



**Escuela de Producción Tecnología y
Medio Ambiente de la Universidad
Nacional de Río Negro - Sede Andina**

**Diseño e implementación de un sistema para la
gestión de datos e identificación de animales a través
del uso de radiofrecuencia**

Trabajo práctico final integrador que presenta

Fernandez Ismael Manuel

Para obtener el grado de
Ingeniero Electrónico

Director de TPFI:
Mgtr. Cogo Jorge
Codirectora de TPFI:
Dra. Denham Mónica

San Carlos de Bariloche, Río Negro

Diciembre 2021

Agradecimientos

A mis padres *Nélida Viviana Vazquez* y *José Jesús Fernandez Chao* que, junto con mi hermana *Mariela Viviana Fernandez*, realizaron enormes esfuerzos y sacrificios para que quien escribe alcanzara sus metas académicas y personales.

A mi director de TPF *Jorge Cogo* y mi codirectora de TPF *Mónica Denham* por acompañarme en el trayecto de este trabajo con sus invalorable consejos, alientos, conocimientos y experiencias.

A las veterinarias *Marta Peretti*, *Silvia Podadora* y al ingeniero *Martín Labandibar* por sus indispensables y generosos aportes a este proyecto.

A mis profesores y compañeros por permitirme incursionar en un entorno de camaradería, excelencia ética e intelectual.

Índice

Índice de figuras	5
Índice de tablas	9
Acrónimos	10
Resumen	12
1. Introducción	13
2. Objetivos	14
3. Formulación del problema	16
3.1. Evaluación de la necesidad	16
3.2. Solución propuesta	17
3.3. Transpondedor	19
3.3.1. Generalidades	19
3.3.2. Opciones de mercado	25
3.4. Lector	26
3.4.1. Opciones de Mercado	27
4. Desarrollo	36
4.1. Lector	36
4.1.1. Consideraciones generales	36
4.1.2. Sistema RFID	37
4.1.2.1. Valores de diseño	44
4.1.3. Sistema bluetooth	48
4.1.4. Sistema Display	49
4.1.5. Microcontrolador	49
4.1.6. Firmware	52
4.1.7. Sistema de control de energía	60
4.1.7.1. Solicitaciones y propuesta	60
4.1.7.2. Batería	63
4.1.7.3. Cargador	64
4.1.7.4. Elevador de tensión	70
4.1.8. Prototipo	72

4.1.8.1.	Análisis y filtrado de la señal de salida del elevador de tensión	79
4.1.8.2.	Análisis de consumo	81
4.1.9.	Dispositivo Final	85
4.1.9.1.	Circuito impreso	86
4.1.9.2.	Gabinete	90
4.1.9.3.	Ensamblado	91
4.2.	Aplicación de usuario	94
4.2.1.	Solicitaciones	94
4.2.2.	Diseño	94
4.2.3.	Implementación	99
4.3.	Base de datos	107
4.3.1.	Solicitaciones	107
4.3.2.	Diseño	107
4.3.3.	Implementación	107
5.	Resultados	111
5.1.	Análisis de costos	111
5.2.	Comportamiento del sistema	117
6.	Conclusiones finales	123
Apéndices		125
Apéndice A - Planos		125
Apéndice B - Código del firmware		130
Apéndice C - Código SQL para generar la base de datos		135
Apéndice D - Procedimiento para instalar el firmware via ICSP		144
Apéndice E - Modelado 3D		147
Referencias		150

Índice de figuras

1.	Solución propuesta	18
2.	Etiqueta HDX para aplicación subcutánea.	20
3.	Tiempos de emisión y escucha de lector y etiqueta HDX.	21
4.	Modulación FSK en etiquetas HDX.	22
5.	Etiqueta FDX para aplicación subcutánea.	22
6.	Modulación ASK en etiquetas FDX.	23
7.	Telegrama datos de identificación según ISO 11784.	24
8.	Telegrama según ISO 11785 FDX-B.	24
9.	Lector Faread FRD5310	27
10.	Lector Faread FRD5500	28
11.	Lector Faread FRD5600	28
12.	Lector Faread FRD5800-1	29
13.	Lector Faread FRD5900	29
14.	Lector DATAMARS GESREADER 3	30
15.	Lector DATAMARS TRACKING-1	30
16.	Lector DATAMARS F1	31
17.	Lector DATAMARS FX-PETII	31
18.	Lector genérico chino	32
19.	Lector de fabricación nacional	32
20.	Diagrama de bloques del lector.	36
21.	Módulo lector RFID RDM6300 de 125 kHz.	37
22.	Módulo lector RFID RC522 de 13,56 MHz.	38
23.	Disposición de pines de CI EM4095, SOP16	39
24.	Diagrama de bloques del circuito integrado EM4095.	41
25.	Circuito EM4095, lector 134,2 KHz.	42
26.	Módulo bluetooth HC05	48
27.	Display OLED	49
28.	Pin out Arduino Nano. Fuente: www.luislamas.es	50
29.	Diagrama de conexiones del prototipo	51
30.	Diagrama de estados del lector.	52
31.	Señal bifase diferencial de 134,2 kHz.	53
32.	Ejemplo algoritmo Double Dabble.	54
33.	Diagrama de flujo del algoritmo del microcontrolador.	55
34.	interfaz de usuario del entorno de desarrollo integrado de Arduino.	56

35.	Utilización de la memoria del microcontrolador por parte del firmware.	57
36.	Conexión de Arduino para configurar el módulo bluetooth HC-05.	57
37.	Comandos AT para configurar el módulo bluetooth HC-05.	58
38.	Componentes del lector que solicitan potencia de la batería.	61
39.	Relación teórica de potencia solicitada entre los componentes del lector.	62
40.	Solicitud teórica total de potencia según el modo de operación.	63
41.	Baterías Li-on 18650	63
42.	Módulo cargador de batería	64
43.	Diagrama módulo cargador de batería	65
44.	Encapsulado SOP-8 TP4056.	65
45.	Pin out DW01-A	68
46.	Aplicación típica del CI DW01-A	68
47.	Pin out y circuito interno del CI FS8205A.	69
48.	Módulo booster	70
49.	Diagrama módulo booster	71
50.	Pin out A7530	71
51.	Implementación del demodulador sobre protoboard.	72
52.	Medición de la señal existente en la antena del prototipo.	73
53.	Medición de la señal existente en la entrada DEMOD_IN de CI. 4095 del prototipo.	74
54.	Medición de la señal existente en la salida DEMOD_OUT de CI. 4095 del prototipo durante la lectura de una etiqueta.	75
55.	Implementación módulo demodulador.	76
56.	Vista interna posterior del prototipo.	76
57.	Vista interna intermedia del prototipo.	77
58.	Vista interna superior del prototipo.	77
59.	Vista interna del prototipo.	78
60.	Prototipo.	78
61.	Medición de línea de alimentación sin filtrar. Señal celeste: tensión de línea. Señal roja: transformada rápida de Fourier	79
62.	Medición de línea de alimentación con filtro 25 μ F. Señal celeste: tensión de línea. Señal roja: transformada rápida de Fourier.	80
63.	Disposición de filtro de línea	81
64.	Comparación entre potencias teóricas y medidas en el prototipo de los componentes del lector.	83

