67 (No permite la entrada de polvo en ninguna circunstancia ni la filtración de líquido en una inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos). Estando así separado de la parte mecánica y protegiendo tanto de la suciedad como del agua, especialmente importante a la hora de limpiar el propio contenedor.

Para la transmisión del movimiento desde la parte electrónica hasta la parte mecánica, es necesario realizar un agujero pasante tanto a la caja de protección de los componentes electrónicos como a la pared interior de la parte mecánica, a través del cual se introduzca el eje del motor que transmitirá el movimiento a los ejes mecánicos.

En cuanto a la parte mecánica, se ha intentado poner el menor número de ejes posible, siendo así más barata y más fácil su montaje.

En la parte del montaje, se ha valorado la flexibilidad y rapidez de montaje y desmontaje, pensando tanto en el mantenimiento como en la recarga de etiquetas, realizando unos tapones de cierre de las paredes para la parte mecánica imprimidos en 3D. Estos tapones y el resto de los componentes mecánicos se pueden ver en el apartado 3 explicados en mayor detalle.

3. COMPONENTES MECÁNICOS

Todo el conjunto de componentes mecánicos ha sido diseñado teniendo en cuenta tanto los requerimientos del proyecto como del contenedor, intentando hacerlo lo más compacto posible. Al tratarse del primer prototipo, se han utilizado materiales plásticos de impresión 3D (PLA) y otros reutilizados (madera) para su fabricación.

En la Figura 4 se pueden ver coloreados en diferentes colores todos los componentes que forman la dispensadora de etiquetas. Teniendo así una visión general del dispositivo, y la localización de cada uno de los componentes respecto a la caja, en los siguientes apartados se hará una explicación detallada de estos.

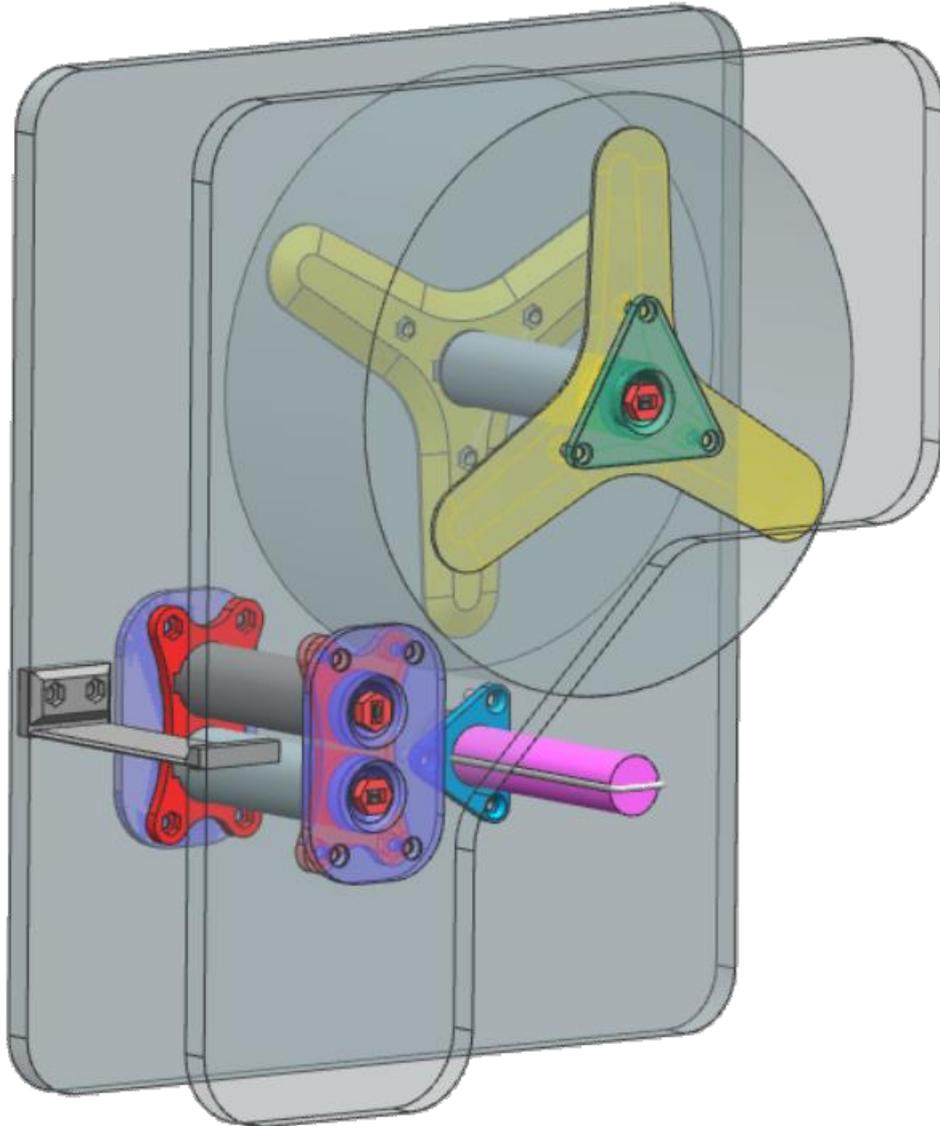


Figura 4 – Conjunto componentes del dispositivo

El rollo de etiquetas gira libremente sobre su eje, la cinta se pasa por el interior de los tubos que ayudan a la tensión de todo el sistema, seguidamente por la parte superior de la lámina dispensadora y otra vez por los rollos tensionadores. Una vez ha realizado todo el recorrido, la cinta se fija al eje de rotación con un fijador metálico que la sujeta y se cierra la dispensadora con la tapa exterior.

Un motor paso a paso conectado al eje de rotación realizará el movimiento de recogida, este estará controlado por una placa controladora para así gestionar la salida de las etiquetas.

3.1. Etiquetas

Se ha diseñado una etiqueta identificativa con código de barras, para poder relacionar cada bolsa de reciclaje con un individuo y así conocer a posteriori, en la fase de clasificación, con qué calidad recicla cada usuario.

Las etiquetas del rollo para el prototipo inicial son de polipropileno, impermeables y reciclables. Se está intentando conseguir etiquetas de polietileno de baja densidad ya que este material se recicla mucho mejor. Respecto a la cinta que contiene las etiquetas es de celulosa. Cada rollo contiene 5000 etiquetas, esta cantidad se ha decidido para extender lo máximo posible el tiempo en el que se tendrá que realizar el cambio de rollo, pero controlando el tamaño del dispositivo. Las etiquetas van dispuestas en el rollo con un pequeño espacio de separación entre cada una, de forma que se puedan auto despegar correctamente al hacer contacto con una lámina con el lateral en forma de cuña, provocando en la cinta un cambio abrupto y realizando así el auto despegue.

Para un volumen tan elevado de etiquetas es importante una correcta identificación, de forma que esta etiqueta sea única y sencilla de comprender e interpretar. Se ha decidido reflejar en la etiqueta diferentes niveles de información, desde el país y la ciudad en el que se ha recogido la bolsa de reciclaje hasta el número de bolsa dentro del contenedor.

