



Trabajo Fin de Grado

SISTEMA IoT PARA GESTIÓN DEL CONTENIDO
DE UNA NEVERA

IoT SYSTEM FOR FRIDGE'S CONTENT'S
MANAGEMENT

Autor

Alejandro Fernández Copóns

Director

Javier Esteban Escaño

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Noviembre 2023



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**SISTEMA IoT PARA GESTIÓN DEL CONTENIDO
DE UNA NEVERA**

**IoT SYSTEM FOR FRIDGE'S CONTENT'S
MANAGEMENT**

Identificador

Autor: Alejandro Fernández Copóns

Director: Javier Esteban Escaño

Fecha: Noviembre 2023



INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	9
3. DESARROLLO DEL PRODUCTO COMERCIAL	20
4. DESARROLLO DEL PROTOTIPO	23
5. RESULTADOS	35
6. CONCLUSIONES	36
7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	37
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
9. BIBLIOGRAFÍA	40
10. ANEXOS	1

INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. RESUMEN	1
1.2. PALABRAS CLAVE	2
1.3. ABSTRACT	3
1.4. KEY WORDS	4
1.5. PRÓLOGO	5
1.6. OBJETIVOS	6
1.7. ANTECEDENTES	7
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. ETIQUETAS RFID (TAG)	13
2.2. LECTORES RFID	16
2.3. ANTENAS	18
3. DESARROLLO DEL PRODUCTO COMERCIAL	20
3.1. COMPONENTES	20
3.2. CONDICIONES DE DISEÑO	21
4. DESARROLLO DEL PROTOTIPO	23
4.1. CONFIGURACIÓN DEL ESP32 Y DEL LECTOR RFID	23
4.1.1. <i>Configuración del ESP32 en Visual Studio</i>	23
4.1.2. <i>Configuración y conexión del Lector RC522</i>	26
4.1.2.1. Conexión del Lector con el ESP32	26
4.1.2.2. Configuración del Lector en Visual Studio	27
4.2. GUARDADO DE TAG Y CREACIÓN DE LA LISTA	28
4.2.1. <i>Guardado de TAG</i>	29
4.2.2. <i>Creación de la Lista</i>	30
4.3. USO DEL ESP32 COMO SERVIDOR	31
4.3.1. <i>Acceso al ESP32 de forma remota</i>	31
4.3.2. <i>Página Web</i>	32
4.3.3. <i>Comunicación Código - Página web</i>	33
4.4. EXTRAS	34
5. RESULTADOS	35
6. CONCLUSIONES	36



7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	37
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
9. BIBLIOGRAFÍA	40
10. ANEXOS	1
10.1. PROTOCOLOS EUROPEOS DE RADIOFRECUENCIA	1
10.2. PROTOCOLOS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS	3
10.3. ESQUEMA ELÉCTRICO	1

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Sistema RFID(Dobkin & Dobkin, 2008)	9
Ilustración 2: Distancias aproximadas según el tipo de acoplamiento(Montenegro & Marchesin, s. f.)	11
Ilustración 3: Infraestructura de Software con RFID como sensor (Dobkin & Dobkin, 2008).....	12
Ilustración 4: Estructura de un TAG UHF típico (Khan et al., 2009)	13
Ilustración 5: Tipos de Configuraciones TAG/Transmisión (Dobkin & Dobkin, 2008)	
.....	14
Ilustración 6: Configuración de antena biestática y monoestática (Dobkin & Dobkin, 2008).....	19
Ilustración 7: Esquemático de la Fuente de Alimentación	21
Ilustración 8: Esquemático del microcontrolador	21
Ilustración 9: Esquemático del Lector RFID	22
Ilustración 10: Esquemático del Circuito de Acondicionamiento	22
Ilustración 11: Instalación de Visual Studio Code(Random Nerd Tutorials, 2020)	
.....	23
Ilustración 12: Instalación de Python(Random Nerd Tutorials, 2020).....	24
Ilustración 13: Instalación de PlatformIO IDE (Random Nerd Tutorials, 2020) ..	24
Ilustración 14: Habilitación de PlatformIO IDE (Random Nerd Tutorials, 2020) .	25
Ilustración 15: Abrir PlatformIO (Random Nerd Tutorials, 2020)	25
Ilustración 16: Configuración de un Nuevo Proyecto (Random Nerd Tutorials, 2020)	25
Ilustración 17: Pines en un RC522	26
Ilustración 18: Instalación Librería MFRC522.....	27
Ilustración 19:Añadir una librería al Proyecto	27
Ilustración 20: Definición variable lector e inicialización del bus SPI y del lector	27
Ilustración 21: Inicialización de los archivos externos (dentro del Setup)	28



Ilustración 22: Página Web a través del ESP32 como servidor	32
Ilustración 23: Prototipo montado.....	35
Ilustración 24: Tiempos Recomendados de Congelación (AESAN, s. f.)	3

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aplicaciones RFID.....	8
Tabla 2: Características de un TAG según la frecuencia(Curtin et al., 2007)	10
Tabla 3: Características de TAGs UHF según su fuente de alimentación(Khan et al., 2009).....	14
Tabla 4: Clasificación en Clases por el EPC(Khan et al., 2009)	15
Tabla 5: Listado de los Componentes Utilizados en el Diseño del Circuito	20
Tabla 6: Resultados	35
Tabla 7: Limitaciones RFID en España(GS1, s. f.)	2

1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

El tema de este TFG surge de un problema cotidiano con el que todo el mundo estará familiarizado, se planea una comida especial, y al ir a buscar los alimentos necesarios, se da la situación de que dichos alimentos nunca estuvieron en primer lugar, o peor aún, llevan tanto tiempo abandonados en el cajón que su consumición comienza a ser más recomendable para el contenedor de la basura.

En hogares con mucha gente, el problema es todavía peor, especialmente con productos perecederos, como la fruta, o con aquellos que se requieran cada mucho tiempo, como los congelados.

Esto resulta en un desperdicio no solo económico, si no de todo el proceso que finaliza en la compra, comenzando en la recolección de materiales para su fabricación, pasando por el envasado y terminando con el transporte hasta las tiendas.

Para la resolución del problema, se pretende utilizar tecnología aplicada a la industria, y traducirla a un entorno doméstico. Un ejemplo de esta tecnología serían las tarjetas prepago del autobús, o las de acceso a edificios.

Las tarjetas contienen un chip inteligente y con memoria (a partir de ahora, TAG), que permite conocer el saldo de las mismas, o identificar a la persona que está intentando entrar a una instalación.

Como primera aproximación, se estudiará su uso en productos congelados, utilizando TAGs para clasificar bolsas según su contenido. Luego, un microcontrolador (en este proyecto se usará el ESP32) registrará y procesará la información de los TAGs, creando un servidor al que cualquiera podría acceder a dicha información, en este caso, la lista de productos en el congelador y fecha de caducidad.

A futuro se puede extender su utilidad, aprovechando la potencia del ESP32, al añadir funciones, como enviar alarmas al móvil, o incluir un recetario en la memoria. Con el recetario se seleccionaría una receta, el ESP32 la compararía con los productos disponibles, y se generaría una lista de la compra con lo faltante.

1.2. PALABRAS CLAVE

RFID

Frecuencia LF/HF/UHF

TAG

Lector RFID

1.3. ABSTRACT

This project's topic comes to fruition through a well-known problem, that being food waste.

Everyone knows the feeling of planning a special meal and opening the fridge only to realize that the needed ingredients weren't there to begin with, or even worse, they were there for so long that it suits better as waste.

It is more noticeable if we talk about big family's houses, especially with perishables, such as fruit, or products that are only used every now and then, like frozen foods.

This leads to not only a waste of money, but a waste of all the process that finalizes at the shopping of the product, beginning with the materials for its fabrication, following with its packaging and ending with its transportation to the mall.

For this problem's resolution, it is intended to adapt industrial technology to a household context. An example of this would be bus cards, or access cards.

The cards contain a smart chip with memory (from now onwards, referenced as TAG), that allows to know the money left in them (on the bus example), or identify people (on the access one).

As a first approach, the case study will focus on frozen products, utilizing TAGs to classify bags based on its content. Afterwards, a microcontroller (in this project an ESP32) will register and process the TAGs' information, creating a server which can be accessed by anyone, in this case, the products' list and their expiration date.

Regarding the future, its utility can be expanded making use of the ESP32's power, like sending alarms to a mobile, or include a recipe book in the memory. That way, the user could select a recipe, and the ESP32 would compare it with the products available, generating a list with the missing ingredients.

1.4. KEY WORDS

RFID

LF/ HF/ UHF Frequency

TAG

RFID Reader

1.5. PRÓLOGO

Este trabajo está enfocado a cualquier hogar con congelador.

Yo mismo he tenido problemas multitud de veces al ir a buscar comida congelada y terminar sin encontrarla, o después de que empiece a sonar el aviso de temperatura.

Siempre me ha parecido un desperdicio de energía, y a veces hasta peligroso, no por dejar la puerta del congelador abierta un minuto, que no debería ser problemático, si no porque a veces, buscando, se dejan cosas fuera para poder ver todo, y alguna vez se ha quedado fuera más de lo recomendado.

Si se queda demasiado fuera, se rompe la denominada cadena de frío, y ya no se puede volver a congelar so pena de estropear la comida, con lo que al desperdicio de energía de tener que bajar la temperatura del congelador de nuevo, se suma el potencial desperdicio de comida, bien sea por haberse dejado un congelado fuera, o porque se ha comprado una segunda e incluso tercera unidad de lo mismo y la primera ha quedado en el fondo durante demasiado tiempo.

Así que espero que, como resultado final, quede un aparato económico que reduzca los problemas mencionados y ayude a las personas a mantenerse mejor organizadas de forma cómoda e intuitiva.

1.6. OBJETIVOS

El objetivo del trabajo es adaptar la tecnología RFID a los hogares, en este caso, para poder llevar un registro de los componentes de un congelador.

Se pretende desarrollar un sistema de reconocimiento de TAG con un microcontrolador ESP32, haciendo un prototipo para demostrar el funcionamiento básico de la idea.

El primer objetivo es que sea capaz de diferenciar varios TAG, pudiendo guardarlas y nombrarlas según el usuario desee.

Como segundo objetivo, tiene que poder crear una lista con los productos del congelador según se añadan o retiren.

También debe ser capaz de comprobar la fecha de caducidad de un producto, encendiendo una luz LED roja cuando algún producto esté cerca de caducar.

Con todo esto, se utilizará el ESP32 como servidor, para poder acceder a los contenidos del microcontrolador desde un medio externo, como el móvil.

Implementar una página web donde el usuario sea capaz de gestionar lo mencionado.

Diseñar y fabricar una placa electrónica que incluya todos los componentes necesarios y sea un único producto final utilizable por cualquiera de forma cómoda e intuitiva, sin el enredo de cables que supondrá el prototipo.