65.	Comparación entre potencia teórica y medida solicitada por los componentes del lector y la teórica que la fuente es capaz de aportar.	85
66.	Vista superior de la placa electrónica y referencias a diagramas. . .	86
67.	Vista de la placa electrónica, conexiones.	87
68.	Diseño de circuito impreso mediante Altium.	88
69.	Vista interior del Gabinete.	90
70.	Montaje interior del lector.	91
71.	Vista explosionada del lector.	92
72.	Aspecto final del lector.	93
73.	Diagrama de clases de la aplicación de usuario.	95
74.	Diagrama de usos de la aplicación de usuario.	96
75.	Secuencia de conexión bluetooth.	98
76.	Aplicación usuario, formulario principal.	99
77.	Aplicación de usuario, ID no encontrado.	100
78.	Aplicación de usuario, resultado de búsqueda de ID.	100
79.	Aplicación de usuario, logueo de veterinario.	101
80.	Aplicación de usuario, registro de veterinario.	101
81.	Aplicación de usuario, ingreso veterinario.	102
82.	Aplicación de usuario, acceso erróneo.	102
83.	Aplicación de usuario, funcionalidades restringidas.	103
84.	Aplicación de usuario, editar.	104
85.	Aplicación de usuario, nuevo registro.	104
86.	Aplicación de usuario, nuevo registro, titular existente.	105
87.	Aplicación de usuario, nuevo registro, titular inexistente.	105
88.	Aplicación de usuario, carga de fotos.	106
89.	Aplicación de usuario, historial.	106
90.	Diagrama relacional de base de datos	108
91.	Aplicación SQL Management Studio.	109
92.	Consola de administración del servicio de máquina virtual Smarter ASP.NET.	109
93.	Costos unitarios de componentes del lector	114
94.	Margen en dólares americanos entre el precio de venta de lectores comerciales y costo de fabricación del dispositivo diseñado. . .	116
95.	IDE Arduino - Implementación de programador ICSP.	144
96.	IDE Arduino - Programación ICSP.	145
97.	IDE Arduino - Programación ICSP.	145
98.	Modelos impresos en 3D.	147

99. Vista interior del modelado 3D.	148
100. Vista del dispositivo final.	148

Índice de tablas

2.	Comparación sistemas HDX y FDX	24
3.	Etiquetas RFID ISO 11784/85 FDX-B comerciales	25
4.	Lectores comerciales.	33
5.	Designación de pines del circuito integrado EM4095	40
6.	Comandos AT para la configuración del módulo HC-05	59
7.	Solicitaciones de corriente y potencia de subsistemas del lector. . .	60
8.	Solicitaciones de potencia de subsistemas del lector según el modo de operación.	61
9.	Solicitaciones de corriente sobre la batería según el modo de operación del lector.	62
10.	Parámetros medidos sobre el prototipo del sistema RFID.	73
11.	Parámetros medidos sobre los componentes del prototipo	82
12.	Comparación de potencias solicitadas por los componentes del lector calculadas y medidas	82
13.	Parámetros medidos sobre la batería	85
14.	Fichas de casos de usos de la aplicación de usuario.	97
15.	Listado y costos de materiales.	112
16.	Listado y costos de materiales.	113
17.	Costos asociados a la construcción de un lector	115
18.	Margen entre el precio de venta de lectores comerciales y costo de fabricación del dispositivo diseñado.	116
19.	Prueba del lector.	117
20.	Prueba del sistema.	119

Acrónimos

<i>AM</i>	Modulación de Amplitud
<i>APrA</i>	Agencia de Protección Ambiental
<i>CI</i>	Circuito Integrado
<i>CMOS</i>	Semiconductor Complementario de Óxido Metálico
<i>DBP</i>	Bi Fase Diferencial
<i>DC</i>	Corriente Directa
<i>FDX</i>	Full Duplex
<i>HDX</i>	Half Duplex
<i>HF</i>	Alta Frecuencia
<i>I²C</i>	Circuito Inter Integrado
<i>ICAR</i>	Comité Internacional para el Registro de Animales
<i>ICSP</i>	Programación Serial en Circuito
<i>IDE</i>	Entorno de Desarrollo Integrado
<i>ISO</i>	Organismo Internacional para la Estandarización
<i>ISP</i>	Programación en Sistema
<i>LCD</i>	Display de Cristal Líquido
<i>LF</i>	Baja Frecuencia
<i>MOSFET</i>	Transistor de Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor
<i>NTC</i>	Coficiente Negativo de Temperatura
<i>OLED</i>	Diodo Emisor de Luz Orgánico
<i>OOK</i>	Modulación Encendido Apagado
<i>PFM</i>	Modulación por Frecuencia de Pulso
<i>PLA</i>	Ácido Poliláctico
<i>PLL</i>	Lazo de Enganche de Fase
<i>PWM</i>	Modulación por Ancho de Pulso
<i>REIAC</i>	Red Española de Identificación de Animales de Compañía
<i>RF</i>	Radiofrecuencia
<i>SOIC</i>	Circuito Integrado de Pequeño Contorno
<i>SOP</i>	Empaquetado de Contorno Pequeño
<i>SPI</i>	Interfaz Periférica Serial
<i>SPP</i>	Protocolo Puerto Serie
<i>SQL</i>	Lenguaje de Consulta Estructurado
<i>TFT</i>	Transistor de Película Delgada
<i>UHF</i>	Ultra Alta Frecuencia
<i>USART</i>	Transmisión Recepción Síncrona Asíncrona Universal

<i>USB</i>	Bus Serie Universal
<i>USD</i>	Dólares Americanos
<i>VCO</i>	Oscilador Controlado por Tensión
<i>SRAM</i>	Memoria estática de acceso aleatorio

Resumen

La presente monografía se presenta como trabajo final integrador de la carrera de Ingeniería Electrónica y se enfoca en el diseño e implementación, a nivel de prototipo, de un sistema que permite la individualización e identificación de animales y su correspondiente titular responsable. El sistema se compone de un transpondedor comercial de radiofrecuencia y uso animal de aplicación subcutánea, un dispositivo lector adecuado para la lectura del transpondedor, una base de datos que contiene y administra la información referente a los animales y sus titulares y una aplicación informática que, con la información obtenida del lector, accede a los datos de la base para presentarlos al usuario.

El sistema permite que veterinarios puedan cargar, consultar y editar los datos de sus pacientes, personal de control animal pueda acceder rápidamente a la información de estado de titularidad y vacunación de animales que intervengan en accidentes a la vez que cualquier persona con un lector, la aplicación de usuario y acceso a internet halle información sobre animales extraviados que posean el transpondedor.

En el desarrollo del trabajo se caracteriza y selecciona un transpondedor comercial adecuado. Se diseña y construye un prototipo del lector capaz de leer el transpondedor. Se diseña e implementa la base de datos y la aplicación de usuario.

Como resultado se arriba a un sistema prototipo funcional que se evalúa y caracteriza.