PAÍS – CIUDAD – N° CONTENEDOR – N° BOLSA

En el caso de la ciudad de Valencia, el código de la etiqueta quedaría de la siguiente forma, como se puede apreciar en la imagen Figura 5, donde se muestra la etiqueta final.

ES – VLC – 00000 – 0000



Figura 5 – Diseño etiqueta PlastiCircle

De esta forma, la etiqueta se puede caracterizar para utilizarla en cualquier ciudad de Europa, pudiendo así implantar el contenedor inteligente en toda Europa e intentando concienciar cada vez más de la importancia del reciclaje en la sociedad.

3.2. Ejes de rotación

En el caso del eje de rotación del dispositivo, se ha diseñado a medida para las dimensiones requeridas, imprimiéndolo en una impresora 3D, con material plástico PLA.

Como se puede ver en la Figura 6, se ha diseñado de tal manera que sea fácil de montar y desmontar, pensando sobre todo en facilitar el cambio del rollo de etiquetas.

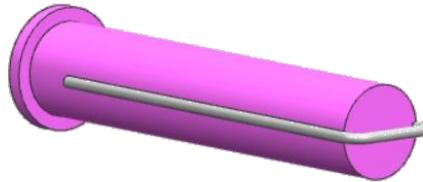


Figura 6 – Eje de rotación de la dispensadora

Como se puede ver en la Figura 7 se le ha hecho un hueco de las mismas dimensiones que el eje del motor para asegurar que este encajara, girando de tal forma que va recogiendo la cinta sin etiquetas sujeta por un pasador metálico y produciendo el movimiento de la etiquetadora.



Figura 7 – Detalle del hueco para el eje del motor

3.3. Eje de etiquetas

En el caso del eje de sujeción para el rollo de etiquetas se trata de un tubo de PVC, para las tapas de sujeción tanto del eje como del rollo de etiquetas se han impreso en 3D unas tapas que fijan todo a las paredes de la dispensadora como unas guías, ambas piezas en plástico PLA (ver Figura 8).

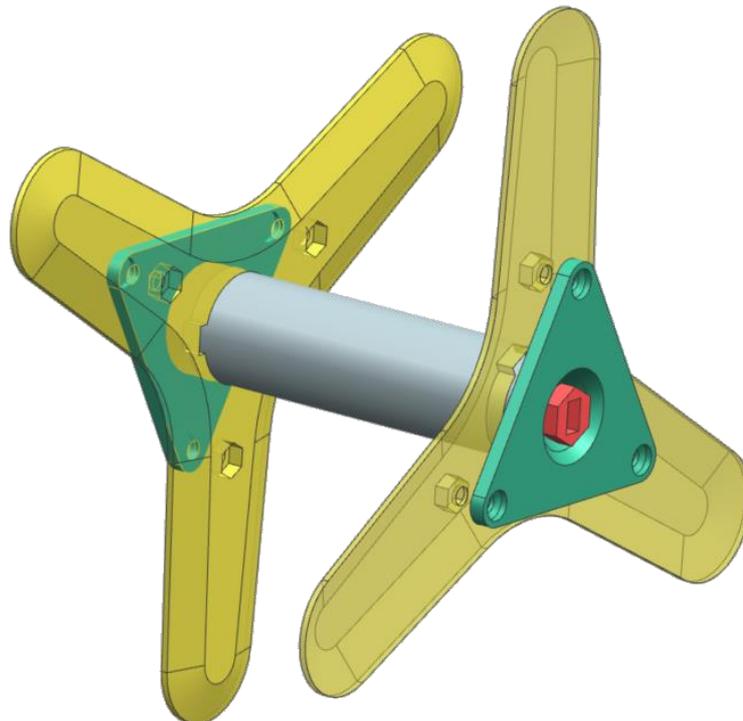


Figura 8 – Tapas de sujeción para el eje de etiquetas

El eje de PVC no es del mismo tamaño exacto que el mandril de las etiquetas, tiene una pequeña tolerancia respecto al rollo de etiquetas para asegurar el movimiento de estas en el mecanismo, ya que si no dispusieran de esta holgura se generaría demasiada resistencia para realizar el movimiento del rollo de etiquetas en el eje y se necesitaría un motor que produzca un par más elevado.

Las guías del rollo de etiquetas, que se pueden ver en la Figura 8 en color amarillo, han sido diseñadas pensando en que el rollo de etiquetas no se deforme excesivamente en el eje horizontal cuando se produzca el movimiento en el mecanismo. Al ser tan grande y pesado el rollo de etiquetas, se puede producir con mucha facilidad el deslizamiento de una capa sobre la siguiente en el mismo provocando la deformación. También se les ha realizado un chaflán en sus aristas exteriores para que, en caso de desplazamiento de alguna capa del rollo, esta no se vea dañada en el choque con la guía.

Las tapas que sujetan tanto el eje como las guías a las paredes del dispositivo tienen una forma triangular, estas tapas se pueden ver en la Figura 8 en color verde. Se ha considerado que tanto las tapas como las guías tienen una sujeción suficiente a las paredes con tres puntos de anclaje con tornillos y tuercas.

Al igual que sucede en los rodillos que ayudan a la tensión continua de la cinta de etiquetas, todo el conjunto se cierra con un tapón en su parte exterior en forma de tuerca que va unido a un taco que está en el interior del eje, ambos unidos con un tornillo. (Ver Figura 9)

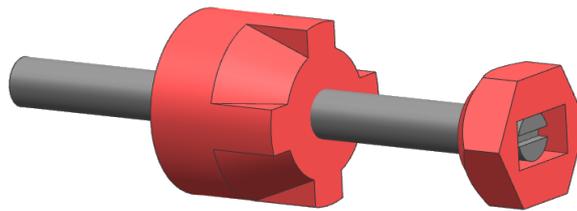


Figura 9 – Tapón de cierre

En la Figura 10 se puede ver con detalle el interior del taco, en el que se ha colocado una tuerca para asegurarnos así el giro y el cierre con el tornillo.

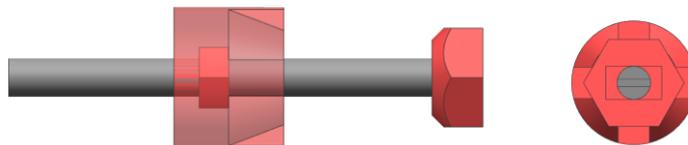


Figura 10 – Detalle del tapón de cierre

La parte de la tapa que está dentro del eje se ha diseñado realizando cuatro rampas, como se puede apreciar en la Figura 11. Cuando se realiza el cierre, se presiona cada una de las cuatro rampas y provoca que estas se abran realizando la presión en las paredes internas del eje.