1.7. ANTECEDENTES

En la actualidad, las tecnologías RFID se consideran importantes en las tecnologías de la información, sirviendo para el seguimiento de activos, la monitorización de animales, las aplicaciones médicas y en controles de acceso, entre otros, como se muestra en la tabla 1. (Khan et al., 2009)

Los datos recopilados con las aplicaciones RFID aportan datos cuantitativos para los responsables de la toma de decisiones. Tiendas como Wal Mart, y BestBuy han descubierto que la tecnología RFID puede mantener sus inventarios en un nivel óptimo, reducir las pérdidas de existencias, limitar los robos en tiendas y acelerar el proceso de facturación. (Khan et al., 2009)

Los TAG y lectores de LF (Baja Frecuencia) son populares para uso en controles de acceso. Los lectores LF de corto alcance suelen ser de muy bajo coste, ya que las frecuencias de señal de 100 kHz presentan muy poco desafío para los circuitos digitales modernos. Los TAG se pueden utilizar como tarjetas de identificación que permiten la entrada a instalaciones seguras. Los rangos de contacto cercano (pocos centímetros) son aceptables y garantizan que solo se use una tarjeta a la vez en un momento dado. (Dobkin & Dobkin, 2008)

Los TAG LF también se utilizan en forma de llavero, para proporcionar una identificación única del conductor a un lector montado en un automóvil. De nuevo, solo hay una etiqueta a la vez, y es aceptable un retraso de segundos. (Dobkin & Dobkin, 2008)

Los TAG LF también son útiles en la identificación de metales cilindros de gas comprimido, que sería problemático para los TAG de mayor frecuencia por la presencia de metales. (Dobkin & Dobkin, 2008)

Los TAG HF (Alta Frecuencia) se utilizan ampliamente como tarjetas inteligentes sin contacto, parecidas a las tarjetas de crédito. El rápido aumento de la potencia de los TAG a medida que se acercan a un lector significa que una ligera disminución en el rango de lectura es suficiente para proporcionar la potencia necesaria para las operaciones criptográficas, por lo que las etiquetas HF pueden llevar a cabo fácilmente comunicaciones seguras con un lector. El corto alcance también ayuda contra la intercepción y activación involuntaria de las tarjetas cuando están, por ejemplo, dentro del monedero de un usuario. Igual que con los sistemas LF, los TAG HF también se pueden utilizar para control de acceso. También se utilizan cada vez más en pasaportes y viajes equipados con documentos RFID. (Dobkin & Dobkin, 2008)

Los TAG UHF (Ultra Alta Frecuencia) se benefician de tener un alcance más amplio. La relativa simplicidad de la antena UHF ayuda a reducir el coste de fabricación. Sin embargo, al menos uno de los

Introducción

componentes en el circuito del TAG debe funcionar a frecuencias muy altas, que hasta hace poco aumentaba significativamente el coste de los circuitos. Los TAG UHF se utilizan ampliamente en el peaje de automóviles y el seguimiento de vagones de tren, donde los alcances de varios metros añaden una considerable flexibilidad de instalación. Se utilizan cada vez más en la gestión de la cadena de suministro, el seguimiento del equipaje y seguimiento de activos, donde el futuro de los TAG de muy bajo coste es importante, y el relativamente largo alcance añade flexibilidad en las aplicaciones (a costa de cierta ambigüedad en la localización de los TAG). (Dobkin & Dobkin, 2008)

Las etiquetas UHF equipadas con baterías pueden tener un alcance de decenas o cientos de metros, y se utilizan para rastrear contenedores de envío y localizar activos individuales costosos en grandes instalaciones.(Khan et al., 2009)

Las implementaciones de bibliotecas son importantes bancos de pruebas para la tecnología. Han descubierto que el "ajuste" del campo de detección del interrogador RFID puede ser crítico para la seguridad de un sistema, ya que dejar los artículos etiquetados muy cerca de una estación de emisión/retorno puede dar lugar a que se descarguen o se emitan involuntariamente; en algunos casos, el ajuste incorrecto del campo de detección también significaba que era posible evadir el campo por completo (Marsterson, 2006).

Área de Aplicación	Tecnología del TAG y uso
Automatización Cadena de Suministro	TAG pasivas UHF usadas para seguir el producto a lo largo de la cadena de suministro
Seguimiento de Objetos	TAG pasivas HF/UHF que se puede usar para localizar objetos en oficinas, laboratorios, contenedores... Los objetos metálicos absorben ondas de radio, así que estos necesitan un tratamiento especial
Aplicaciones Médicas	TAG pasivas UHF usadas para monitorizar pacientes, como medidas biométricas y diagnosis utilizando TAG digeribles.
Seguimiento de Personas	TAG pasivas/activas UHF, se puede usar para localizar personas dentro de una zona, o para seguridad.
Inventariado	TAG pasivas UHF usadas para inventariado en tiempo real con un registro automático de los objetos dentro de una zona concreta.
Peajes	TAG pasivas/activas UHF para los pagos automáticos en los peajes de la autopista
Eventos Deportivos	Se añaden TAG a las deportivas de los participantes para llevar un registro preciso de los tiempos aún si hay 10000 participantes.

Tabla 1: Aplicaciones RFID

2. MARCO TEÓRICO

Este trabajo se basa en la tecnología RFID, que es la abreviatura de IDentificación por RadioFrecuencia.

Utiliza ondas de radio para poder realizar el seguimiento de productos de forma inalámbrica y es una extensión de la tecnología de código de barras, estando integrada en la Red Global EPC. (Curtin et al., 2007)

Un sistema RFID está constituido por(Montenegro & Marchesin, s. f.):

- Un TAG o más, que están formados por un chip y una antena.
- Un lector o más, que incluyen una antena.
- Un host(ordenador, microcontrolador...) y software.

El lector envía una señal que reciben los TAG sintonizados a la misma frecuencia que el lector.

Los TAG reciben la señal, y los seleccionados responden enviando la información que tenga almacenada en su chip. Esta información puede incluir diferentes datos del producto, como número de serie, configuración, temperatura y otros datos provistos por sensores. (Montenegro & Marchesin, s. f.)

Finalmente, el lector recibe la respuesta de los TAG a través de su antena, la decodifica y transfiere a un host.

Cuando hay múltiples TAG dentro del rango de la señal del lector, los sistemas RFID más eficientes utilizan algoritmos de anticolisión que determinan el orden en que los TAG responderán para que lo hagan de uno en uno y solo una vez. Se hace mediante protocolos que permiten controlar las comunicaciones entre TAG y lector. (Montenegro & Marchesin, s. f.)

Los TAG pueden cumplir con uno o más estándares, permitiendo la comunicación con los lectores que sean compatibles con alguno de ellos.

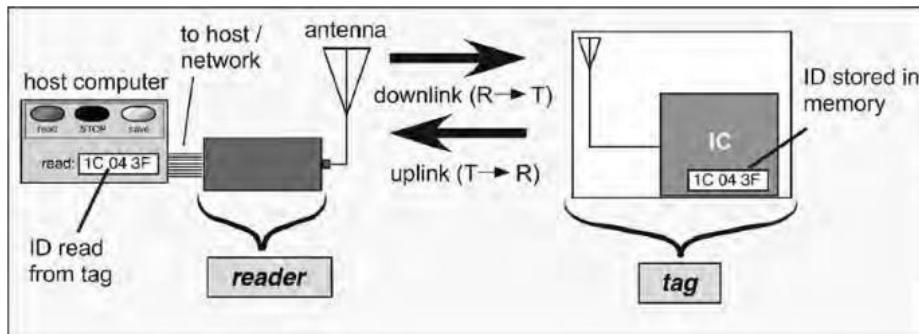


Ilustración 1: Sistema RFID(Dobkin & Dobkin, 2008)

En un sistema RFID, las variables críticas son (Montenegro & Marchesin, s. f.):

- Rango de frecuencia de la comunicación
- Tamaño de la información en el TAG
- Velocidad de comunicación con el TAG.
- Forma física del TAG
- Capacidad del sistema de comunicarse simultáneamente con múltiples TAG.
- Robustez de la comunicación frente a interferencias debidas al material en el camino entre el lector y el TAG.

Estas variables dependen de otros factores, como los niveles de emisión permitidas en cada país, si el TAG tiene una batería para ayudar en la comunicación con el lector, y la frecuencia utilizada para la comunicación.

Hay 4 tipos de sistemas RFID según el rango de frecuencia en el que operan, y que determinan su distancia de funcionamiento:

Frecuencia baja 125 – 143kHz	Frecuencia alta 13,56MHz	UHF 860 – 960MHz	Microondas 2,45GHz
Baja velocidad de comunicación	Velocidad moderada de comunicación	Alta velocidad de comunicación	Alta velocidad de comunicación
Mejor seguridad	Buena para pocos datos	No buena cerca de metales	Almacenamiento amplio
Rango corto: <50cm	Rango corto: <1m	Rango moderado: 3m - 10m	Rango elevado
Penetra bien el agua y los tejidos	Penetra algunos materiales	No penetra el agua, tejidos, metales	No penetra el agua, tejidos, metales
Relativamente caro	No buena cerca de metales	Zona de lectura controlada	Mayor ancho de banda
	Diseño de antena sencillo	Diferencias en las regulaciones internacionales	Tamaño de TAG pequeño
	Bajo coste	Tamaño de TAG pequeño	Tamaño de antena pequeño
	Frecuencia regulada internacionalmente		Susceptible al ruido

Tabla 2: Características de un TAG según la frecuencia (Curtin et al., 2007)

Según las propiedades físicas utilizadas en la comunicación lector TAG, se diferencian dos tipos de sistemas RFID(Montenegro & Marchesin, s. f.):

- De acoplamiento inductivo (para bajas y altas frecuencias): Utilizan una comunicación nearfield. El lector crea un campo magnético, que induce una corriente eléctrica en la antena del TAG, alimentando el circuito integrado para obtener el ID. El ID se comunica al lector variando la carga en el bobinado de la antena, provocando un cambio en la corriente generada en la bobina del lector.
- De acoplamiento electromagnético (UHF): usan comunicación far field y el backscattering. Backscatter es usado para indicar que los TAG reflejan la señal con la misma frecuencia emitida por el lector pero cambiando la información contenida en ella. La comunicación far field está basada en ondas de radio eléctricas. Durante el proceso, el TAG codifica la señal con su (el ID) usando una técnica llamada modulación (por ejemplo, variando la amplitud o la fase de la señal de vuelta).

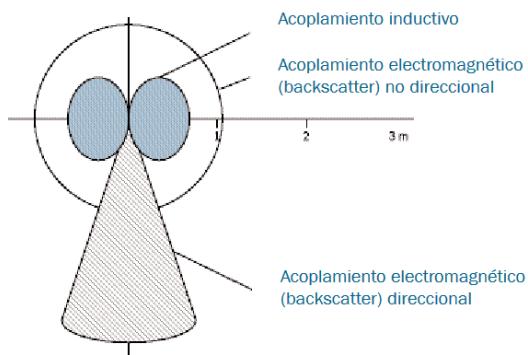


Ilustración 2: Distancias aproximadas según el tipo de acoplamiento(Montenegro & Marchesin, s. f.)

Normalmente, lectores y TAG son parte de un mayor sistema de almacenamiento y manejo de información, con lo que un lector RFID se puede entender como un sensor más.

En organizaciones pequeñas, la infraestructura puede consistir en una base de datos procesándose de forma local o una tabla de datos que solo registra una lista única de tags.

En una gran compañía, las actividades son monitorizadas por una base de datos mucho mayor, normalmente conocida por nombres como Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) entre otros.

Como seguramente un sistema RFID distinga entre sujetos individuales en vez de solo entre clases de objetos, generará mucha más información que los sistemas de seguimiento tradicionales.