1. Introducción

El presente documento monográfico fue estructurado en 6 capítulos. El actual y primero ofrece al lector una visión general de la forma en que se organizó este trabajo. El segundo capítulo establece los objetivos que se persiguieron en la realización del proyecto. El tercer capítulo incursiona en la evaluación de la necesidad que aspira satisfacer el potencial producto generado y en las soluciones actuales presentes en el mercado. El cuarto y más extenso capítulo intenta exponer de manera clara y ordenada los procesos de diseño e implementación, tanto en referencia al software como al hardware, que se han seguido durante el desarrollo del trabajo. En el quinto capítulo se evalúan los resultados y alcances obtenidos en relación a los objetivos prefijados. El sexto y final capítulo expresa, en relación a los resultados alcanzados y a modo de conclusiones, consideraciones tales como mejoras potenciales y aportes académicos.

2. Objetivos

En rigor de verdad, el principal objetivo que quien escribe persigue en la realización de este trabajo es la de exponer las habilidades y saberes adquiridos durante la instrucción académica, aspirando a demostrar que es capaz de desenvolverse en el desarrollo de un proyecto tecnológico con el desempeño que puede esperarse de un ingeniero junior al aplicar conocimientos y experiencias sobre hardware y software fruto del cursado de materias que hacen referencia a sistemas, electrónica digital, electrónica analógica, programación, etc.

Teniendo en mente lo expresado en el párrafo precedente, se invirtieron esfuerzos en hallar un proyecto que el estudiante pueda costear y desarrollar íntegramente con el objeto de gozar de cierta independencia económica y, no menos importante, independencia temporal.

Ya en el plano técnico y poniendo foco en fines prácticos, el proyecto persigue como resultado el diseño y la implementación, a nivel de prototipo, de un sistema que permita leer un transpondedor subcutáneo implantado en un animal y obtener, al instante, datos relevantes sobre el animal como nombre, estado de vacunación, etc, e información sobre su titular responsable como nombre, DNI, teléfono, dirección.

Se pretende obtener implementaciones que cumplan las funcionalidades exigidas a un costo que permita competir con elementos similares existentes en el mercado. Así mismo, se desea obtener un equipo lector operable de manera práctica y segura frente a la presencia de animales.

Concluyendo, se identifica como objetivo general:

- Obtener el prototipo de un sistema práctico y económicamente competitivo que permita obtener información relevante de un animal y su titular a través de la lectura de un transpondedor subcutáneo instalado en la mascota.

El precedente objetivo general podemos desglosarlo en los siguientes objetivos:

- Diseñar e implementar un dispositivo lector de transpondedores comerciales subcutáneos para identificación animal. El dispositivo debe competir a nivel de costos con artefactos similares presentes en el mercado, ser seguro y práctico en su operación dentro de entornos con presencia animal.

- Diseñar e implementar una base de datos que contenga y relacione los datos de los animales, los datos de los titulares y la información leída de los transpondedores.
- Resolver de manera práctica para el usuario la visualización de los datos contenidos en la base al momento de la lectura del transpondedor así como la administración de éstos.

3. Formulación del problema

Poniendo en contexto y evaluando la necesidad, se propone una solución con vista en los objetivos planteados. Ante esta solución se examinan las tecnologías y productos pertinentes presentes en el mercado.

3.1. Evaluación de la necesidad

La población de la República Argentina es propensa a adoptar mascotas. Se adopta, en promedio, una mascota por día según un relevamiento realizado en septiembre del 2018 por la Agencia de Protección Ambiental (APrA). El estudio reveló que en 2017 creció en un 150 % el número de perros y gatos adoptados con respecto al año 2016 [1]. Se calcula que en todo el país hay 20 millones de mascotas, entre las que viven en casas y las que están en la calle. Una perra y toda su descendencia (es decir, hijos, nietos, bisnietos) sin castrar, en 7 años, puede procrear hasta 5.430 cachorros, del mismo modo que una gata y sus descendientes pueden producir hasta 509.100 crías en el mismo período. En la ciudad de Buenos Aires, de acuerdo con la Encuesta Anual de Hogares del 2014, una de cada dos viviendas tiene un perro y una de cada tres, un gato [2]. En la provincia de Buenos Aires, se estima que hay alrededor de 6 millones de perros y gatos que viven en la calle, según lo publicado por el Colegio de Veterinarios bonaerense en su sitio web [3]. La estrecha relación entre la salud humana, de los animales y el ambiente que comparten es evidente ante la sobrepoblación de los últimos que conlleva al aumento del índice de mordeduras, accidentes de tránsito, enfermedades zoonóticas, contaminación y rotura de residuos. Los profesionales al respecto, aseguran que las acciones para controlar la situación deben centrarse en el control natal mediante castraciones y la exigencia de una tenencia responsable del animal [4].

Si bien no se han encontrado estudios formales en la región (San Carlos de Bariloche y Comarca Andina) se evidencia la problemática de animales (sobre todo perros) sueltos, y en algunos casos agresivos, en zonas residenciales. En conversaciones con integrantes de la junta vecinal de Villa Los Coihues (San Carlos de Bariloche, Río Negro), éstos han expresado que la problemática de perros sueltos se encuentra entre sus preocupaciones más relevantes. En la localidad de Lago Puelo (Chubut), durante el año 2019 se comenzó a realizar un censo de mascotas, en respuesta a la cantidad de animales sueltos y recurrente ataques a transeúntes, donde censores recorrían las viviendas transcribiendo en planillas los datos que los titulares de las mascotas les comunicaban.

Una herramienta que facilite la identificación de animales y sus titulares aportaría eficiencia al control animal. La rápida identificación de los animales y sus titulares permitiría conocer el estado de vacunación de la mascota y establecer responsabilidades en caso de ataques, accidentes o animales extraviados. El acceso al historial veterinario asociado al animal sería de utilidad al trabajo de agentes de zoonosis y veterinarios. La información gestionada podría intervenir de manera productiva en programas de vacunación, castración y control natal, mejorando, no sólo el bienestar y calidad de vida de las mascotas, sino también la calidad de vida y bienestar de la sociedad donde conviven.

3.2. Solución propuesta

Con foco en los objetivos planteados y necesidades a satisfacer se propone un sistema de identificación animal integrado por cuatro componentes principales:

1. Un transpondedor comercial para uso de identificación animal, de aplicación subcutánea y adquisición factible en el mercado argentino.
2. Un lector apropiado para la lectura de los transpondedores utilizados. Lector operable con una sola mano, con fuente de energía propia recargable con cargadores genéricos para el uso de celulares (Salida de tensión de 5 V, conector micro USB).
3. Una aplicación de software que se ejecuta en un equipo informático con comunicación bluetooth y conexión a internet (tableta, PC). La aplicación permite al usuario administrar y visualizar los datos asociados a cada transpondedor leído por el lector.
4. Una base de datos central alojada en un servidor remoto que contiene y relaciona los datos de los animales, los titulares y los códigos de identificación de los transpondedores.

En la Figura 1 puede observarse una representación del sistema propuesto.