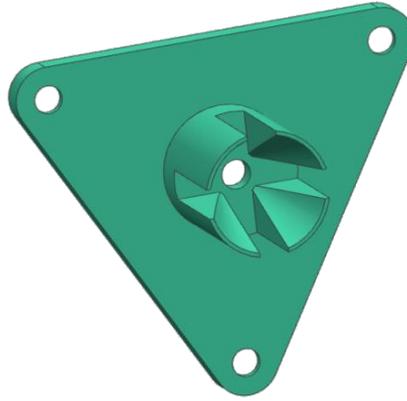


Figura 11 – Tapa exterior del eje de etiquetas

Si se cierra el tapón se consigue realizar la presión necesaria con la parte interior de la tapa, que también se introduce dentro del eje, como se puede ver en la Figura 12, cerrando y fijando todo el conjunto.

Tanto a la cuña como a la parte interior de la tapa se les ha realizado el mismo corte cónico. Como se ha dicho anteriormente, al cerrar el tapón la cuña que hay en el interior se acerca hacia la parte interna de la tapa y gracias al diseño cónico de ambos se va realizando la presión hacia las paredes del eje, expandiendo la tapa y obteniendo la sujeción del eje.

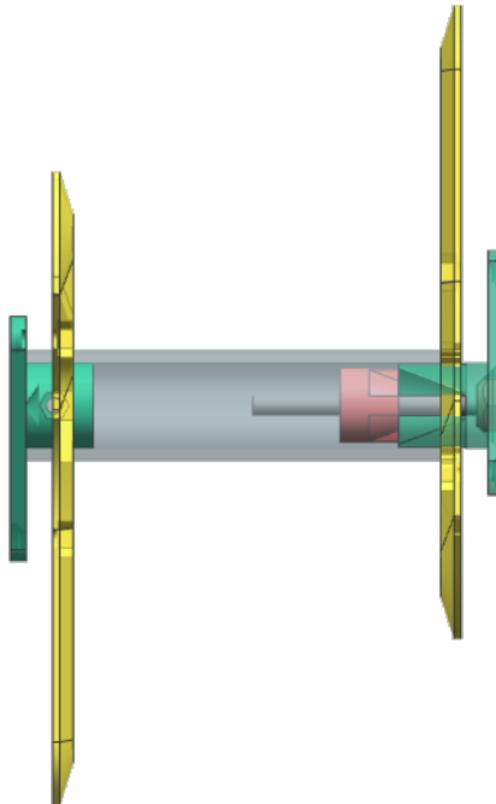


Figura 12 – Mecanismo de sujeción con la pared

La otra tapa se sujeta fija al eje de PVC a través de un tornillo que tiene el mismo largo que el diámetro del eje (25 mm). Esto permite que cuando se realice el cambio de rollo por otro nuevo, todos los ejes y rodillos se queden fijos a la pared trasera del dispositivo, para que resulte mucho más fácil el proceso de recambio.

En la Figura 12 se puede apreciar el hueco que se le ha dejado a la tapa trasera para el tornillo pasante que se le coloca al eje.

3.4. Tubos de tensión

Para asegurar una tensión continua de la cinta de etiquetas a lo largo de todo su recorrido se han colocado dos tubos de PVC a la entrada y a la salida de la lámina dispensadora de las etiquetas, como se puede ver en la Figura 13.

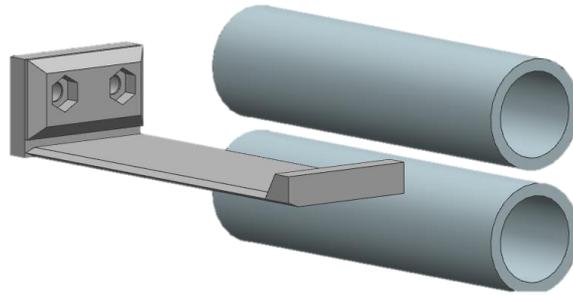


Figura 13 – Rodillos tensionadores

Los dos tubos se sujetan a través de unas tapas por la parte exterior de las paredes del dispositivo del mismo modo que se hace para la sujeción del eje de etiquetas, estas también impresas en 3D con material plástico PLA.

Para la correcta colocación de los tubos también se han imprimido en el mismo material unas guías, como se puede ver en la Figura 14 se muestran las tapas en color morado y las guías en color rojo.

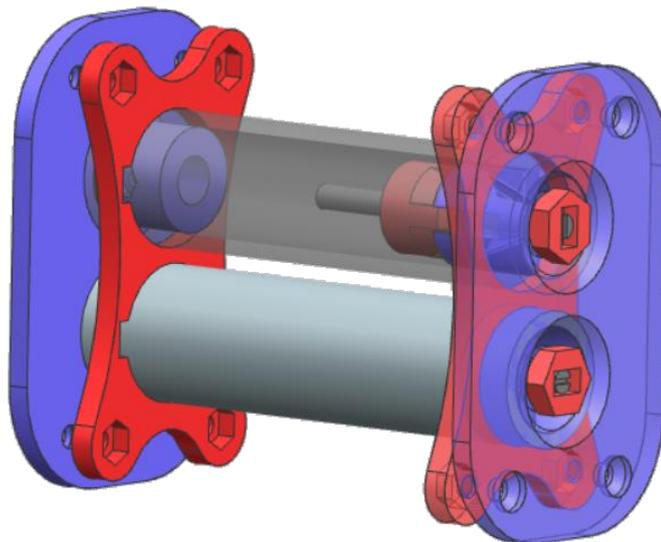


Figura 14 – Tapas de sujeción para los tubos tensionadores

En este caso, al tratarse de dos tubos y para una mayor rigidez, son necesarios cuatro puntos de fijación a las paredes, dicha fijación se realiza a través de cuatro tornillos con sus respectivas tuercas.

Al llevar el mismo mecanismo que las tapas del eje del rollo de etiquetas, su funcionamiento y cierre es equivalente al desarrollado en el apartado anterior (3.3 Eje de etiquetas).

Como se puede ver en la Figura 15, en este caso se tienen dos tapones cada uno de los cuales presiona en el interior de cada tubo, tanto el de entrada como el de salida de la lámina dispensadora de las etiquetas.

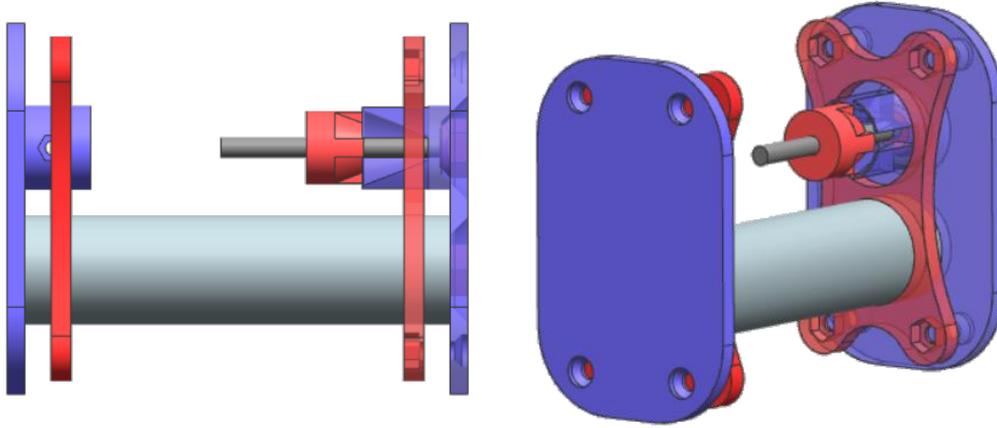


Figura 15 – Mecanismo de sujeción con la pared

Los tubos se fijan a una de las paredes del dispositivo, del mismo modo que con el eje de las etiquetas. A través de un tornillo pasante que fija cada uno de los tubos a la tapa interior.