Debido a esto, está surgiendo un nuevo tipo de software, generalmente conocido como RFID middleware, para hacer de puente entre la base de datos ERP y los procesos empresariales y los nuevos equipamientos RFID. (Dobkin & Dobkin, 2008)

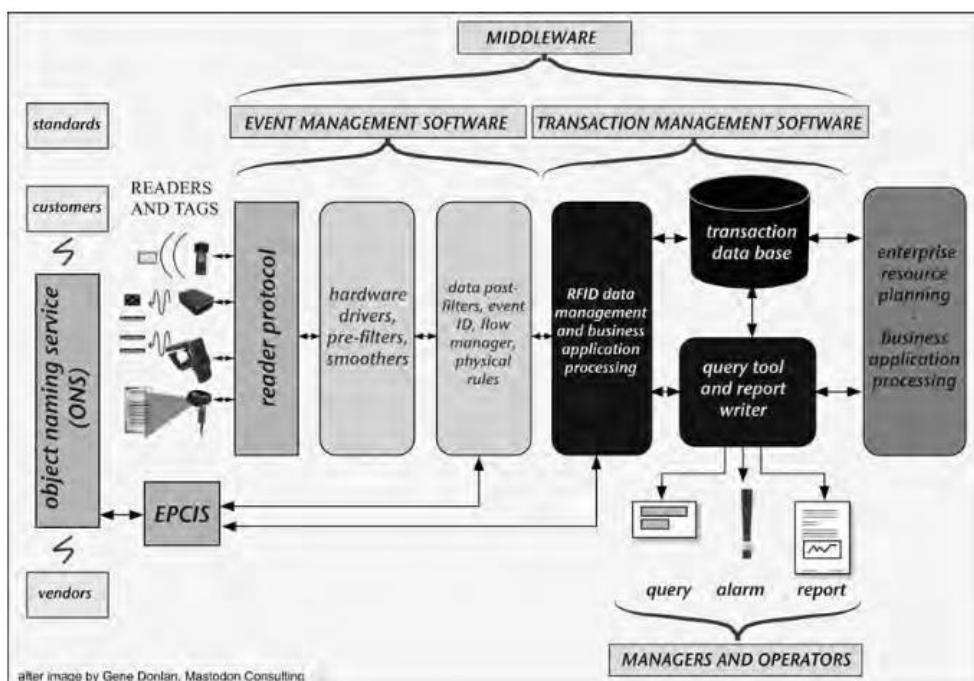


Ilustración 3: Infraestructura de Software con RFID como sensor (Dobkin & Dobkin, 2008)

2.1. ETIQUETAS RFID (TAG)

Un TAG consta de un microchip con la lógica e información, y una antena encargada de recibir peticiones del lector y responder, además, pueden incluir una batería que ayude al circuito del microchip. (Khan et al., 2009)

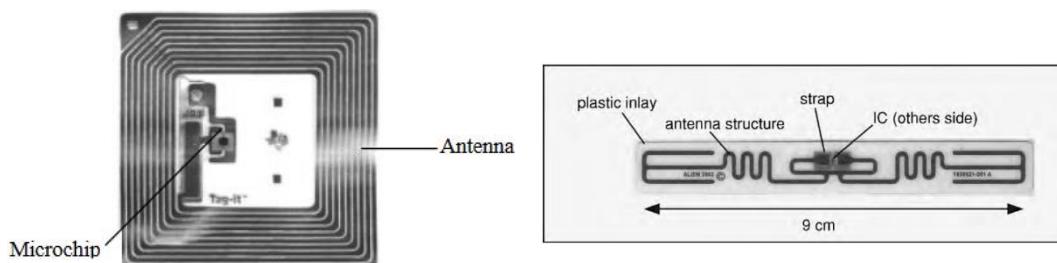


Ilustración 4: Estructura de un TAG UHF típico (Khan et al., 2009)

Los TAG se pueden clasificar según su topología (activo, pasivo y semiactivo), tipo de memoria (solo lectura y de lectura/escritura), capacidad de almacenamiento, origen de alimentación, frecuencias de trabajo, características físicas, protocolo de interfaz aérea (cómo se comunica con el equipo lector) y así sucesivamente con casi todas las características. (Montenegro & Marchesin, s. f.)

Pero principalmente hay 3 tipos básicos de TAG a considerar(Dobkin & Dobkin, 2008; Khan et al., 2009; Montenegro & Marchesin, s. f.):

- TAG pasivos: No tienen una fuente de alimentación propia, por lo que utilizan la corriente eléctrica inducida en la antena por la señal de escaneo del lector RFID, permitiendo al chip ser más pequeño y barato. Dependen de la correcta y eficiente rectificación de las ondas del lector para funcionar, y de modificar su la onda para también poder enviar una señal de vuelta. Es el lector el que tiene que comenzar la comunicación.
- TAG semipasivos: Tienen una pequeña batería que permite que el circuito integrado esté constantemente alimentado. Esto le permite tener mejores tiempos de respuesta, pero el lector es el que aporta energía para transmitir la señal desde la tarjeta a través del backscattering.
- Etiquetas activas: Tienen una fuente de energía propia, lo que permite mayores rangos de lectura y más memoria. También pueden recibir y almacenar información. La tarjeta es la que comienza la comunicación con el lector. Normalmente tienen capacidad de lectura/escritura. Como tiene energía y transmisores propios, se configuran como una radio bidireccional habitual.

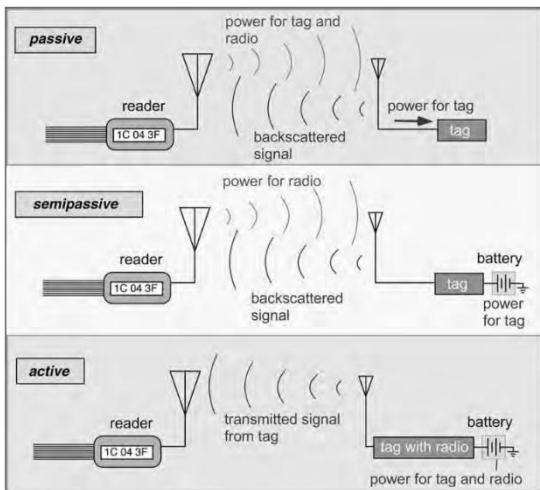


Ilustración 5: Tipos de Configuraciones TAG/Transmisión (Dobkin & Dobkin, 2008)

Otras características a tener en cuenta siguen siendo la frecuencia y la funcionalidad del tag.

Escoger un tipo de frecuencia solo depende del tipo de aplicación y el rango de lectura que se necesite, por ejemplo, la monitorización de un animal requiere LF mientras que los peajes utilizan UHF.

El tamaño, forma, peso y las físicas juegan un rol muy importante para seleccionar una tarjeta para una aplicación concreta. Cada tarjeta tiene una transferencia de información, memoria, coste y vida útil diferentes, dependiendo del tamaño de la tarjeta, la frecuencia utilizada, el rango de recepción o el rango de lectura, se limitan los lectores que se pueden utilizar.

Características	Pasivas	Activas	Semi-Activas
Frecuencia (UHF)	860-960MHz	868/915MHz y 2.4GHz	868/915MHz y 2.4GHz
Fuente de alimentación interna	No	Sí	Sí
Bit Rate (Kbps)	246	20/40/250	16
Memoria (KB)	128	128	4
Identificación de múltiples TAG	3s para identificar 20 TAG	1000TAG/s desplazándose a 160km/h	7TAG/s desplazándose a 5km/h
Rango de Lectura	<10m	<100m	<5m
Coste	0,10 – 1,50€	12,50 – 25,00€	5,00 – 20,00€
Tiempo útil	3 - 10 años	½ - 5 años	½ - 5 años

Tabla 3: Características de TAGs UHF según su fuente de alimentación(Khan et al., 2009)

Hay una clasificación basada en el contenido y formato de la información introducida por la EPC, creando un estándar que permite a las empresas compartir información de forma efectiva. (Khan et al., 2009)

Clase EPC	Definición	Programación
Clase-0 Gen-1	Read only, TAG pasivos	Programadas de fábrica
Clase-1 Gen-1	Write-Once Read-Many, TAG pasivos	Programadas una vez por el usuario y luego bloqueadas
Clase-1 Gen-2	Write-Many Read-Many, TAG pasivos	Programadas una vez por el usuario y luego bloqueadas
Clase-2	TAG pasivos reescribibles con funcionalidades extra como encriptación y emulación	Reprogramables
Clase-3	TAG semiactivos que soportan comunicaciones con banda ancha	
Clase-4	TAG activos que pueden comunicarse con otros TAG activos	
Clase-5	Lectores, pueden darle energía a TAG de las clases 1,2 y 3, y también pueden comunicarse con los clase 4 de forma inalámbrica	No aplica

Tabla 4: Clasificación en Clases por el EPC(Khan et al., 2009)

2.2. LECTORES RFID

Un lector RFID está compuesto por una antena, un transceptor y un decodificador. Estos lectores envían periódicamente una señal para verificar la presencia de TAGs en su área. Cuando detecta uno, extrae la información contenida en el chip y la transmite al subsistema de procesamiento de datos. (Montenegro & Marchesin, s. f.)

Hay dos clases principales de lectores RFID(Ward & van Kranenburg, 2006):

- Solo de lectura, siendo un ejemplo los que solo pueden operar con TAGs EPC de Clase 1.
- Lectura/escritura, que pueden escribir a la tarjeta que hayan sido equipadas con memoria lectura/escritura.

Los lectores son cada vez más sofisticados, pudiendo funcionar ahora en distintos tipos de comunicaciones, como las TCP/IP, o las DHCP, UDP/IP y Ethernet o 802.11x.

Muchos modelos son maniobrables y se parecen a las pistolas de los códigos de barras usadas en los supermercados, pero también pueden estar fijos en un sitio. (por ejemplo, en portales y peajes). Además, también hay TAG EPC de Clase 5, que pueden leer otros TAG e intercambiar información con ellas.

Un lector RFID es, en esencia, un transceptor de radio: un transmisor y un receptor que trabajan juntos para comunicarse con el TAG. (Dobkin & Dobkin, 2008)

Todo transmisor de radio debe tener:

- Precisión: debe modular con precisión la frecuencia portadora con la señal de banda base y mantenerla.
- Eficiencia: debe entregar esta señal sin distorsiones al circuito conversor de energía sin desperdiciar demasiada. El amplificador final del transmisor es a menudo el mayor consumidor de energía.
- Baja radiación no esencial: la distorsión de la señal transmitida puede dar lugar a radiación en frecuencias fuera de las bandas autorizadas, lo que puede interferir con los usuarios con licencia y está mal visto por la mayoría de las autoridades reguladoras.
- Flexibilidad: el transmisor debe apagarse cuando no esté en uso para ahorrar energía y evitar crear interferencias, y volver a encenderse rápidamente cuando haya etiquetas que leer.

Cualquier receptor de radio debe proporcionar(Dobkin & Dobkin, 2008):

- Sensibilidad: una buena radio debe recibir e interpretar con éxito señales muy pequeñas. El límite último de la sensibilidad de radio es el ruido térmico. Además, otros factores pueden degradar la sensibilidad de un receptor RFID.
- Selectividad: una radio RFID necesita detectar la señal de la etiqueta en presencia de interferencias a menudo mucho más potentes, como en una instalación con muchos lectores RFID u otras fuentes de radiofrecuencia, como los móviles. El receptor necesita rechazar las señales fuera del canal que está tratando de recibir, incluso si son grandes en comparación con la señal deseada.
- Rango dinámico: el mismo lector debe recibir e interpretar las señales de un transmisor a 3 m de la antena y un transmisor a 30 cm de distancia, aproximadamente un factor de diferencia de 10.000 en la potencia recibida. Se imponen exigencias mucho mayores al receptor si se va a leer una etiqueta semipasiva a distancias de decenas de metros.
- Flexibilidad: En los protocolos RFID pasivos, el transmisor envía una señal de amplitud modulada y luego transmite CW mientras espera una respuesta de etiqueta. El receptor debe recuperarse rápidamente de cualquier perturbación resultante de la parte de la señal modulada que se filtra en él, con el fin de escuchar la respuesta de la etiqueta pequeña

Un lector RFID que se comunica con una etiqueta pasiva o semipasiva debe funcionar en modo dúplex completo, en el sentido de que debe transmitir ondas continuas para que el TAG pueda devolver la señal mientras escucha la respuesta del TAG, pero dado que la señal del TAG está a la misma frecuencia que la propia señal del lector, no se puede usar un duplexor para eliminar la señal transmitida. (Dobkin & Dobkin, 2008)

2.3. ANTENAS

Una antena es un dispositivo capaz de ayudar al envío y recepción de señales inalámbricas. Las propiedades que afectan a la utilidad de las antenas dentro de un sistema RFID son(Dobkin & Dobkin, 2008):

- Ganancia y patrón de radiación: La extensión en la cual la radiación de la antena está concentrada en algunas direcciones en preferencia a otras.
- Apertura Efectiva: El área equivalente en la que la antena receptora recibe energía.
- Polarización: La orientación del campo eléctrico irradiado por la antena
- Hay otros tres parámetros que tener en cuenta cuando enganchamos un lector a la antena:
 - Impedancia: Cuánta tensión es necesaria para causar una corriente determinada en la antena.
 - Ancho de banda: En qué rango de frecuencias permanece la impedancia relativamente constante.
 - Tamaño y coste: Qué damos a cambio de hacerlo más pequeño y barato.