El transpondedor se inyecta bajo la piel del animal y actúa como una etiqueta electrónica emitiendo, en presencia de un lector y a través de una señal de radiofrecuencia, un código que lo identifica.

La aplicación de usuario, ejecutada, por ejemplo, en una computadora o una tableta, recibe el código leído por el lector a través de un enlace bluetooth, se conecta

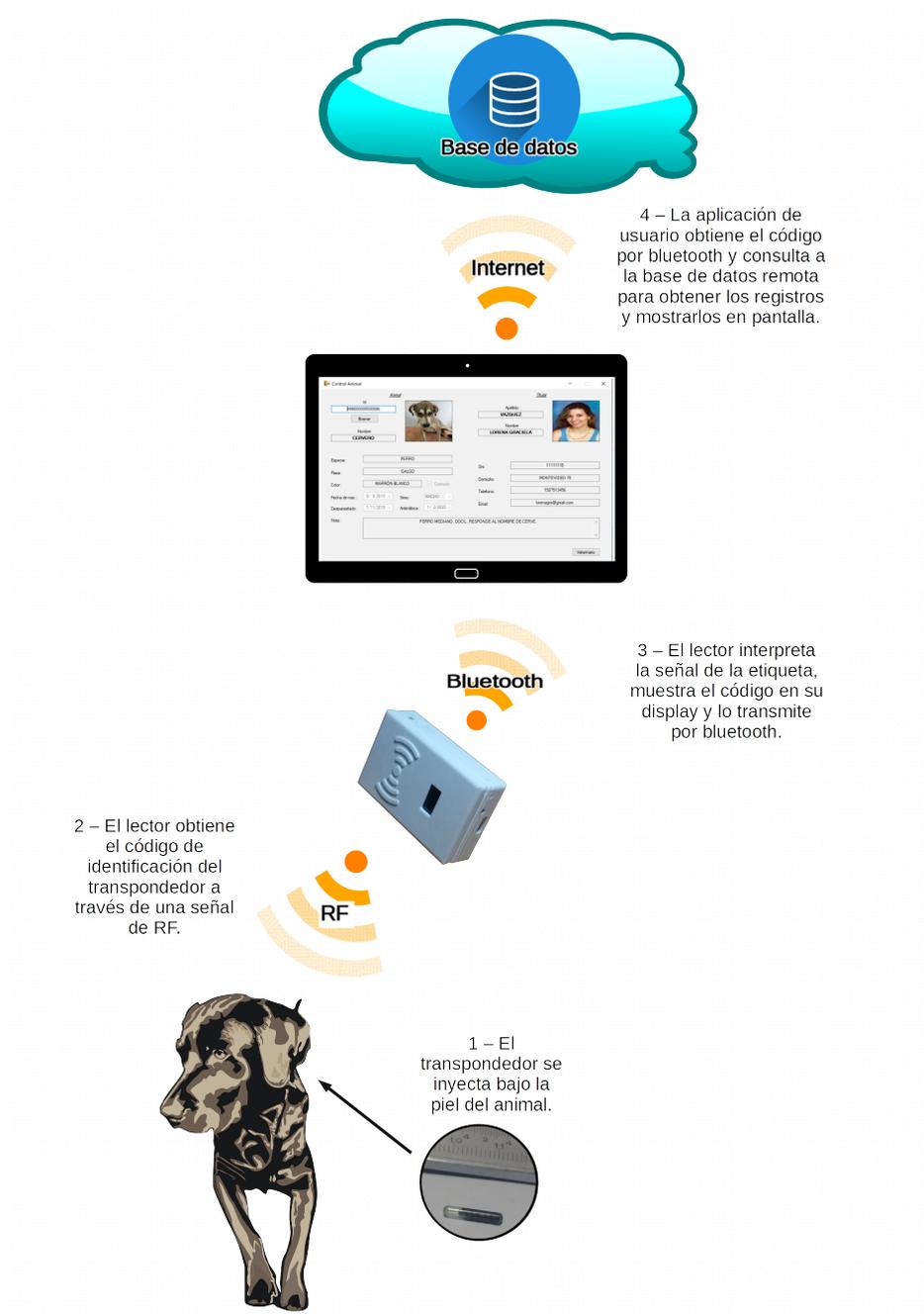


Figura 1: Solución propuesta

por medio de internet a la base de datos central que está alojada en un servidor remoto y obtiene y muestra en pantalla los registros de la mascota y su titular. El acceso a la información de la base de datos se discrimina entre acceso a la información básica e información clasificada. A la información básica (como nombre y características físicas del animal, datos de contacto del titular, por ejemplo) puede acceder cualquier persona que posea un lector y la aplicación de usuario. El acceso a esta información permite, por ejemplo, hacer contacto con los titulares de animales extraviados o que intervienen en accidentes o ataques. La información clasificada (como el historial veterinario, estado de vacunación) puede ser accedida por usuarios registrados como veterinarios o agentes de control animal. Estos usuarios registrados también pueden cargar registros de nuevos animales y titulares y/o modificar registros existentes. El acceso y manipulación de la información clasificada facilita la gestión de, por ejemplo, programas de vacunación, control natal y castración.

3.3. Transpondedor

El transpondedor es la etiqueta que adosada al animal le confiere un identificador único. En esta sección se presentan ejemplos de transpondedores de adquisición comercial que resultan de utilidad para el proyecto.

3.3.1. Generalidades

Identificación por radiofrecuencia (RFID) se refiere a un sistema de identificación en el que intervienen una etiqueta o transpondedor, poseedor de un código particular, y un lector capaz de captar e interpretar dicho código a través de señales de radiofrecuencia. Estos sistemas poseen variadas características de acuerdo a su aplicación. Se utilizan en el rango de baja frecuencia (LF), entre 30 kHz y 300 kHz, en aplicaciones de control de acceso, trazabilidad de animales y habilitación de arranque de automotores donde la máxima distancia de detección ronda los 10 cm. En el rango de alta frecuencia (HF), de 3 MHz a 30 MHz, para una detección entre 10 cm y 1 m, en aplicaciones de tickets de pago y transferencia de datos. En el intervalo de ultra alta frecuencia (UHF) y con frecuencias que van desde 300 MHz a 3 GHz, con rangos de lectura hasta 12 metros en aplicaciones como atención sanitaria, farmacéuticas, para salud, de fabricación y transporte. La intensidad de la energía irradiada disminuye al alejarse del emisor, a la vez, esta energía es mayor cuanto mayor es la frecuencia, así se obtienen mayores distancias con mayores frecuencias de trabajo. Por otro lado, la profundidad de penetración de las ondas

electromagnéticas disminuye con la frecuencia, ergo, es conveniente trabajar con sistemas RFID de baja frecuencia si se necesita atravesar materiales como líquidos, metales o piel.

Las etiquetas o transpondedores se pueden encontrar de diferentes tamaños y formas físicas como tarjetas, llaveros, láminas autoadhesivas, cápsulas, etc. Pueden clasificarse en base a la forma en que obtienen la energía para su funcionamiento: las etiquetas activas poseen una fuente propia de energía en forma de una batería, las pasivas obtienen su energía de la onda emitida por el lector y las semi pasivas poseen una fuente propia de energía pero no la utilizan para el transmisor sino para otras funciones de sensado o actuación [5]. Es lógico que las etiquetas activas resulten más caras, voluminosas y de menor vida útil que las pasivas. En contraste, las activas poseen una mayor distancia de transmisión/recepción.