3.5. Lámina dispensadora de etiquetas

La lámina que fuerza la salida de las etiquetas también se ha impreso en 3D con material plástico PLA, esta lámina tiene un espesor de 2 mm. La lámina separadora cuenta con un lateral en forma de V para producir un cambio abrupto en la dirección de la cinta de etiquetas y asegurar así que las etiquetas se despegan y pueden aparecer despegadas del rollo por el orificio de salida (ver Figura 16).

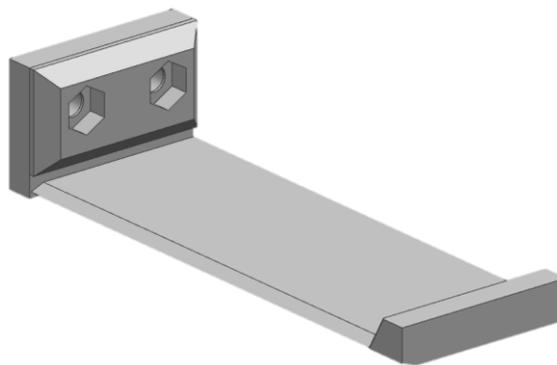


Figura 16 – Lámina dispensadora de etiquetas

En el caso de la punta del lateral de la lámina, se ha limado para que fuera lo más fino posible en la punta y así el giro fuera lo más drástico posible. La lámina cuenta con una pared en uno de sus lados para poder sujetarla a una de las caras del dispositivo con unos tornillos y sus respectivas tuercas, como se puede apreciar en la Figura 17.



Figura 17 – Alzado y perfil de lámina dispensadora de etiquetas

3.6. Paredes

Como ya se ha mencionado anteriormente, para este prototipo se ha optado maximizar la reutilización de materiales en todos sus componentes.

Se han realizado unos fresados tanto en las tapas como en la pared de la lámina dispensadora de etiquetas, para que las piezas queden integradas en las paredes del dispositivo. Así como, los agujeros necesarios para fijar todas las tapas a las paredes. (Ver Figura 18)

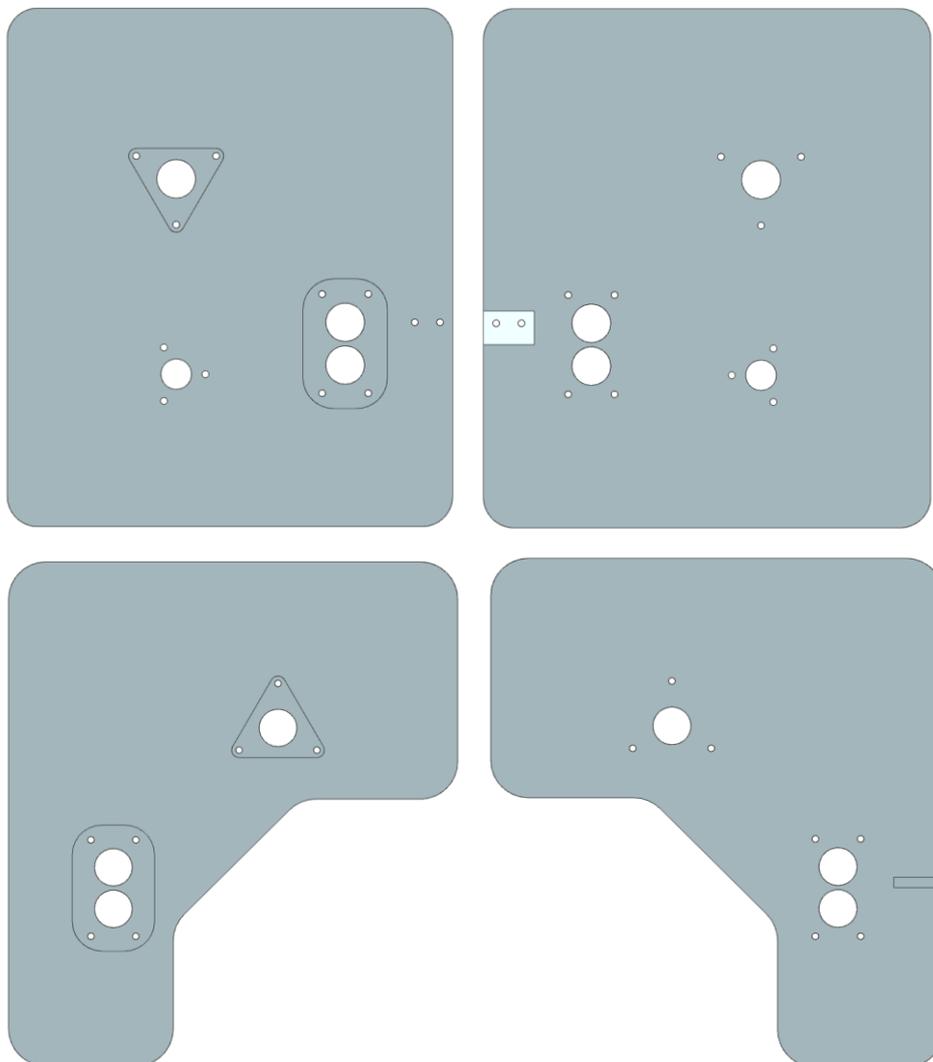


Figura 18 – Diseño 3D de paredes del dispositivo

A la pared de la parte exterior se le ha recortado una de las esquinas para que sea más fácil poder retirarla y hacer el cambio de rollo de etiquetas cuando sea necesario.

Se ha decidido utilizar dos planchas de madera. Una de ellas en la que solo se ha realizado los fresados de la parte exterior y en la otra los fresados de la parte interior, posteriormente se han pegado conformando el total de la pared reforzando de esta manera también la rigidez de esta.

Las dimensiones totales de las paredes son de 340 x 290 mm y tiene 10 mm de espesor. Siendo estas las dimensiones mínimas para contener todos los elementos que contiene la dispensadora. En la Figura 19 se puede ver el primer prototipo de la dispensadora de etiquetas.