Para los TAGs de frecuencia HF, el diseño de las antenas es más sencillo, consistiendo en una bobina de material conductor. En este caso los factores más relevantes para la distancia de lectura (además del tipo de acoplamiento), son el tamaño y la longitud de dicha bobina(Montenegro & Marchesin, s. f.).

Para frecuencias UHF, los TAGs son dipolos, permitiendo, mediante el diseño, buscar un equilibrio entre los objetivos más importantes para cada caso particular, aunque suelen ser rendimiento, distancia de lectura, eficiencia en la transferencia de energía y el costo.

Las antenas del TAG tienen el diseño basado en varios factores, que determinarán su forma y tamaño según el objetivo de la aplicación o solución a saber(Montenegro & Marchesin, s. f.):

- Distancia de lectura
- Sensibilidad a la orientación
- Características del entorno (metal, líquido, madera, etc.)
- Polarización del sistema
- Especificaciones concretas del objeto a etiquetar

En la transmisión de la señal, hay un fenómeno conocido como fugas, que consiste en la mezcla de la señal que se transmite con la que

se está recibiendo, y puede ser un límite importante en la sensibilidad del receptor(Dobkin & Dobkin, 2008).

Esta fuga se puede minimizar usando antenas separadas para transmitir la señal del lector y recibir la señal del TAG, esta disposición se conoce como biestática(Dobkin & Dobkin, 2008).

Garantiza que muy poca parte de la señal transmitida entre en el receptor, siempre que las antenas estén colocadas correctamente y no haya obstáculos dispersando la radiación transmitida en la antena receptora(Dobkin & Dobkin, 2008).

Usar dos antenas tiene varios inconvenientes: mayor tamaño, complejidad y gastos adicionales, además de no ser práctico en algunas aplicaciones, como un lector de mano. Alternativamente, se puede utilizar una sola antena tanto para la transmisión como para la recepción: una configuración monoestática(Dobkin & Dobkin, 2008).

En este caso, es probable que la entrada del receptor esté expuesta a una mayor cantidad de señal del transmisor, provocado por la reflexión de la antena, haciendo que el receptor deba estar diseñado para detectar la señal del TAG a pesar de que haya fugas transmitidas no deseadas(Dobkin & Dobkin, 2008).

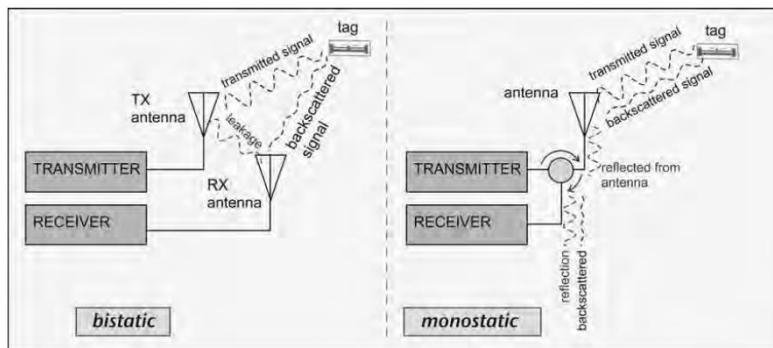


Ilustración 6: Configuración de antena biestática y monoestática (Dobkin & Dobkin, 2008)

3. DESARROLLO DEL PRODUCTO COMERCIAL

3.1. COMPONENTES

Componente	Nombre	Cantidad	Precio (€)
Microcontrolador	ESP32-S3-WROOM-1-N16	1	3,24
Lector RFID	ST25RU3993-BQFT	1	47,89
Fuente Conmutada	BD9859EFJ-E2	2	1,32
Balun	BD0810J50100AHF	2	0,88
Amplificador RF	TQP9107	1	12,83
Filtro Paso Bajo	0900LP15B0063E	1	0,38
Acoplador RF	DC0710J5010AHF	1	1,13
Conexión USB-C	10155435-00011LF	1	0,78
Resistencias		18	
Bobinas		3	
Condensadores		51	

Tabla 5: Listado de los Componentes Utilizados en el Diseño del Circuito

3.2. CONDICIONES DE DISEÑO

La placa electrónica debe tener una fuente de alimentación que convierta los 5V provenientes del conector USB-C en 3,3V, tensión a la que se alimentará el microcontrolador ESP32-S3-WROOM y el lector RFID ST25RU3993-BQFT.

Se ha escogido la fuente comutada BD9859EFJ-E2, y una segunda unidad se encargará de convertir los 5V de entrada en una salida de 4,1V, utilizados en un amplificador RF.

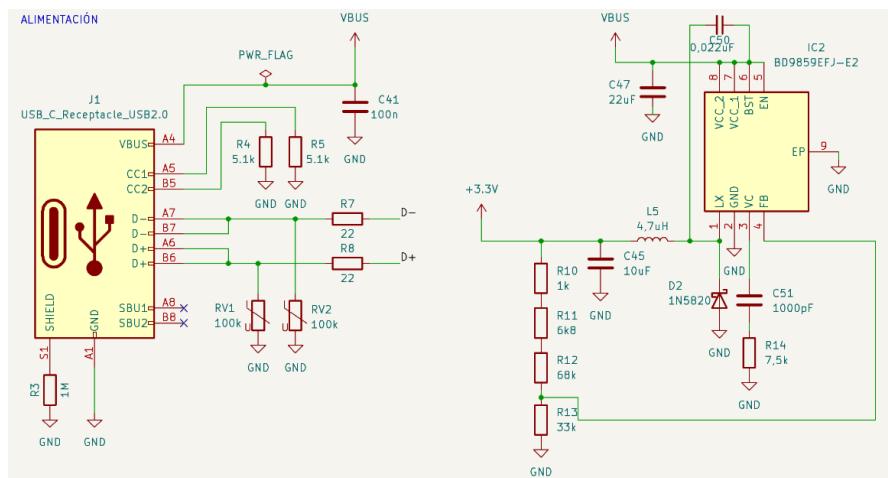


Ilustración 7: Esquemático de la Fuente de Alimentación

El ESP32-S3-WROOM se conectará teniendo en cuenta que:

- Se comunica con el RFID ST25RU3993-BQFT a través de SPI.
- Cuenta con un botón de RESET.
- Está conectado al puerto USB-C por los pines de datos D+ y D-.
- Tiene un LED rojo que se iluminará cuando se acerque la fecha de caducidad de alguno de los productos registrados.

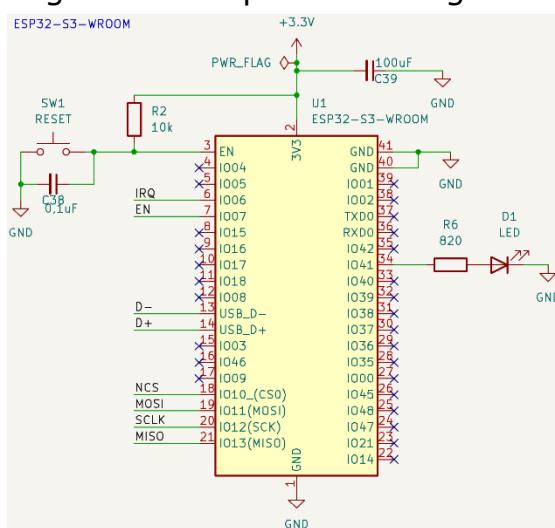


Ilustración 8: Esquemático del microcontrolador

Desarrollo del Producto Comercial

El lector RFID ST25RU3993-BQFT se conecta al microcontrolador a través de una interfaz SPI, pero además de eso necesita un reloj para tener una frecuencia base, condensadores de acondicionamiento, y, finalmente, un circuito de tratamiento de señal enfocado en enviar y recibir ondas de forma estable y precisa.

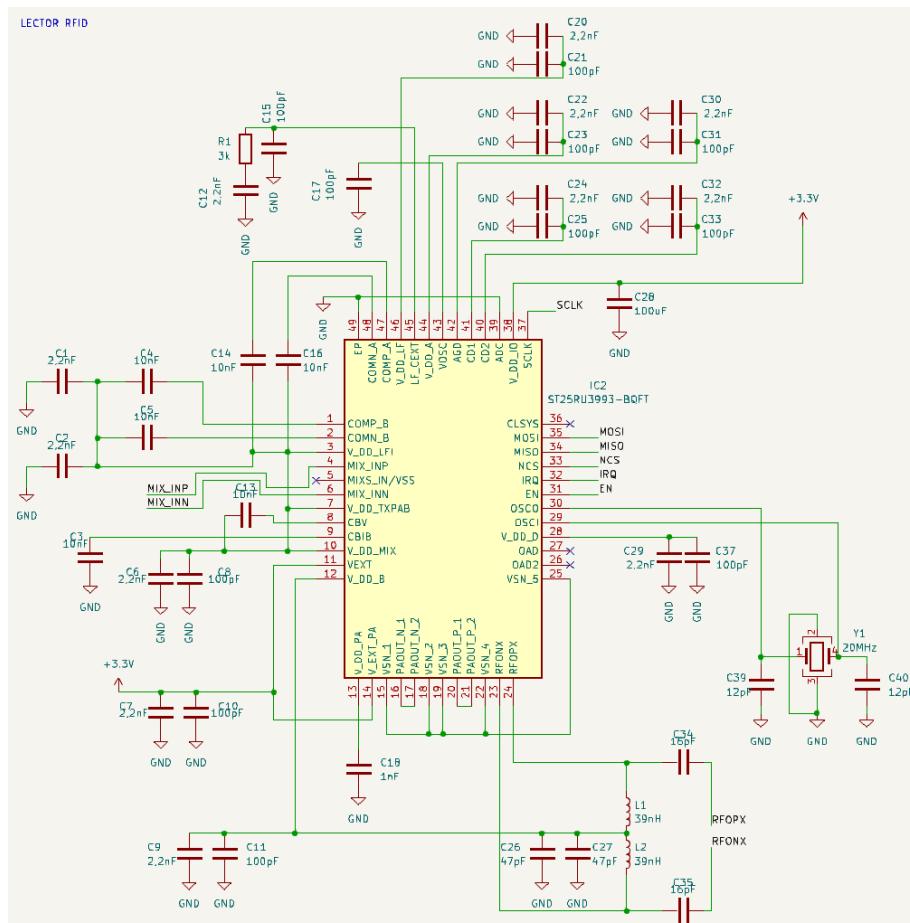


Ilustración 9: Esquemático del Lector RFID

El circuito de acondicionamiento de señal constará de un balun conectado a la señal transmitida por el lector RFID, un amplificador RF conectado a un filtro paso bajo, y un acoplador al que se le conectará la antena y un balun para devolver al lector la señal reflejada de los TAG.