El diseño de aplicaciones RFID se rige por normas ISO de estandarización. Las pertinentes para el uso de identificación animal son las normas ISO 11784, ISO 11785 e ISO 3166. La norma ISO 11784 caracteriza el telegrama de datos que corresponde a una etiqueta para un sistema RFID de uso animal. La norma ISO 11785 se centra en conceptos técnicos para la comunicación entre etiqueta y lector como ser, frecuencia portadora, tipo de codificación, tecnología, método de control de errores, estructura de trama transmitida, etc. La norma ISO 3166 lista los códigos de tres dígitos que identifican a cada país y que forman parte del identificador de cada etiqueta [6][7][8].

La norma ISO 11785 establece la utilización de etiquetas, para uso animal, bajo dos sistemas: Half Duplex (HDX) y Full Duplex (FDX).

Las etiquetas que actúan bajo el sistema HDX se componen básicamente de una antena, un circuito integrado y un capacitor para el almacenamiento de energía (Figura 2).

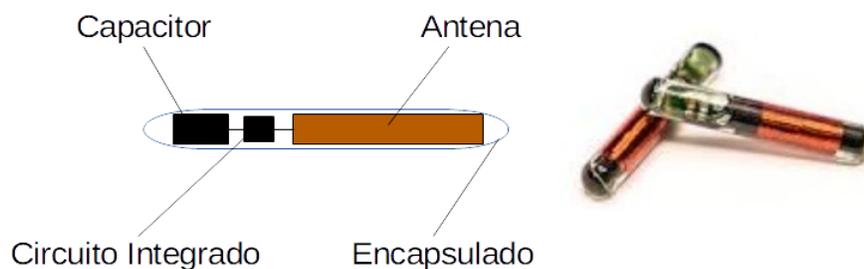


Figura 2: Etiqueta HDX para aplicación subcutánea.

Un lector HDX genera pulsos electromagnéticos cortos que cargan de forma inalámbrica el capacitor de la etiqueta HDX. Cuando el campo de carga generado por el lector se apaga, la etiqueta utiliza la energía almacenada en el capacitor para enviar la información de la etiqueta al lector.

Los fabricantes de etiquetas HDX sugieren un tiempo de carga del capacitor de 50 ms y 20 ms de tiempo de escucha de la etiqueta por parte del lector. Estos tiempos representan a un ciclo de escaneo de 70 ms resultando en 14 escaneos por segundo (Figura 3).

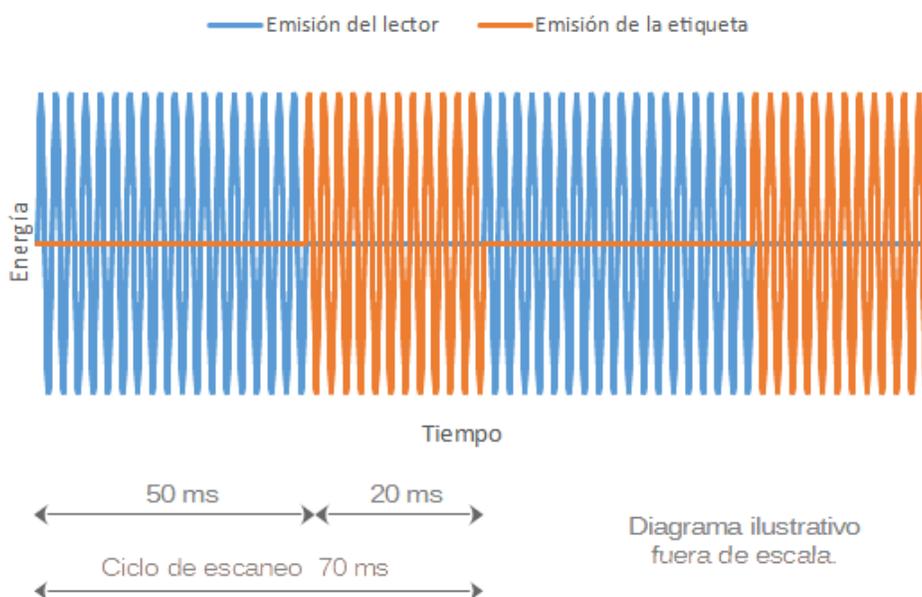


Figura 3: Tiempos de emisión y escucha de lector y etiqueta HDX.

La información que emerge de una etiqueta HDX se encuentra codificada por desplazamiento de frecuencia (FSK) emitiendo 16 ciclos a 124,2 kHz para expresar un símbolo “1” y 16 ciclos de 134,2 kHz para denotar un “0” (Figura 4).

En contraste con los lectores HDX, los FDX generan un campo electromagnético continuo. Las etiquetas repiten su mensaje mientras están alimentadas por la energía aportada por el lector.

Las etiquetas FDX pueden construirse de tamaños mas pequeños que las HDX dado que prescinden del capacitor de carga. Su conformación básica contempla un circuito integrado y una bobina/antena sobre una pieza de ferrite (Figura 5)

Dentro de una etiqueta FDX, de acuerdo con la información a transmitir, se

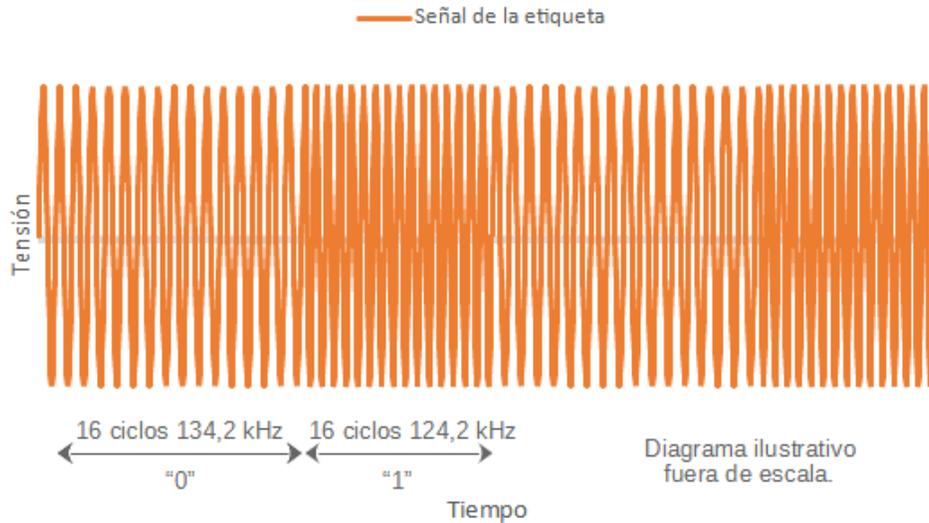


Figura 4: Modulación FSK en etiquetas HDX.