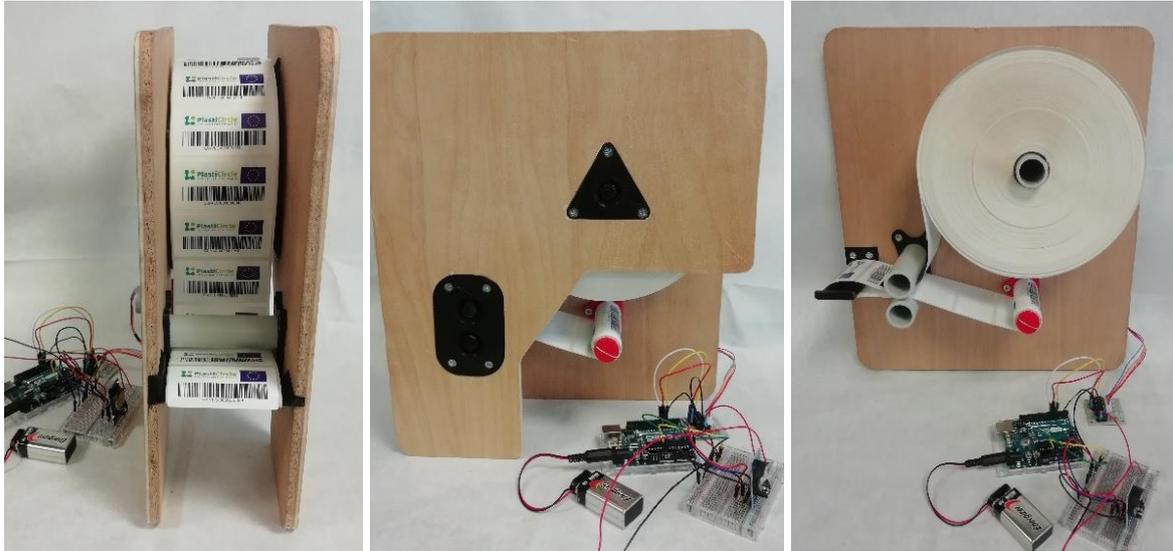


Figura 19 – Prototipo inicial de dispensadora de etiquetas

En las imágenes se puede ver el momento en el que se realizó la prueba de funcionamiento del mecanismo creado para la dispensadora, los resultados obtenidos son

4. COMUNICACIONES

En este apartado se realiza una descripción de las posibilidades que se han barajado para la comunicación de los dispositivos con la plataforma teniendo en cuenta las necesidades de los diferentes pilotos.

4.1. Estado actual

Desde hace unos años se empezó a hablar del IoT (Internet de las cosas), en este momento está comenzando a ser una realidad. Ahora es mucho más frecuente encontrar dispositivos u objetos capaces de conectarse a Internet a través de redes inalámbricas fijas, suministrando datos para su monitorización y control, permitiendo que el usuario pueda controlarlo de forma remota.

Las redes móviles tradicionales, principalmente el 2G, está en un ciclo de vida final. Durará algunos años más, pero su desaparición es un hecho. A pesar de tener amortizada toda su infraestructura y tener capacidad para los dispositivos de bajo coste, tienen un consumo energético muy alto y obliga a mantener una red obsoleta, ya que el mercado de los operadores en espectro licenciado está tendiendo hacia los nuevos estándares.

Las redes móviles de nueva concepción, de momento LTE Cat M y Cat NB o NB-IoT, ofrecen un servicio en espectro licenciado y de uso exclusivo, el servicio de un gran operador y en un futuro cercano, una cobertura internacional. Puede que alguno de sus desventajas es que le falte un perfil de muy bajo consumo, que llegará tarde o temprano, y su llegada tardía al mercado donde le queda aún un gran despliegue que realizar con sus respectivos dispositivos. En cualquier caso, tiene todo lo necesario para convertirse en los estándares de referencia IoT a partir de unos años, cuando ya se tenga una red más poblada.

Las tecnologías LPWAN en espectro no licenciado, como Sigfox o LoRa ofrecen una solución de muy bajo coste, tanto económico como energético, en la experiencia que dan varios millones de conectividades y unas redes con gran implantación en algunos países. Es la alternativa *low cost* energético a la red LTE Cat M y NB, quedando la incógnita de su capacidad de aumentar a nivel mundial, enriqueciendo las posibilidades en el mercado y resistiendo a la competencia de las grandes operadoras de telecomunicaciones.

4.2. Requisitos iniciales

Una vez realizado el dispositivo, hay que pensar en cómo se van a recoger los datos que se van generando. La forma más eficiente de realizar la recogida de datos es de manera automática y vía inalámbrica. Por esta razón se ha decidido utilizar un sistema basado en “*Internet of Things*” (IoT), de forma que todos los dispositivos transmitan la información a una plataforma para un posterior estudio de los datos, donde poder hacer una clasificación del reciclaje de los usuarios que utilicen el módulo y saber qué tipo de bonificación le corresponde.

4.3. Comparativa de tecnologías disponibles

En cuando al protocolo que se necesita para la comunicación IoT, en el caso de la coordinación para todos los dispositivos que tenemos en el proyecto se han barajado tres opciones: Sigfox, LoRa o redes LTE/4G adaptadas a IoT. Para la elección se ha estudiado cada una de ellas y decidido cual encajaba mejor con las características del proyecto.

Sigfox es un operador francés que ha desplegado y gestionado su propia red basada en su tecnología, aspira a desarrollar su red por todo el mundo, con largos ciclos de vida de las baterías de los dispositivos con un bajo coste tanto del dispositivo como de su conectividad. En España el

operador que distribuye sigfox es Cellnex Telecom, opera en los 200 KHz de la banda pública para intercambiar mensajes de radio por aire, cada mensaje tiene 100 Hz de ancho y se transfiere a 100 o 600 bits/s dependiendo de la región. Esto puede lograr la transferencia de mensajes en largas distancias siendo robusto frente al ruido. Tiene un diseño de protocolo ligero para mensajes pequeños, menos datos que enviar significa menos consumo de energía y una mayor duración de la batería. En resumen, los puntos fuertes de Sigfox son:

- Autonomía.
- Simplicidad.
- Eficiencia en costes.
- Envío de mensajes pequeños (notificaciones).
- Complementariedad de otro tipo de redes (WI-FI, *Bluetooth*, GPRS, etc).

LoRa es una tecnología alternativa a Sigfox, permite desarrollar redes privadas o ser usada por operadores para sus propias redes IoT, su concepto es más distribuido que el de Sigfox. En nuestro caso, la especificación de LoRa que se está planteando utilizar es el protocolo LoRaWAN, red con amplias áreas (LPWAN) y de baja potencia, pensado para conectar de forma inalámbrica dispositivos con baterías a Internet en redes regionales, nacionales o mundiales. Creado para los requisitos que necesita el IoT como una comunicación bidireccional, un servicio de seguridad, movilidad y localización de extremo a extremo de la red. Esta tecnología no obliga a implementar ninguna especificación técnica concreta, no define ningún modelo comercial o tipo de despliegue, ofreciendo a la industria la posibilidad de aumentar la personalización que mejor se ajuste a cada caso.