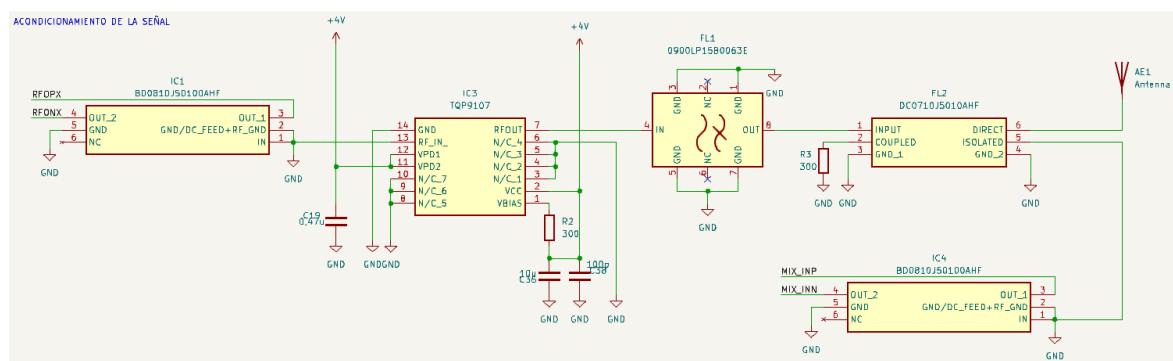


Ilustración 10: Esquemático del Circuito de Acondicionamiento

4. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

4.1. CONFIGURACIÓN DEL ESP32 Y DEL LECTOR RFID

Para este TFG se utilizarán:

- Microcontrolador: Kit de desarrollo ESP32 C V2 (Chip CP2102).
- Placa Blanca (Recomendada una extraancha, si no el ESP32 no cabe y hay que dejar que la mitad de los pines queden en el aire)
- Kit Lector RFID: RC522 + 2 TAG.
- Cables para conectar el ESP32: USB-MiniUSB para el ordenador y cables de placa blanca para el lector.
- Ordenador.
- Entorno de Programación: Visual Studio Code (Versión 1.84.1).
- Python (Versión 3.12).
- La extensión de VS Code llamada PlatformIO.

Una vez conseguidos todos los elementos físicos, lo primero es la configuración del IDE de Visual Studio para poder utilizar el ESP32 y programar el código.

4.1.1. Configuración del ESP32 en Visual Studio

Además de Visual Studio Code, para poder programar en el ESP32, es necesario tener instalado Python, además de la extensión PlatformIO.

Para instalar Visual Studio Code:

- Se descarga la versión Estable en: <https://code.visualstudio.com/>
- Es importante que, a lo largo de la instalación, en la sección enseñada en la imagen, se seleccione “Añadir a PATH”:

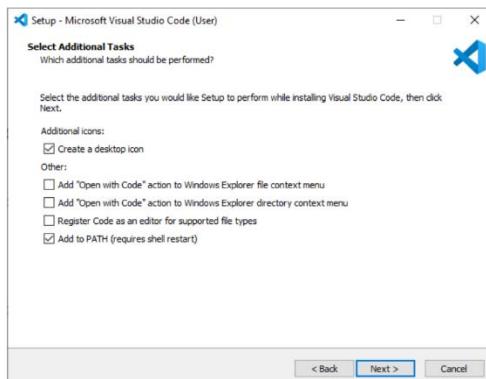


Ilustración 11: Instalación de Visual Studio Code(Random Nerd Tutorials, 2020)

Habiendo hecho esto, se sigue con la instalación de Python:

- Se descarga la última versión en: [python.org/download](https://www.python.org/download)
- Es importante que, a lo largo de la instalación, en la sección enseñada en la imagen, se seleccione “Añadir a PATH”:

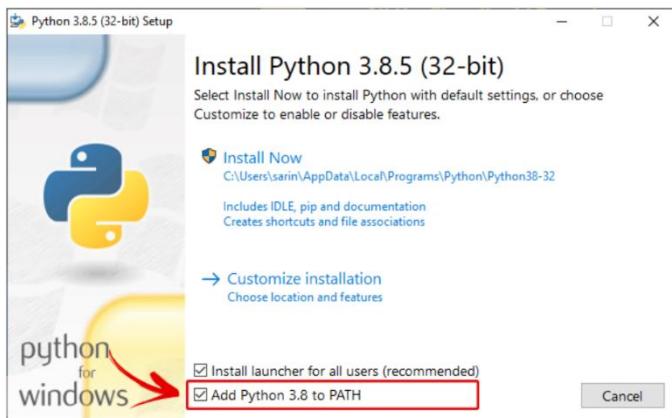


Ilustración 12: Instalación de Python (Random Nerd Tutorials, 2020)

Como último paso para poder programar el ESP32, hay que añadir la extensión “PlatformIO”:

Para esto:

- 1: Clica en el icono de Extensiones o presiona Ctrl+Shift+X para abrir la pestaña de Extensiones.
- 2: Busca “PlatformIO IDE”
- 3: Selecciona la primera opción.
- 4: Para terminar, clica en “Instalar” (Nota: la instalación puede tardar varios minutos)

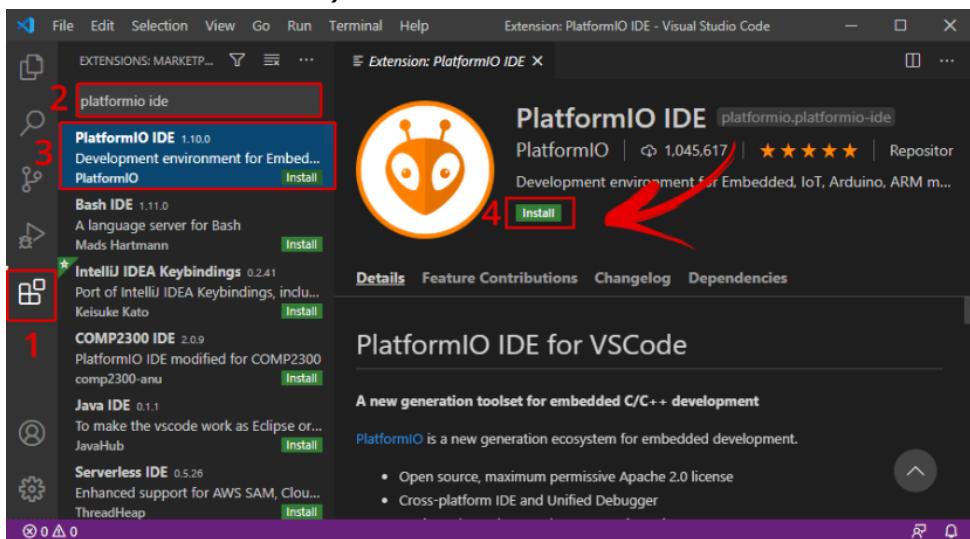


Ilustración 13: Instalación de PlatformIO IDE (Random Nerd Tutorials, 2020)

Desarrollo del Prototipo

Después de la instalación, hay que asegurarse de que la Extensión PlatformIO IDE está habilitada.

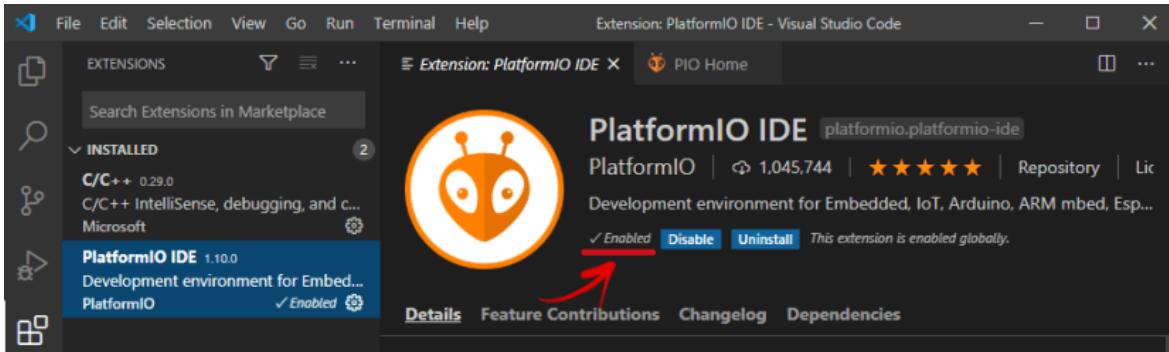


Ilustración 14: Habilitación de PlatformIO IDE (Random Nerd Tutorials, 2020)

Tras esto, el icono de PlatformIO IDE aparecerá en la barra lateral:

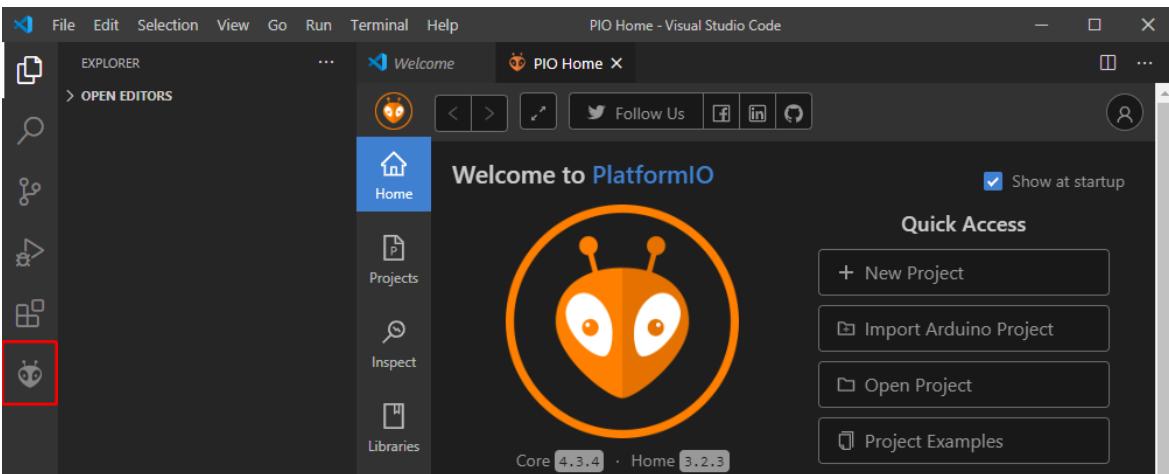


Ilustración 15: Abrir PlatformIO (Random Nerd Tutorials, 2020)

Una vez acabados los pasos, se podrá crear un proyecto para programar con normalidad. Tras darle a “New Project” (dentro de PlatformIO, como se ve en la imagen anterior), aparecerá un configurador, donde se nombrará el proyecto y se especificará la placa:

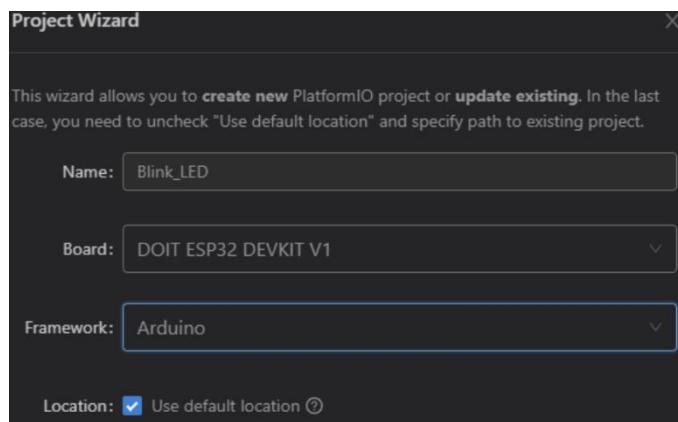


Ilustración 16: Configuración de un Nuevo Proyecto (Random Nerd Tutorials, 2020)

4.1.2. Configuración y conexión del Lector RC522

Para poder utilizar el RC522, son necesarias dos cosas, un correcto cableado con el ESP32, y utilizar las librerías SPI.h y la MFRC522.h. La primera sirve para indicar que se va a utilizar la comunicación SPI (entre el microcontrolador y el lector, esta librería está preinstalada en Arduino), mientras que la MFRC522 es la específica del lector y será necesario buscarla y encontrarla.