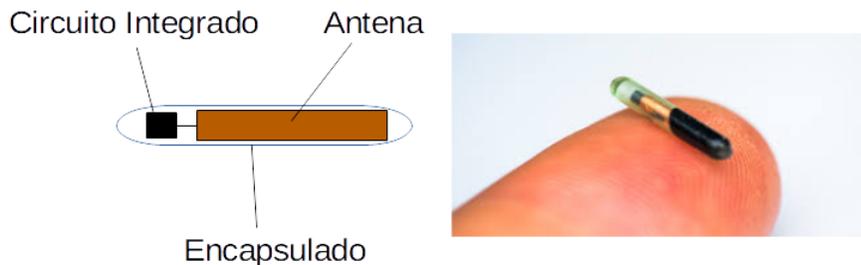


Figura 5: Etiqueta FDX para aplicación subcutánea.

acopla y libera una carga eléctrica que altera el campo electromagnético emitido provocando variaciones en la amplitud de tensión entre los terminales de la antena del lector. La información emitida por una etiqueta FDX presenta modulación por desplazamiento de amplitud (ASK). Un "0" de la señal digital es representado por 32 ciclos de mayor amplitud sobre la portadora de 134,2 kHz, mientras que un "1" se identifica con 32 ciclos de menor amplitud de la señal modulada (Figura 6).

Si bien existen en el mercado lectores que pueden leer tanto etiquetas HDX como FDX y podría plantearse su diseño y construcción, el objetivo de minimizar costos lleva a seleccionar uno de los dos sistemas para el desarrollo del proyecto. En la Tabla 2 se pueden observar las características relevantes y propias a cada

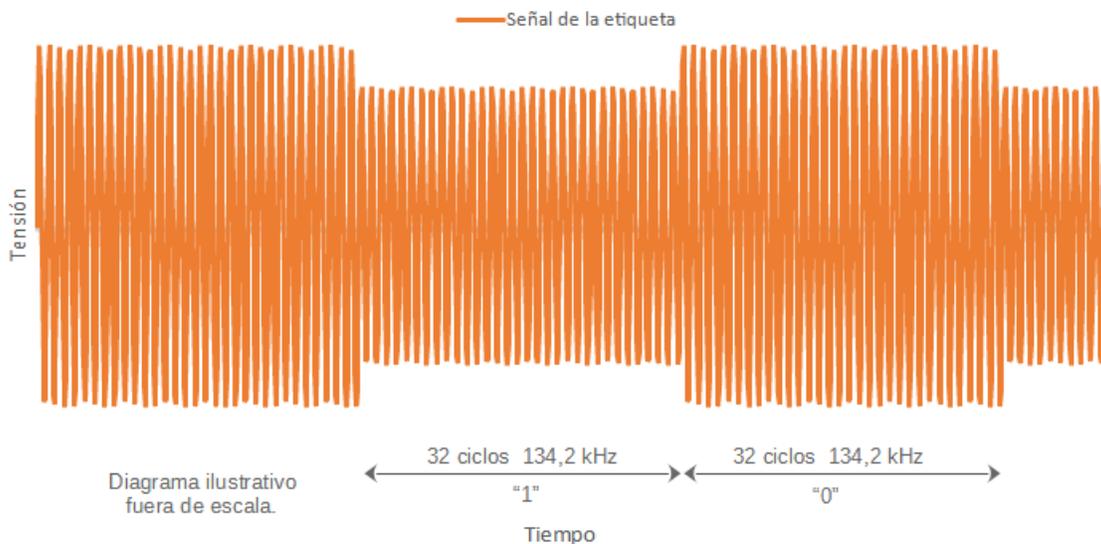


Figura 6: Modulación ASK en etiquetas FDX.

sistema: HDX y FDX.

Ante la comparación de las características funcionales entre ambos sistemas (Tabla 2) se puede concluir que el sistema HDX es propicio para animales rurales en los cuales las alteraciones estéticas afectadas por la visibilidad y tamaño de la etiqueta pierden relevancia ante la inmunidad al ruido e interferencias (en entornos que suelen contener elementos metálicos como jaulas o alambrados) y a una prudente distancia de lectura frente a animales de comportamiento salvaje. Por el contrario, para animales domésticos (por lo general de pequeño porte) y a los que se les pueden tomar lecturas a corta distancia) el reducido tamaño de las etiquetas toma peso ante la inmunidad al ruido y las interferencias, poniendo en ventaja a los sistemas FDX.

Con vista en lo expresado en el párrafo precedente, se selecciona el sistema FDX para el diseño del sistema del presente trabajo.

Volviendo a las normas de estandarización pertinentes, la norma ISO 11784 especifica la estructura de datos del telegrama que las etiquetas transmiten y que contiene la información de identificación. La misma consiste en 64 bits estructurados como se muestra en la Figura 7. La norma ISO 11785 define el uso de etiquetas pasivas con frecuencia de portadora de 134,2 kHz. Para el sistema FDX designa en particular el FDX-B modulando en amplitud la portadora a razón de 32 ciclos por bit y transmitiendo mediante un sistema de codificación bifase diferencial (DBP)

HDX	FDX
<ul style="list-style-type: none"> ■ Mayor inmunidad al ruido. ■ Mayor distancia de lectura. ■ Mayor inmunidad a interferencias. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menor tamaño de etiquetas. ■ Menor costo de etiquetas.

Tabla 2: Comparación sistemas HDX y FDX

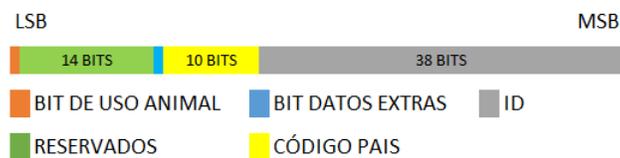


Figura 7: Telegrama datos de identificación según ISO 11784.

[9] telegramas con una estructura como la que se muestra en la Figura 8. Cada te-

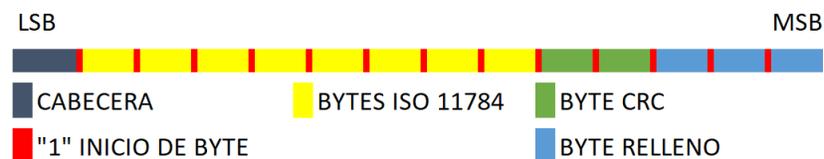


Figura 8: Telegrama según ISO 11785 FDX-B.

legrama ISO 11785 FDX-B consta de 128 bits: once bits de cabecera, consistentes en un “1” seguido por diez “0”; ocho bytes que componen el telegrama ISO 11784, dos bytes de redundancia cíclica y tres bytes de relleno; estando además cada uno de estos trece bytes precedidos por un “1” indicando su comienzo. El primer bit enviado es el bit menos significativo (LSB) y para el control de errores se utiliza el sistema CRC-16-CCITT [10] inverso con un polinomio generador $0x8408$ y un registro de inicio de CRC de $0x0000$ [11]. El protocolo FDX-B es utilizado mayor-

mente en etiquetas para animales domésticos [12] y es en el cual se basa el diseño de la estación base desarrollada en este trabajo.