LoRaWAN tiene una configuración variable para la velocidad de transferencia de los datos, esto permite una compensación dinámica entre el rango de comunicación y la duración del mensaje. La unión de la tecnología de espectro ensanchado y las comunicaciones con diferentes velocidades de datos crea un conjunto de canales de código virtuales que la capacidad de las puertas de enlace. Por último, para maximizar tanto la duración de la batería de los dispositivos como la capacidad de la red, el servidor de la red LoRaWAN gestiona la configuración de la velocidad de datos y la potencia de salida de radio frecuencia para cada dispositivo final con un esquema *Adaptive Data Rate* (ADR). En cuanto a la seguridad, LoRaWAN define dos capas de criptografía:

- Una clave de sesión de red única de 128 bits compartida entre el dispositivo y el servidor de red.
- Una clave de sesión de aplicación única de 128 bits (*AppSKey*) compartida de extremo en el nivel de la aplicación.

Algunas de las ventajas más destacadas de LoRaWAN son:

- Amplio rango de cobertura (aproximadamente 2 km en áreas urbanas y 15 km en áreas suburbanas).
- Una especificación técnica publicada por LoRa Alliance, lo que permite una fácil implementación.
- Red de área amplia de baja potencia, con bajo consumo de energía.
- Soporta de 902 a 928 MHz en los Estados Unidos, de 863 a 870 MHz en la Unión Europea y de 779 a 787 MHz en China. Las bandas ISM utilizadas son 868 MHz / 915 MHz, que están disponibles en todo el mundo.

El último de los candidatos es la tecnología 4G, esta es la cuarta generación de la tecnología de telecomunicación móvil inalámbrica, asegura una conectividad a Internet fiable y rápida.

El protocolo que utiliza tiene una arquitectura simple basado en el IP, por lo que les resulta fácil y barato el desarrollo a los operadores de la red. Tiene un espectro radioeléctrico flexible. También tiene una baja latencia y es compatible con otras tecnologías 3GPP.

4.4. Selección

El caso que pretendemos cubrir en las ciudades piloto de PlastiCircle es el envío de pares de información usuario - bolsa, este envío no necesita realizarse cada vez que un usuario utilice el sistema, puede establecerse un intervalo periódico en el que se envíe toda la información almacenada en ese lapso de tiempo. Además, el tamaño de paquetes de información será reducido y, por tanto, no se necesita una gran velocidad o inmediatez. Por otro lado, se valorará la tecnología que haga un uso de la energía más eficiente, ya que el dispositivo cuenta con baterías internas y el minimizar el número de veces que estas tengan que ser cambiadas puede suponer un ahorro de costes importante.

Teniendo esto en cuenta, de las posibilidades presentadas en el apartado anterior, podemos descartar las redes 4G, ya que, aun siendo la alternativa con un mayor ancho de banda, y por tanto más rápidas, también es la que tiene un mayor consumo.

En este caso las opciones quedan reducidas a SigFox y Lora, utilizando ambas ondas de baja frecuencia que no requiere licencias para operar y que permiten la transmisión (sin garantía de recepción) de pequeños paquetes de datos de dispositivos IoT a un coste muy reducido y consumiendo poca batería. Son por lo tanto tecnologías indicadas para abordar grandes despliegues de objetos conectados a intervalos regulares durante una vida útil muy larga.

SigFox tiene su propia solución desarrollada y que, a través de un operador según el país en que te encuentres, puedes utilizar ahorrando tiempo de desarrollo y conocimiento en el despliegue de este tipo de redes. Respecto a LoRa, el cual es una tecnología más personalizable y que se puede implementar una solución a medida, aunque como contraposición requiere un mayor tiempo de desarrollo y puesta a punto de la infraestructura.

La solución escogida finalmente ha sido LoRa, por un lado, porque una de las ciudades piloto se encuentra en Rumanía, donde SigFox aún no tiene un operador que haya desplegado su red. Por otro parte, la flexibilidad de crear una red con nuestros requisitos concretos y, aun requiriendo un mayor desarrollo, la posibilidad de tener una infraestructura portable que trasladar a cada ciudad piloto de forma sencilla.

5. COMPONENTES ELECTRÓNICOS

En este apartado de la memoria se describe el funcionamiento de los componentes electrónicos que se han utilizado para la realización del prototipo.

5.1. Lector código de barras

Dispositivo electrónico que lee un código de barras pasando un pequeño haz de luz sobre el símbolo del código de barras impreso, emitiendo el número que muestra el código de barras. Las barras oscuras absorben la fuente de luz del escáner y la misma se refleja en los espacios blancos. Un dispositivo del escáner toma la luz reflejada y la convierte en una señal eléctrica. Básicamente, es un escáner y un decodificador que mediante un cable USB, *bluetooth*, antena wifi o puerto serie comunica el código a un terminal.

El láser del escáner (fuente de luz) comienza a leer el código de barras en un espacio blanco (la zona fija) antes de la primera barra y continúa pasando hasta la última línea, para terminar en el espacio en blanco que hay después de ésta. El código no se puede leer si se pasa el escáner fuera de la zona del símbolo, las alturas de las barras se eligen de manera tal que se permita que la zona de lectura se mantenga dentro del área del código de barras.

Cuanto más larga sea la información para codificar, más largo será el código de barras, aumentando así la longitud de las barras y los espacios a leer.

5.2. Arduino UNO

El Arduino es una plataforma computacional física *open-source* basada en una tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje *processing/wiring*. El IDE *open-source* puede ser descargarlo gratuitamente tanto para Mac OS X, Windows o Linux.

Se ha decidido utilizar el Arduino UNO (Figura 20), ya que las características y prestaciones que tiene son suficientes para las necesidades del proyecto. Es una de las placas de desarrollo con mayor bibliografía disponible y más baratas, lo que fue decisivo para su elección, ya que el conjunto del dispositivo tiene que tener el menor coste posible. Tiene unas dimensiones de 68,6 x 53,4 mm y pesa unos 25 gramos.



Figura 20 – Arduino UNO

Es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P (chip microcontrolador creado por Atmel). Este Arduino utiliza el ATmega16U2 para el manejo de USB (en lugar del 8U2) lo que

nos permite unos ratios de transferencia más rápidos y con más memoria. Tiene autoselección del voltaje de alimentación (DC/USB) mediante un chip MOSFET incluido en la placa.

Tiene 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Trabaja con una tensión de 5V y un voltaje de entrada de entre 7 y 12 V (límite de 6 a 20 V), corriente DC por pin E/S 20 mA y para 3,3V pin de 50 mA. (Ver Figura 21)



Figura 21 – Disposición pines Arduino UNO

5.3. Módulo RFID

RFID son las siglas inglesas de *Radio Frequency IDentification*. El propósito fundamental de la tecnología RFID es identificar mediante un lector, sin contacto y a distancia, una tarjeta o etiqueta. El lector va realizando peticiones por radiofrecuencia al chip que integran las tarjetas RFID, las cuales emiten una respuesta al recibir las señales del lector, permitiendo la identificación con gran seguridad y precisión en tiempo real.



Figura 22 – Módulo RFID – RC522

En la Figura 22 se puede ver el módulo que se ha utilizado en el prototipo ha sido el módulo RFID - RC522 para Arduino. Utiliza 3.3V como voltaje de alimentación y se controla a través del protocolo SPI (máxima velocidad de datos del SPI 10 Mbit/s). Es compatible con casi cualquier microcontrolador, Arduino o tarjeta de desarrollo.