4.1.2.1. Conexión del Lector con el ESP32

Se va a utilizar la comunicación SPI, por lo que hay que buscar los pines del ESP32 correspondientes y conectarlos con su contraparte en el lector.

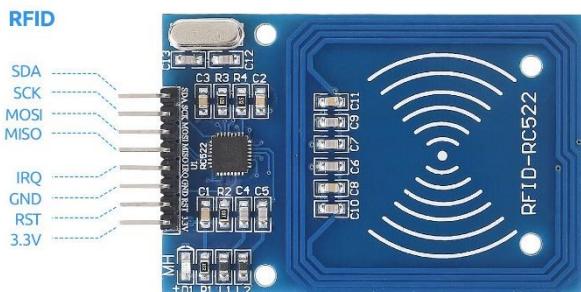


Ilustración 17: Pines en un RC522

Nota: En la imagen el lector viene con un conector presoldado, pero puede darse el caso de que no sea así, en cuyo caso habrá que soldar uno, porque intentar colocar el conector sin soldar resultará en que no funcione (aunque se ilumina el led de alimentación, no hay suficiente buen contacto como para el paso de datos).

Lista de conexión entre pines RC522 -> ESP32:

- SDA -> GPIO 5
- SCK -> GPIO 18
- MOSI -> GPIO 23
- MISO -> GPIO 19
- IRQ -> No es necesario
- GND -> GND
- RST -> GPIO 21
- 3.3V -> 3.3V

4.1.2.2. Configuración del Lector en Visual Studio

Una vez resuelta la parte de hardware, queda el software. Como se ha mencionado anteriormente, se necesitan dos librerías para el lector, la que habilita el bus SPI, y la propia del lector.

Para poder utilizar la del lector, se descargará desde “Libraries”. Buscando como “mfrc522” aparecerán varias librerías diferentes, pero se instalará específicamente la MFRC522 de Miguel André Balbo, que a día de hoy aparece en cuarto lugar.

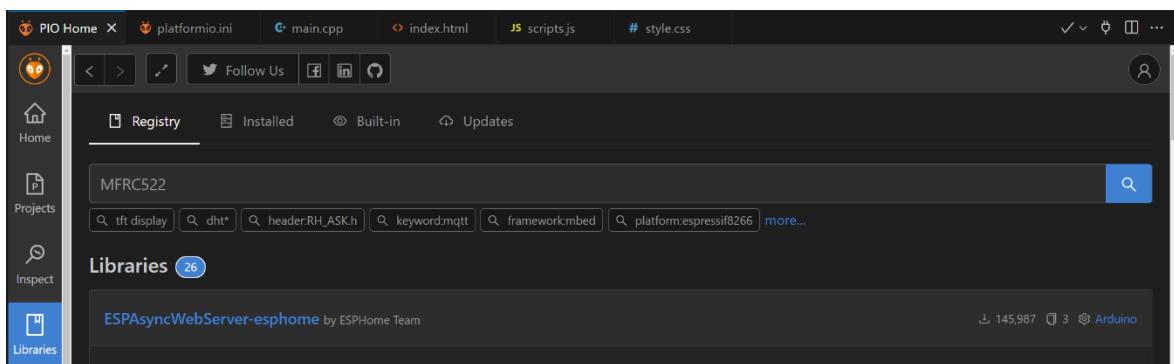


Ilustración 18: Instalación Librería MFRC522

Tras clicar en la librería, se abrirá la página de esa librería, y aparecerá un ícono “Añadir a este proyecto”.

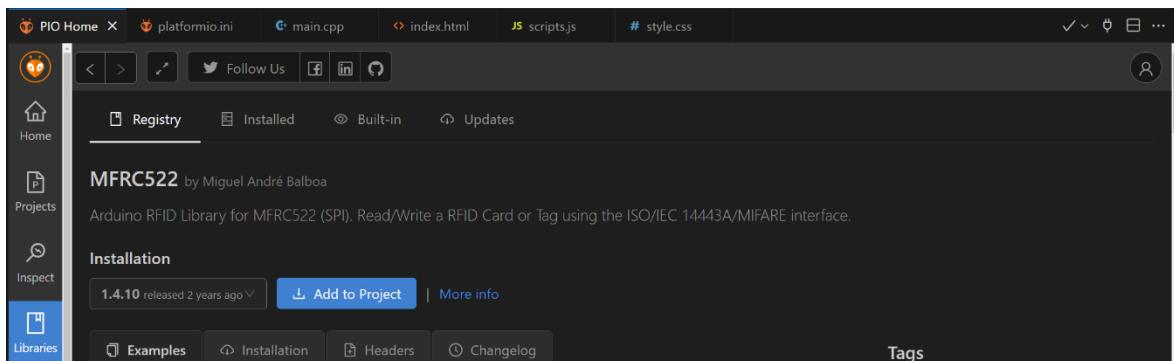


Ilustración 19:Añadir una librería al Proyecto

Como último detalle, además de incluir las librerías en el código, falta definir los pines SDA (llamado SS en el código) y RST (ya que se puede poner en cualquier pin), crear una variable representando al lector (yo la he llamado rfid), e inicializarlo en el setup del programa:

```
//Variables para el Lector RFID
#define SS_PIN 5
#define RST_PIN 21
MFRC522 rfid(SS_PIN, RST_PIN);
```

```
SPI.begin();           // Inicializa el bus SPI
rfid.PCD_Init();      // Inicializa el lector RC522
```

Ilustración 20: Definición variable lector e inicialización del bus SPI y del lector

4.2. GUARDADO DE TAG Y CREACIÓN DE LA LISTA

Comenzando con la parte de programación del proyecto como tal, el primer paso comienza por conocer cómo el lector obtiene información de los TAG.

Investigando por los ejemplos provistos por la librería MFRC522, se concluye que, con comandos específicos de la librería, se pueden obtener UID, tipo de TAG, SAK... entre otros.

Como solo quiero poder diferenciar las TAG, me centraré en el UID, y aunque en los ejemplos suele pasarlo a numeración hexadecimal, teniendo en cuenta que el usuario no va a interactuar con dicho número, voy a omitir ese paso extra.

Una vez diferenciados los TAG, hay que tener la capacidad de guardarlas para que el ESP32 pueda trabajar con ellas. Además, también hará falta poder darle un nombre para que el usuario pueda interaccionar con ellas de forma intuitiva.

Tras conseguir ambas, se pueden utilizar para la creación de la lista de tarjetas, cada una con su respectivo nombre, y empezar a explorar el uso del ESP32 como servidor.

Como se va a acceder a través de la dirección IP, se hará todo de forma que se acceda, lea y modifique a través de una página web.

La programación está dividida en varios ficheros, por lo que hay que usar un sistema de archivos, en mi caso he utilizado SPIFFS, así que es necesario incluir también dicha librería SPIFFS.h:

- La parte principal, donde se guardan las variables, se lee la información de los TAG y se inicializa y ejecuta el servidor. En C++.
- La página web, donde se ordena la información y se utiliza como interfaz para el usuario. En HTML.
- La "estética" de la página web, como el tamaño de letra y alineación del texto. En CSS.
- La comunicación entre la página web HTML y la parte principal, sobre todo traspaso de variables. En Javascript.

```
// Rutas para los archivos HTML(que contará como carpeta raíz), CSS y JS
server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request)
{
    request->send(SPIFFS, "/index.html");
});
server.on("/style.css", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request)
{
    request->send(SPIFFS, "/style.css", "text/css");
});
server.on("/scripts.js", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request)
{
    request->send(SPIFFS, "/scripts.js", "text/javascript");
});
```

Ilustración 21: Inicialización de los archivos externos (dentro del Setup)

4.2.1. Guardado de TAG

Primero la lectura de los UID. Para poder obtener los UID de los TAG es necesario usar comandos específicos de la librería MFRC522:

```
if (rfid.PICC_IsNewCardPresent() && rfid.PICC_ReadCardSerial())  
{
```

Lo que hacen estos dos comandos es comprobar si hay una tarjeta en el rango de lectura, y si es posible leer el serial.

Cuando se cumplan ambas condiciones, se podrá leer la información del TAG, pero el UID lo da de byte en byte (los TAG pueden tener UID de 4 o de 6 bytes), por lo que para recibir el UID completo, se crea un bucle for, que vaya desde el byte 0 hasta el último, que estará en la posición (el tamaño del UID).

Según se lee, se copiará en una variable “auxiliar” con la que se puede trabajar, y se mostrará en la página web a través de la variable String serialDummy.

```
for (int i = 0; i < rfid.uid.size; i++)  
{  
    auxiliar[i] = rfid.uid.uidByte[i];  
    serialUID = serialUID + String(auxiliar[i]);  
}  
serialDummy = serialDummy + "<h4>" + serialUID + "</h4>";
```

Cada vez que pongamos un TAG en el lector, esta variable auxiliar cambiará de valor, así que para guardarla permanentemente se ha añadido en la interfaz de la página web un formulario para escribir un nombre cualquiera y un botón GUARDAR que copiará el valor una vez más, pero ahora a una variable “producto”.

Esta variable luego evolucionará en una estructura según van haciendo falta más datos relativos al mismo TAG.

Para saber si el TAG está guardado, se compara la variable “auxiliar” (que sería el último TAG en el lector) con la variable “producto” (que sería el TAG guardado).

4.2.2. Creación de la Lista

Una vez con la capacidad de diferenciar y guardar un TAG, se plantea hacer lo mismo con varios a la vez.

Esto implica que la variable “product” pase a ser una estructura que pueda acoger todos los atributos que se quieran. También se agrega la capacidad de diferenciar múltiples TAG a la vez al crear la variable “list”, que engloba a varias estructuras “product”.

```
struct product
{
    String name;      // Nombre del producto asignado por el usuario
    byte uid[5];     // Código de identificación de una tarjeta RFID
    bool currently;  // Comprobación de si está o no en el congelador
    int beginning;   // Día y mes en el que se mete un producto al congelador
    int expiration; // Día y mes en el que se da el aviso de caducidad
};

const int totalCards = 5; // Cantidad de Productos Diferentes disponibles
product list[totalCards]; // Lista de Productos con nombre y UID
```

Para vincular el UID del TAG con esta variable, se sigue el mismo método que antes, un bucle for para copiar “auxiliar” en “product”.

Ahora, además del formulario para asignar un nombre al TAG, se añade otro para escoger la posición del TAG en la lista.

Usando el número y el nombre dados en el formulario, al pulsar el botón “Guardar”, se pasan como parámetros a la lista.

```
String auxNumer = request->getParam(PARAM_INPUT_1)->value();
numer = auxNumer.toInt();
list[numer].name = request->getParam(PARAM_INPUT_2)->value();

for (int i = 0; i < rfid.uid.size; i++)
{
    list[numer].uid[i] = auxiliar[i];
}
```

Por último, falta conocer la situación actual del TAG, dentro o fuera del congelador. Con este propósito he añadido el atributo “currently” a la estructura de “producto”.

Una vez guardado el TAG, al colocarlo en el lector, se registrará como producto añadido al congelador, y si se acerca de nuevo, contará como retirado. En otras palabras, para llevar el listado de productos en el congelador, hay que pasar el TAG por el lector al meter y al sacar.

4.3. USO DEL ESP32 COMO SERVIDOR

El código anterior está aplicado ya al contexto de una página web, pero antes de eso se probó utilizando el serial del IDE.

El código funcionaba, pero solo era visible si el microcontrolador estaba conectado a un ordenador, así que el siguiente paso es conseguir configurar el ESP32 como servidor para acceder de forma remota.

Una vez terminada esa parte, faltará crear una página web en la que se vea la información de forma organizada e intuitiva.