3.3.2. Opciones de mercado

Se examina el mercado actual en busca de transpondedores de aplicación subcutánea y adquisición factible en Argentina que se encuadren bajo las normas ISO 11784/85 FDX-B.

Explorando el mercado local y páginas de venta en línea internacionales, se hallan ofertas como las que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3: Etiquetas RFID ISO 11784/85 FDX-B comerciales

Etiqueta	Características	Costo Un. U\$S	Fuente
 Genérico	<ul style="list-style-type: none"> ■ ISO 11784/5 FDX-B. Certificación ICAR. Aplicador esterilizado. ■ 8 mm de largo por 1,4 mm de diámetro. ■ Con proteína animal que fija la etiqueta bajo la piel. 	5,00	[13]
 Petchip	<ul style="list-style-type: none"> ■ ISO 11784/5 FDX-B. Certificación ICAR. Aplicador esterilizado. ■ Aprobado por SENASA. 	4,75	[14]

Continúa en la siguiente página.

Etiqueta	Características	Costo Un. U\$\$	Fuente
 <p>Datamars</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ ISO 11784/5 FDX-B. Certificación ICAR. Aplicador esterilizado. ■ 12 mm de largo. ■ Aplicador con sistema antirretorno. 	5,35	[15]
 <p>Star</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ ISO 11784/5 FDX-B. Certificación ICAR. Aplicador esterilizado. ■ 12 mm de largo, 2 mm de diámetro. ■ Cápsula anti migración. 	5,61	[16]

Las cuatro etiquetas presentadas en la Tabla 3 se ofrecen dentro de un aplicador tipo jeringa esterilizada y dentro de un paquete sellado. El costo por unidad ronda los 5 dólares estadounidenses. Entre ellas presentan diferencias de tamaño forma y material de la cápsula. Algunos fabricantes presentan una cápsula que dificulta la extracción de la etiqueta del animal con el objeto de evitar adulteraciones en la identificación del mismo.

Cualquiera de las etiquetas de los ejemplos de la tabla 3 es adecuada para el proyecto, dado que son transpondedores de aplicación subcutánea bajo normas ISO 11784/85 FDX-B y poseen certificación ICAR. ICAR (Comité Internacional Para el Registro de Animales) es una organización no gubernamental, con sede principal en Roma, que se ocupa de gestionar los códigos de las etiquetas entre los fabricantes de modo que sean únicos para cada transpondedor [17].

3.4. Lector

El lector es el dispositivo que escanea la etiqueta que porta el animal y comunica la información obtenida al usuario. Se examinan opciones presentes en el mercado.

3.4.1. Opciones de Mercado

En esta sección se examinan los productos que se encuentran en el mercado actual y que, por sus características funcionales, son capaces de cubrir las necesidades dentro de la solución propuesta. Los montos de los costos expuestos hacen referencia a los precios de los productos registrados en el mes de Junio del año 2020, se expresan en dólares estadounidenses y resultan datos útiles en el acto de perseguir el objetivo de diseñar un dispositivo económicamente competitivo.

Faread Technology Co.[18] es una empresa china proveedora de componentes RFID dedicados a la identificación y gestión sobre una amplia gama de industrias y aplicaciones, tales como: identificación de animales y seguridad alimentaria, etiquetado de peces, automatización y fabricación, automatización e inmovilización, seguimiento de activos y almacenes, control de acceso y apertura de puertas, equipamiento médico y sanitario, energía solar, etc. Los productos van desde etiquetas RFID, transpondedores y microchips, lectores y escáneres RFID a antenas, software y soluciones que cubren toda la banda de frecuencia en RFID pasivo desde LF 125 kHz y 134,2 kHz, HF 13,56 MHz hasta UHF 860 MHz-960 MHz.



Figura 9: Lector Faread FRD5310

Entre los productos de interés podemos observar la Figura 9 donde se muestra el lector FRD5310 de origen chino que lee etiquetas a una distancia de hasta 10 cm, con una frecuencia de portadora de 134,2 kHz bajo los estándares ISO11784/5 FDX-B. Puede almacenar 1000 registros en una memoria interna y se alimenta con tres baterías AA. Posee una pantalla OLED de 1,54” y su costo, con envío a Argentina, ronda los 210 dólares estadounidenses.

El modelo FRD5500 (mostrado en la Figura 10) es un equipo más complejo que el FRD5310. Captura etiquetas de 134,2 kHz y de 125 kHz, trabaja bajo normas



Figura 10: Lector Faread FRD5500

ISO11784/5 y detecta etiquetas en sistemas Full Duplex (FDX) y Half Duplex (HDX). Realiza lecturas a una distancia de hasta 8 cm. Posee una batería recargable, pantalla OLED y comunicación por USB y bluetooth. Su costo, puesto en el país, ronda los 240 dólares estadounidenses.



Figura 11: Lector Faread FRD5600

El modelo FRD5600 (mostrado en la Figura 11) es diminuto, del tamaño de un pendrive, lee etiquetas bajo normas ISO11784/5 FDX-B a una distancia de hasta 7 cm, puede guardar en memoria 128 registros, porta una pantalla OLED de 1,04” y una batería de litio recargable. Su costo con envío a Argentina llega a los 150 dólares estadounidenses.

El modelo FRD5800-1 (presentado en la Figura 12) puede leer etiquetas con portadoras de 134,2 kHz y 125 kHz bajo normas ISO11784/5 FDX-B. Posee una distancia máxima de lectura de 6 cm, una pantalla LCD y una memoria para 8000



Figura 12: Lector Faread FRD5800-1

registros. Cuenta con comunicación USB y se alimenta con una batería de 9V desechable. Su costo con envío es de alrededor de 160 dólares estadounidenses.



Figura 13: Lector Faread FRD5900

En la Figura 13 se muestra un lector FRD 5900 que trabaja con etiquetas de 134,2 kHz bajo normas ISO11784/5 FDX-B a una distancia máxima de 5 cm. Cuenta con una pantalla OLED, comunicación USB y una batería de litio recargable. Su costo con envío alcanza los 125 dólares estadounidenses.

DATAMARS [19] es una empresa sueca con mas de 30 años de experiencia en tecnologías RFID, sobre todo en la industria de fabricación, venta y distribución textil y en la identificación de animales, entre otras áreas. Como empresa innovadora en tecnología RFID participó en la discusión de las normativas que actualmente rigen en las aplicaciones. Cuentan con representación comercial en Latinoamérica e incluso en Argentina [20]. Se mostrarán las características de algunos de sus

productos comparables con el dispositivo de nuestro diseño.



Figura 14: Lector DATAMARS GESREADER 3

El lector DATAMARS GESREADER 3 (mostrado en la Figura 14) es un completo dispositivo que permite leer etiquetas ISO 11784/5 FDX-B y HDX. Posee comunicación por USB y bluetooth, pantalla LCD TFT, batería recargable, memoria para registros y la opción de instalarle una antena exterior. El fabricante especifica una distancia máxima de lectura de 28 cm para etiquetas tipo botón de 32 mm bajo el sistema FDX. Su costo ronda los 1170 dólares estadounidenses.