El modelo empleado es el MF522 – ED. Tiene una corriente de operación de 13 – 26 mA a los 3,3 V de alimentación. Algunas de las especificaciones del módulo son:

- I_{sb} de stand by: 10 - 13 mA a 3,3V.
- I_{sm} de sleep-mode: < 80 uA.
- I_m máxima: 30 mA.

La distancia de lectura que tiene el módulo RFID es de 0 hasta 60 mm, y trabaja entre unos rangos de humedad de 5 al 95 %. Tiene unas dimensiones totales de 40 x 60 mm.

En la Figura 23 se ve la relación de conexiones entre el módulo RFID - RC522 y la placa de arduino UNO.

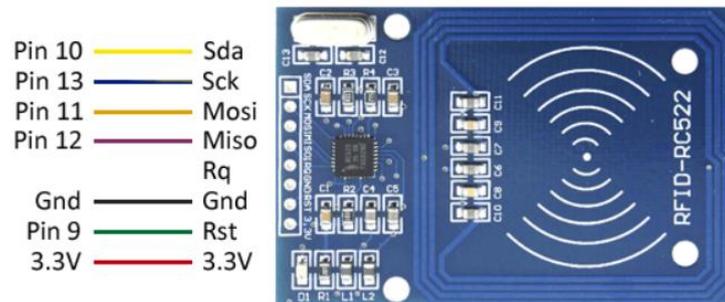


Figura 23 – Conexión RFID - RC522 y arduino

También es necesario conocer las características de los bloques de memoria de una tarjeta. Las tarjetas tienen incorporado en su interior un chip y una antena impresa o bobinada para comunicarse con el lector. El chip tiene grabado un número (ID) de serie único para poder identificarlo entre los demás, también puede tener una pequeña memoria para guardar datos, para que el lector sea capaz de leerla y escribirla.

El código de identificación que contienen las tarjetas es único y puede ser personalizado durante la fabricación de las tarjetas. Para la comunicación por radiofrecuencia es necesaria la incorporación de una antena RF en cada uno de los dispositivos implicados en la comunicación cuya forma y características dependen de la banda de frecuencia en la que funcionen. En nuestro caso realizaremos una comunicación de corto alcance en una banda de frecuencia de 13,56 MHz, con un rango de 5 cm, con el uso de la tecnología NFC que es una subcategoría del RFID. Todo esto lo hace perfecto para la validación de equipos y personas, siendo una de sus mejores características la velocidad de comunicación es casi instantánea sin tener que emparejar los dispositivos previamente.

Esta tecnología puede funcionar en dos modos

- Activo, en el que ambos equipos con chips generan un campo electromagnético e intercambian datos.
- Pasivo, en el que solo un dispositivo activo y el otro aprovecha ese campo para intercambiar la información.

Para evitar que cualquier tarjeta NFC de las mismas características que se utilizan en nuestro caso ocasionarían que la dispensadora expulsara una etiqueta, antes de realizar la entrega de una tarjeta al usuario, mediante un código en Arduino se generará una clave específica para el proyecto de PlastiCircle basada en un identificador único de cada tarjeta. Esta clave será guardada en la memoria interna de cada una de las tarjetas. De esta forma cuando la tarjeta se pase por el lector del módulo RFID, si y solo si la tarjeta utilizada pertenece al proyecto, la dispensadora ofrecerá una etiqueta.

5.4. Motor

Se ha elegido un motor paso a paso debido a la necesidad de que el movimiento del rollo sea lo más preciso posible. Ya que se activará cada vez que se necesite una etiqueta, se necesitará precisión en los momentos de arranque y parada del motor. Este tipo de motores es el indicado para problemas de precisión con una inercia del sistema pequeña, es decir, que el tiempo de aceleración y deceleración no sea muy largo.

Este tipo de motores, incrementales o rotativos, convierten pulsos digitales en movimientos de rotación mecánica. El movimiento de rotación del eje es proporcional al número de pulsos generado y la velocidad de rotación está relacionada con la frecuencia de los pulsos.

En la Figura 24 se puede ver el motor que se ha seleccionado es Motor *Stepper* 28BYJ-48 para Arduino, con un módulo *driver* UL2003. Algunas de las características del motor son: alimentación de 5V a 12V, tiene un consumo energético de 55 mA y un par de 0,34 Kg/cm.



Figura 24 – Motor Stepper 28BYJ-48 y módulo driver UL2003

En la Figura 25; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede ver en qué forma se ha conectado el motor stepper 28BYJ-48 al Arduino.

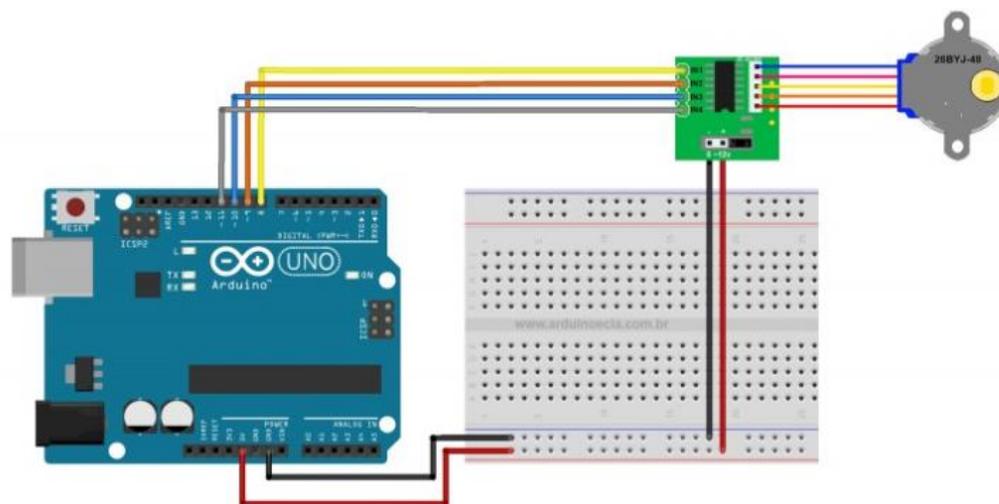


Figura 25 – Conexión del motor stepper 28BYJ-48 con Arduino

5.5. Módulo LoRa

El módulo que se ha elegido es el LoRa SX1272, con una antena de 868 MHz y un *shield* multiprotocolo.

La principal ventaja de este módulo es el aumento de alcance y el ahorro económico respecto de otros módulos similares. El *shield* multiprotocolo se puede utilizar para conectar dos módulos al mismo tiempo y hacer conexiones entre plataformas.