4.3.1. Acceso al *ESP32* de forma remota

No entrará en detalle en el funcionamiento de un servidor, pero para el ESP32 harán falta, en resumen, cuatro cosas:

- Las librerías Wifi.h y ESPAsyncWebServer.h.
- Añadir variables: los datos de la red wifi que se vaya a utilizar (nombre y contraseña), número del puerto de red (80, el estándar para protocolos HTTP).
`AsyncWebServer server(80);`
- Dentro del setup, hacer que el ESP32 genere una red WiFi, que no siga el código mientras no se conecte y que imprima la dirección IP para poder entrar con el móvil al servidor:
`WiFi.mode(WIFI_AP);
while (!WiFi.softAP(esp32Ssid, esp32Password))
{
 Serial.println("...");
 delay(100);
}`

- Inicializar el servidor:

```
server.begin();
```

4.3.2. Página Web

Para la visualización de los datos procesados por el ESP32, se utilizará el lenguaje HTML sumado al CSS para aplicar estilos al contenido.

En esta página se pretende que el usuario tenga acceso a todas las herramientas.

Los usuarios deben poder:

- Asignar nombre y posición en la lista de cualquier TAG.
- Comprobar la lista de productos que están actualmente en el congelador.
- Ver una lista de todos los TAG registrados.



Ilustración 22: Página Web a través del ESP32 como servidor

4.3.3. Comunicación Código - Página web

Para poder visualizar los datos en la web, es necesario hacer una petición desde el código HTML hacia el C++, y que luego este responda.

Se consigue a través de Javascript:

- Primero hay que añadir el script al HTML, colocado al final del código, porque HTML primero comprueba las variables y luego revisa si hay algún script al que llevarlas, si se coloca antes de las variables, HTML no lo relaciona con ningún script, ya que considera que el anterior solo aplica a las variables por encima de él. Src indica el nombre del fichero con los scripts:

```
<script src="scripts.js"></script>
```

- Hay que nombrar la variable HTML (id) y añadir un método para llamar a una función en Javascript como, por ejemplo, un botón.
- Luego hay que seleccionar la variable HTML donde se va a visualizar dentro de Javascript.
- Se manda la petición HTTP hacia C++ a través de AJAX (es una técnica de desarrollo web para crear aplicaciones web asíncronas)
- Por último, se hace una función, con los datos recibidos del AJAX, que actualiza el valor de la variable HTML

```
var completeList = document.getElementById('completeListId');

function updateCompleteListAjax() {
    var xmlhttp = new XMLHttpRequest();

    xmlhttp.onreadystatechange = function () {
        if (xmlhttp.readyState == XMLHttpRequest.DONE) {
            if (xmlhttp.status == 200) {
                updateCompleteList(xmlhttp.responseText);
            } else {
                console.log('error', xmlhttp);
            }
        }
    };

    xmlhttp.open("GET", "completeList", true);
    xmlhttp.send();
}

function updateCompleteList(completeUpdate) {
    productList.innerHTML = completeUpdate;
}
```

- En la parte de C++, se añaden las rutas para compartir funciones entre archivos, además de indicar la función a ejecutar.

```
server.on("/completeList", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request)
{
    request->send(200, "text/plain", completeList());
});
```

4.4. EXTRAS

Además de lo anterior, también se han añadido detalles, que, aunque no completamente necesarios, sí son mejoras en cuanto a calidad de vida.

- Programación de un led que se ilumine al acercarse una fecha de caducidad de cualquier producto.
- Cambio de las particiones del ESP32, borrando la que está hecha de forma preventiva para futuras actualizaciones del firmware.

Para la programación del led, es necesario tener una fecha, para este prototipo, al no estar conectado a nada que le permita obtener la fecha en tiempo real, será necesario que el usuario sea el que escriba el día de adición al congelador, y de forma predeterminada se les dará a los productos una caducidad de 3 días.

De la misma forma que con el nombre y posición del TAG, se añade un formulario a la página web, en el que se introducirán 4 números, 2 para el día y 2 para el mes, posteriormente se le sumarán 3 días como su caducidad, y el led se iluminará 1 día antes.

En cuanto a la asignación de las particiones del ESP32, en Github aparece una lista de combinaciones de particiones, siendo la interesante para este caso en particular la `no_ota`, que elimina la partición reservada para actualizaciones futuras y la añade a la flash, con lo que se podrá añadir un mayor número de TAGs.

En el fichero de `platformio.ini`, se añade una línea de código para especificar el tipo de partición que se quiera usar:

```
board_build.partitions = no_ota.csv
```

5. RESULTADOS

Como objetivos, en este trabajo se habían marcado:

- Crear un prototipo para demostrar el funcionamiento básico, capaz de:
 - Guardar y nombrar varios TAG como el usuario desee.
 - Crear listas con los TAG según estén o no en el congelador.
 - Comprobar la fecha de caducidad de un producto, encendiendo un LED rojo cuando esté cerca de caducar.
 - Utilizar el ESP32 como servidor, accesible desde el móvil.
 - Implementar una página web para gestionar lo anterior.
- Diseñar y fabricar una placa equiparable a un producto comercial.

Objetivos	Sin Implementar	Parcialmente Implementado	Implementado
Guardar TAG			X
Crear Listas			X
Fecha de Caducidad	X		
Servidor Accesible			X
Ver la página web			X
Diseño y Fabricación Placa		X	

Tabla 6: Resultados

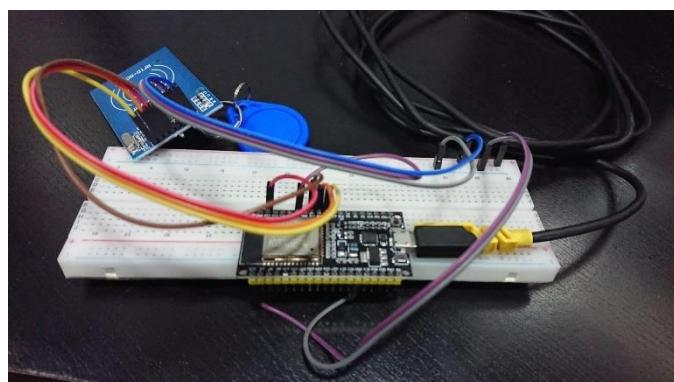


Ilustración 23: Prototipo montado

6. CONCLUSIONES

El prototipo se ha probado y funciona de la forma esperada, pudiendo guardar, nombrar y clasificar cualquier TAG de forma rápida, además de tener acceso tanto a la lista de productos dentro del congelador, como a la completa con todos los TAG registrados.

En cuanto al diseño electrónico, al no haberse llegado a fabricar por problemas logísticos, no se puede probar su funcionamiento en el mundo real.

Como problemas del prototipo, no se ha llegado a guardar los datos en la EEPROM, como decisión de diseño, porque he considerado que no aporta valor a la hora de mostrar el funcionamiento del aparato.

Por otra parte, habiendo preguntado a diversas personas sobre un hipotético kit del lector con TAGs, todas coinciden en que deberían incluirse TAG prenombradas, es decir, además de incluir 5 TAG en blanco que el usuario pueda nombrar, un paquete de TAG que conste de los productos más dados a estar en el congelador, como los helados. Para esto, se haría creando una función que reescribiese los UID de los TAG, y el microcontrolador tendría guardado en memoria una lista de productos básicos, por lo que, al cambiar el UID, cualquier microcontrolador lo reconocerá correctamente.

Esto también ayudaría a personas con menos capacidades tecnológicas, como las personas mayores, ya que, al final, además de que el usuario tenga que nombrar los TAG de forma individual, es necesario conectarse a la red wifi del ESP32, y luego buscar en el navegador la dirección IP del mismo, además, mientras no se conecte el ESP32 a la red wifi, estoy completamente seguro de que habrá problemas de gente que se queda sin poder conectarse a internet porque no ha cambiado de red. Aunque a priori puedan parecer cosas obvias, no tienen en cuenta a personas no tan acostumbradas a manejarse en situaciones parecidas, por lo que, como mejora considero necesario programar una forma de conexión más sencilla y una interfaz más llamativa y seccionada, que clasifique mejor para qué sirve cada función.

Como otras mejoras futuras, aprovechándose de la capacidad de procesamiento del ESP32, añadiría más funciones relacionadas con el tema, como programar alarmas al móvil para que te recuerde usar un congelado (o directamente incluir un calendario mensual de comidas), o incluir un recetario en la memoria. Con el recetario se seleccionaría una receta, el ESP32 la compararía con los productos disponibles, y se generaría una lista de la compra con lo faltante. También se puede duplicar las creaciones de listas y usar el mismo código para llevar una lista de congelados y una lista de la alacena, por ejemplo.

7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado están alineados con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y metas, de la Agenda 2030:

- Objetivo 2: HAMBRE CERO: Reduce el desperdicio de comida y apoya a los agricultores locales.

- Meta 2.1. Para el 2030, erradicar el hambre y garantizar el acceso de todas las personas, en particular los pobres, incluyendo a los bebés, a la seguridad alimentaria.
- Objetivo 7: ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE: Usa electrodomésticos e iluminación eficientes.

- Meta 7.1 Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.
- Meta 7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESAN. (s. f.). *¿CONGELAS Y DESCONGELAS LOS ALIMENTOS DE FORMA SEGURA EN CASA?*

https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/seguridad_alimentaria/congelar_descongelar.pdf

Curtin, J., Kauffman, R. J., & Riggins, F. J. (2007). Making the 'MOST' out of RFID technology: A research agenda for the study of the adoption, usage and impact of RFID. *Information Technology and Management*, 8(2), 87, s10799-007-0010-0011. <https://doi.org/10.1007/s10799-007-0010-1>

Dobkin, D. M., & Dobkin, D. M. (2008). *The RF in RFID: Passive UHF RFID in practice*. Elsevier Newnes.

Estándares y protocolos RFID comunes que debe conocer—Xinyetong. (s. f.).
<Https://Www.Asiarfid.Com/Es>. Recuperado 22 de noviembre de 2023, de <https://www.asiarfid.com/es/common-rfid-standards-and-protocols.html>

ETSI. (s. f.). *ETSI EN 302 208 V3.3.1 (2020-08)*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302200_302299/302208/03.03.01_60/en_302208v030301p.pdf

GS1. (s. f.). *Overview of UHF frequency allocations (860 to 960 MHz) for RAIN RFID*.
https://www.gs1.org/docs/epc/uhf_regulations.pdf

Khan, M. A., Sharma, M., & Prabhu, B. R. (2009). A Survey of RFID Tags. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(4), 68-71.

Montenegro, G. A., & Marchesin, A. E. (s. f.). *SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA (RFID)*.



Referencias Bibliográficas

Random Nerd Tutorials. (2020, septiembre 24). *Getting Started with VS Code and PlatformIO IDE for ESP32 and ESP8266.* <https://randomnerdtutorials.com/vs-code-platformio-ide-esp32-esp8266-arduino/>

Ward, M., & van Kranenburg, R. (2006). *RFID: Frequency, standards, adoption and innovation.*

9. BIBLIOGRAFÍA

AESAN. (s. f.). *¿CONGELAS Y DESCONGELAS LOS ALIMENTOS DE FORMA SEGURA EN CASA?*

https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/seguridad_alimentaria/congelar_descongelar.pdf

Curtin, J., Kauffman, R. J., & Riggins, F. J. (2007). Making the 'MOST' out of RFID technology: A research agenda for the study of the adoption, usage and impact of RFID. *Information Technology and Management*, 8(2), 87, s10799-007-0010-0011. <https://doi.org/10.1007/s10799-007-0010-1>

Dobkin, D. M., & Dobkin, D. M. (2008). *The RF in RFID: Passive UHF RFID in practice*. Elsevier Newnes.