El módulo SX1272 LoRa usa el bus SPI, permitiendo una mayor comunicación de velocidad y libera el UART para otros fines, como conectar otros módulos de comunicación. (Figura 26)

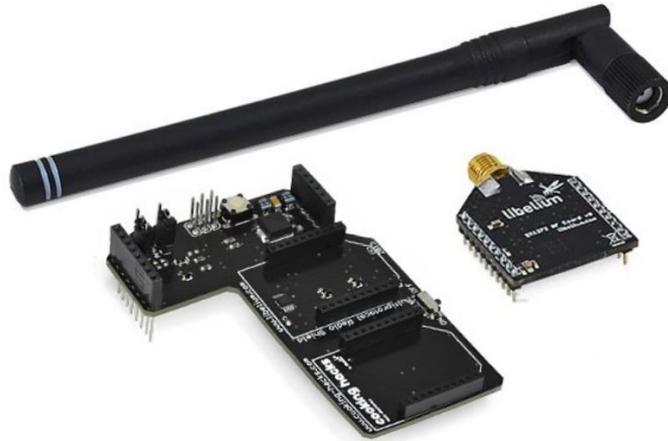


Figura 26 – Módulo LoRa SX1272 y shield multiprotocolo

6. PRÓXIMOS PASOS

En estos últimos meses se han realizado las pruebas de funcionamiento de todos los componentes electrónicos.

- Módulo RFID - RC522. Las pruebas del módulo RFID para la lectura de las tarjetas.
- Módulo SX1272 LoRa. Comprobada la comunicación a corto alcance del módulo LoRa a falta de las pruebas con rangos de mayor distancia.
- Motor *Stepper* 28BYJ-48. En las primeras pruebas del motor se comprobó el par del motor en el montaje de la dispensadora y alimentándolo con 5 V no se ha conseguido suficiente par para realizar el movimiento del rollo de etiquetas, con una alimentación de 12 V el motor sí que es capaz de efectuar el movimiento de recogida del rollo de etiquetas.

Se realizarán en breve las pruebas para los rangos de comunicación y de comunicación con la plataforma. Próximamente se realizará la integración *software* de cada uno de los módulos electrónicos, comprobando así su correcto funcionamiento. Seguidamente se procederá a la integración *hardware* en el dispositivo de la dispensadora, desarrollando el diseño de la caja protectora para los componentes electrónicos y de la caja contenedora de todo el dispositivo.

Una vez finalizado este primer prototipo funcional se harán unas pruebas de testeo antivandalismo, para asegurar en la medida de lo posible la robustez de todo el dispositivo y la sujeción con el contenedor. También se realizarán pruebas con agua para testear las protecciones incorporadas.

7. CONCLUSIÓN

Al tratarse de un dispositivo económico, se han tenido ciertas dificultades para la elección de algunos de sus componentes debido a su alto coste. Todos los componentes que se han mostrado en la memoria se ha conseguido una buena relación entre la calidad que ofrecen y su precio. El único dispositivo que aun no se ha seleccionado es el lector de código de barras, ya que todos los que se han cotejado exceden el precio previsto, y encarecen el precio final del dispositivo. Tras haber contactado con los principales proveedores de cámaras lectoras de código de barras, se ha llegado a la conclusión de que no es viable utilizar ninguna de ellas ya que el precio de una sola supone más de la mitad del precio fijado para el módulo. Dado que existe la necesidad de comprobar el código de barras de la etiqueta que va a salir, se colocará para tal fin o bien una pistola lectora de códigos de barras o bien una cámara conectada a Arduino realizando un tratamiento de imágenes para reconocer el código.

La dificultad en el diseño del dispositivo de la dispensadora de etiquetas ha sido la protección contra el agua a presión con la que se limpian los contenedores. Los contenedores se cogen como en la descarga y se introducen en el camión dentro del cual es sometido a agua a presión para poder limpiarlo lo máximo posible, estando la dispensadora en todo momento de este proceso. Para ello se ha realizado un diseño donde todos los componentes electrónicos queden en el interior de una caja con la protección correspondiente al agua presión, y unos orificios en el suelo de la caja superficial para la evacuación del agua en caso de que entrara. Como medidas antivandalismo se fijará en todos los puntos necesarios para asegurar su fijación al contenedor a prueba de tirones o golpes al igual que la caja superficial.

En la parte de los dispositivos electrónicos se ha tenido algún inconveniente con el motor paso a paso que se ha utilizado, ya que alimentado a 5 V el par que producía el motor y la fricción que tiene el eje respecto a la tapa que lo sujeta impedían que se produjera el movimiento. Esto se ha solucionado alimentando el motor a 12 V, voltaje al que también se puede alimentar el Arduino teniendo todo el sistema a 12 V y alimentando a partir de este los demás módulos.

Debido a que el proyecto PlastiCircle es de 4 años de duración y finaliza en 2021, el dispositivo está aún en una etapa temprana de desarrollo. No obstante, el funcionamiento de la dispensadora si cumple su objetivo principal, ofrecer las etiquetas a los usuarios. Y está alineado con el cronograma y la etapa de desarrollo prevista para esta fecha.

8. BIBLIOGRAFÍA

-
- [1] E. Commission, «European Commission,» 2014. [En línea]. Available: http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/about/roadmap/index_en.htm.
- [2] By, «by.com,» [En línea]. Available: <https://www.by.com.es/blog/que-es-rfid/>.
- [3] Sigfox, «sigfox.com,» [En línea]. Available: <https://www.sigfox.com/en>.
- [4] LoRa, «lora-alliance.org,» [En línea]. Available: <https://lora-alliance.org/about-lorawan>.
- [5] 3. M. C. Centre, «3gpp.org,» [En línea]. Available: <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>.
- [6] S. COMPAÑÍA LEVANTINA DE REDUCTORES, «clr.es,» [En línea]. Available: <https://clr.es/blog/es/motor-paso-a-paso-cuando-utilizarlo/>.
- [7] C. Hacks, «cooking-hacks.com,» [En línea]. Available: <https://www.cooking-hacks.com/lora-radio-shield-for-arduino-868-mhz>.
- [8] Arduino, «arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
- [9] PlastiCircle, «<http://plasticircle.eu/>,» [En línea]. Available: <http://plasticircle.eu/about-us/about/>.
- [10] C. Europea, «cordis.europa.eu,» [En línea]. Available: https://cordis.europa.eu/project/rcn/210517_es.html.
- [11] C. Europea, «cordis.europa.eu,» [En línea]. Available: https://cordis.europa.eu/programme/rcn/701825_en.html.
- [12] C. Europea, «<http://ec.europa.eu>,» 2014. [En línea]. Available: http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/about/roadmap/index_en.htm.
- [13] EUR-Lex, «eur-lex.europa.eu,» [En línea]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>.
- [14] E. M. Foundation, «ellenmacarthurfoundation.org,» [En línea]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/interactive-diagram>.
-

9. PRESUPUESTO

Presupuesto del módulo dispensador de etiquetas para el proyecto europeo PlastiCircle. En este presupuesto se presentan los costes de las partes fijas para cada uno de los módulos que se necesitan para el piloto, se trata de los componentes electrónicos necesarios para su funcionamiento.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO(€)	TOTAL(€)
Arduino UNO	1	16,53	16,53
Módulo RFID - RC522	1	2,47	2,47
Módulo SX1272	1	82,64	82,64
Motor stepper 28BYJ-48	1	2,08	2,08

SUBTOTAL	103,72 €
IVA 21,00 %	21,78 €
TOTAL:	125,50 €