Estándares y protocolos RFID comunes que debe conocer—Xinyetong. (s. f.).
<Https://Www.Asiarfid.Com/Es>. Recuperado 22 de noviembre de 2023, de <https://www.asiarfid.com/es/common-rfid-standards-and-protocols.html>

ETSI. (s. f.). *ETSI EN 302 208 V3.3.1 (2020-08)*.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302200_302299/302208/03.03.01_60/en_302208v030301p.pdf

GS1. (s. f.). *Overview of UHF frequency allocations (860 to 960 MHz) for RAIN RFID*.
https://www.gs1.org/docs/epc/uhf_regulations.pdf

Khan, M. A., Sharma, M., & Prabhu, B. R. (2009). A Survey of RFID Tags. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(4), 68-71.

Montenegro, G. A., & Marchesin, A. E. (s. f.). *SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA (RFID)*.



Bibliografía

Random Nerd Tutorials. (2020, septiembre 24). *Getting Started with VS Code and PlatformIO IDE for ESP32 and ESP8266.* <https://randomnerdtutorials.com/vs-code-platformio-ide-esp32-esp8266-arduino/>

Ward, M., & van Kranenburg, R. (2006). *RFID: Frequency, standards, adoption and innovation.*

10. ANEXOS

10.1. PROTOCOLOS EUROPEOS DE RADIOFRECUENCIA

ISO / IEC-18000 1(«Estándares y Protocolos RFID Comunes Que Debe Conocer - Xinyetong», s. f.)

Esta norma regula los conceptos arquitectónicos genéricos de identificación RFID. Define los parámetros que deben usarse con una interfaz aérea estandarizada en componentes RFID. Limita sus operaciones al intercambio de datos / transacciones a través de la interfaz aérea en el punto de referencia delta.

ISO / IEC-18000 6(«Estándares y Protocolos RFID Comunes Que Debe Conocer - Xinyetong», s. f.)

Este estándar regula las interacciones físicas de los lectores/interrogadores y las etiquetas RFID. Establece los protocolos, comandos y medidas para prevenir una colisión en sistemas RFID pasivos que operan dentro del rango de 860 a 960 MHz (Rango de frecuencia ultra alta). Destaca los tres tipos no compatibles, incluido el tipo A, B (rara vez se usa) y C (equivalente a EPCglobal Gen 2).

EPCglobal / GS1 GEN 2(«Estándares y Protocolos RFID Comunes Que Debe Conocer - Xinyetong», s. f.)

Este estándar también se conoce como Protocolos de identidad de radiofrecuencia EPC Protocolo de RFID UHF Clase 1 Generación 2 para comunicaciones de 860-960 MHz. EPCglobal (ahora GS1) creó la norma en 2013 y la ISO 18000-6C la aprobó más adelante en 2015.

El estándar elabora parámetros de interfaz aérea para etiquetas RFID que operan dentro del rango de frecuencia de 860-960 MHz. La última versión de los estándares es Gen2v2, que se desarrolló en 2013.

Los estándares Gen2v2 cuentan, entre otras, con características únicas como:

- Tres modos diversos. El lector puede operar usando tres modos: entornos únicos, múltiples y densos. Cuando use el modo denso, podrá usar cientos de lectores simultáneamente.
- Métodos de codificación dinámica. Los lectores RFID que cumplen con los estándares Gen2v2 pueden cambiar las técnicas de codificación según el entorno prevaleciente. Por ejemplo, un lector RFID utilizará la técnica de codificación FM0 en un entorno de bajo ruido (que es más rápido) y la subportadora Miller (que es más lenta pero eficiente) en un entorno ruidoso. Esto garantiza que

obtendrá los mejores resultados independientemente de las condiciones imperantes.

- Velocidad de transmisión de datos rápida. El sistema RFID compatible con Gen2v2 transmite datos a una velocidad de hasta 640 Kbps, que es cinco veces más rápido que los estándares anteriores.
- Más comandos para una gestión sencilla de la población de etiquetas. El sistema RFID Gen2v2 proporciona comandos de acceso, selección e inventario. Estas características garantizan un mejor y más preciso proceso de lectura de etiquetas.
- Operaciones de cuatro sesiones. Las etiquetas RFID que cumplen con los estándares Gen2v2 pueden permitir hasta cuatro sesiones por inventario de etiquetas. Esto significa que cuatro lectores pueden comunicarse con una etiqueta sin interferencias en un momento dado.
- Más programabilidad. Las etiquetas RFID Gen2v2 tienen más memoria dividida en cuatro bancos diferentes. Un banco puede tener todos los archivos de solo lectura, lectura / escritura y escritura una vez dentro de él, lo que garantiza una mayor flexibilidad en la aplicación.
- Algoritmo Q mejorado. Esta función ofrece una resolución mejorada de colisiones de etiquetas y una seguridad mejorada cuando los datos se transfieren desde la etiqueta al lector.

ETSI EN 302 208 V3.3.1 (2020-08) (ETSI, s. f.)

En este documento se especifican las características y los métodos de medición de la radiofrecuencia. Los dispositivos (RFID) se utilizarán en los rangos de frecuencia 865MHz-868 MHz y 915 MHz-921 MHz.

Se especifican límites de potencia de hasta un máximo de 2W ERP para un equipo RFID en la banda de frecuencias 865 MHz-868 MHz y hasta un máximo de 4W ERP en la banda de 915 MHz-921 MHz.

Las condiciones de uso de frecuencias para RFID están, a nivel de la Unión Europea, armonizadas en la banda de 865 MHz-868 MHz de acuerdo con el [i.15] y en la banda de 915 MHz- 921 MHz según [i.14]. De acuerdo con [i.14], se pide a los Estados miembros de la UE que implementen solo 3 canales en la banda de 915 MHz a 921 MHz.

País	Frec. (MHz)	Potencia	Técnica	Regulador
España	865,6 - 867,6	2W ERP	ETSI	Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información

Tabla 7: Limitaciones RFID en España(GS1, s. f.)

10.2. PROTOCOLOS DE CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

La congelación es un método seguro de conservación de alimentos que prolonga su vida útil y a su vez contribuye a reducir el desperdicio alimentario. Si los alimentos se mantienen a temperaturas constantes de -18°C o inferiores, se inactivan los microorganismos que los alteran y que pueden provocar enfermedades.(AESAN, s. f.)

La congelación no destruye esos microorganismos, sino que detiene su crecimiento. (AESAN, s. f.)

Al descongelarse y aumentar su temperatura, los microorganismos se reactivan y se multiplican, pudiendo provocar una intoxicación alimentaria. (AESAN, s. f.)

Siempre y cuando se realice correctamente, la congelación no supone la pérdida de nutrientes. Sin embargo, es necesario tomar una serie de precauciones y seguir unas pautas correctas para realizar de forma segura la congelación, el almacenamiento y la posterior descongelación de los alimentos. (AESAN, s. f.)

Debido a que una congelación correcta mantiene los alimentos seguros casi indefinidamente, los tiempos de almacenamiento recomendados son solo por motivos de calidad:

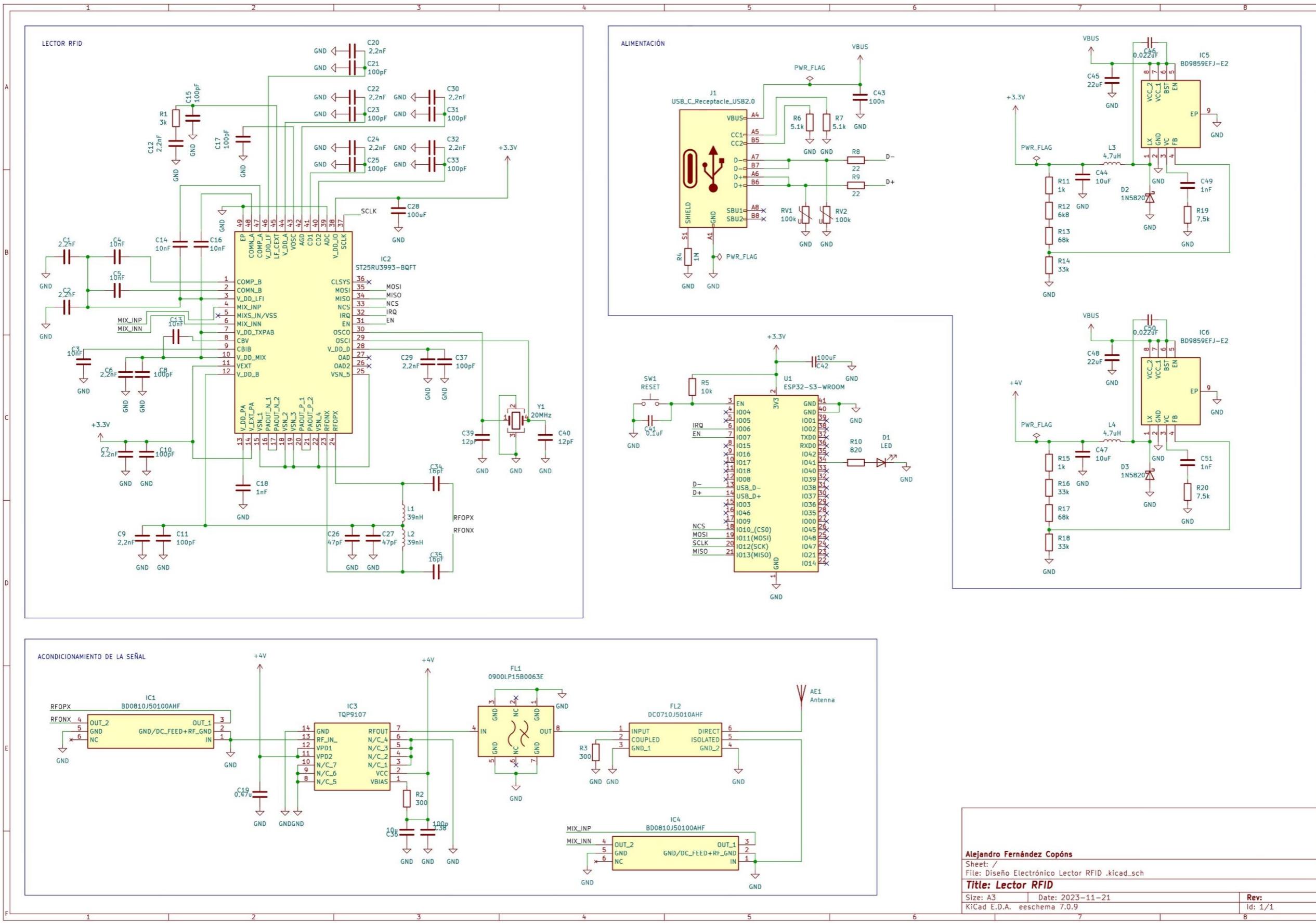
 Frutas y verduras 8 - 12 meses	 Carne de vacuno, cordero y cerdo 6 - 12 meses	 Carne de pollo 9 - 12 meses	 Carne picada, hamburguesas 3 - 4 meses	 Fiambres y embutidos 1 - 2 meses
 Claras y yemas de huevo crudas (sin cáscara) 12 meses	 Pescado blanco 6 - 8 meses	 Pescado azul 2 - 3 meses	 Marisco 3 - 6 meses	 Sopas y guisos 2 - 3 meses

★ Si compras alimentos ya congelados, consulta en el etiquetado la temperatura de conservación y su fecha de consumo preferente.

★ Recuerda que lo primero que entra en el congelador es lo primero que debe salir.

Ilustración 24: Tiempos Recomendados de Congelación (AESAN, s. f.)

10.3. ESQUEMA ELÉCTRICO





Relación de documentos

Memoria 40 páginas
Anexos 4 páginas

La Almunia, a 21 de Noviembre de 2023

Firmado: Alejandro Fernández Copóns