Figura 15: Lector DATAMARS TRACKING-1

El modelo TRACKING-1 (mostrado en la Figura 15) lee etiquetas ISO 11784/5 FDX-B y HDX. Con pantalla de LCD cuenta con una batería recargable, puede memorizar 4000 registros y la opción de comunicación bluetooth. El fabricante especifica una distancia máxima de lectura de 30 cm para etiquetas tipo botón de 32 mm bajo el sistema FDX. Se comercializa por un precio de alrededor de 396 dólares estadounidenses.

El modelo F1 (que puede verse en la Figura 16) lee etiquetas ISO 11784/5 FDX-B y HDX. Cuenta con una batería recargable y pantalla LCD. El fabricante



Figura 16: Lector DATAMARS F1

sugiere que es el más pequeño del mercado con unas dimensiones de 107 mm x 48 mm x 24 mm y un peso de 50 gr. El fabricante especifica una distancia máxima de lectura de 12 cm para etiquetas sistema FDX. Su precio aproximado es de 124 dólares estadounidenses.



Figura 17: Lector DATAMARS FX-PETII

En la Figura 17 se muestra el modelo FX-Pet II que es un lector de etiquetas ISO 11784/5 FDX-B y HDX entre otras normas. Posee una batería recargable, memoria para 1200 registros, pantalla OLED y comunicación bluetooth. Cuenta con la novedosa función de poder escribir y leer números de teléfonos en ciertas etiquetas que lo permitan. El fabricante especifica una distancia máxima de lectura de 20 cm sin especificar el tipo de sistema o etiqueta. Su costo ronda los 240 dólares estadounidenses.

Podemos encontrar en el mercado dispositivos genéricos, generalmente de fabricación china como el de la Figura 10. El lector de la imagen puede leer etiquetas ISO 11784/5 FDX-B, posee una pantalla LCD, batería recargable y comunicación por puerto USB. El vendedor especifica una distancia máxima de lectura de 50 mm para etiquetas subcutáneas FDX-B. Su costo, con envío, varía de entre 80 y 130 dólares estadounidenses [21].



Figura 18: Lector genérico chino

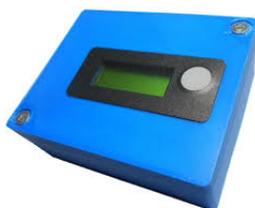


Figura 19: Lector de fabricación nacional

Como dispositivos de fabricación nacional sólo se encuentra el lector de un ingeniero, Martín Ariel Sanchez. Su producto es un lector ISO 11784/5 FDX-B con una pantalla LCD, dimensiones reducidas, batería de 9 V desechable y opción de comunicación bluetooth. El fabricante menciona que la lectura debe realizarse con el lector en contacto con la piel del animal. Se ofrece por canales web de compra venta a un precio que ronda los 48 dólares estadounidenses [22]. Su aspecto puede apreciarse en la imagen de la Figura 19.

En la tabla 4 se tabulan las características principales de los lectores comerciales evaluados. Si bien, la distancia de lectura es un parámetro relevante en la

comparación de los dispositivos, los fabricantes publican la distancia máxima de lectura, muchas veces sin especificar sobre qué tipo de etiqueta y bajo qué sistema se contempla el dato o referidas a un tipo de etiqueta que no coincide con el utilizado en el proyecto. Por lo tanto, la comparación de la distancia máxima de lectura entre diversos fabricantes no resulta de utilidad. No obstante, se puede destacar el dato de distancia máxima de lectura del dispositivo genérico chino que el fabricante especifica en 50 mm para etiquetas subcutáneas FDX-B. El fabricante del lector nacional especifica que el dispositivo debe tomar contacto con la piel del animal durante el proceso de escaneo.

Tabla 4: Lectores comerciales.

Lector	Sistema	Recargable	Bluetooth	Memoria	Costo U\$S
 Faread FRD5310	FDX	No	No	Si	210,00
 Faread FRD5500	FDX HDX	Si	Si	Si	240,00
 Faread FRD5600	FDX	Si	No	Si	150,00
 Faread FRD5800	FDX	No	No	Si	160,00

Continúa en la siguiente página.

Lector	Sistema	Recargable	Bluetooth	Memoria	Costo U\$S
 Faread FRD5900	FDX	Si	No	No	125,00
 Datamars Gesreader 3	FDX HDX	Si	Si	Si	1170,00
 Datamars Traking-1	FDX HDX	Si	Si	Si	396,00
 Datamars F1	FDX HDX	Si	No	No	124,00
 Datamars FX-PETII	FDX HDX	Si	Si	Si	240,00
 Genérico Chino	FDX	Si	No	No	80,00

Continúa en la siguiente página.

Lector	Sistema	Recargable	Bluetooth	Memoria	Costo U\$\$
 Nacional	FDX	No	Si	No	48,00

Puede observarse en la Tabla 4 que los dispositivos del fabricante Datamars leen etiquetas FDX como HDX, poseen batería recargable, salvo el modelo F1, cuentan con comunicación Bluetooth, sus precios van desde los 124 a 1170 dólares estadounidenses. De los lectores del fabricante Feread que sólo leen etiquetas FDX cuestan entre 125 a 210 dólares estadounidenses. El lector de fabricación nacional posee características similares a la buscada en el diseño del lector del proyecto: lee etiquetas FDX-B y cuenta con comunicación Bluetooth aunque no posee batería recargable. Su costo es de 48 dólares estadounidenses.

4. Desarrollo

En el presente capítulo se presentan las instancias de diseño e implementación de un lector de etiquetas FDX-B. Una aplicación de usuario que reciba el código brindado por el lector y una base de datos que gestione la información de mascotas y sus titulares interactuando con la aplicación.

4.1. Lector

En esta sección se aborda el diseño del lector, se detalla el procedimiento de ensamblado de un prototipo y se presenta el diseño de un dispositivo final.

4.1.1. Consideraciones generales

Se planea un sistema embebido representado en bloques por la Figura 20.

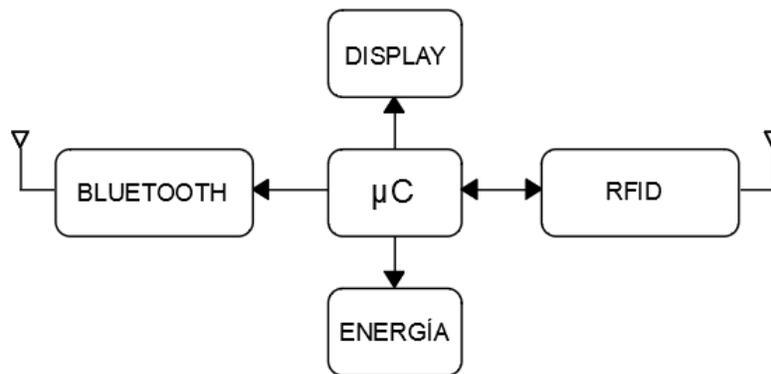


Figura 20: Diagrama de bloques del lector.

El bloque RFID, a través de la antena, se encarga de emitir la señal de radiofrecuencia que aporta energía a la etiqueta. Al mismo tiempo recibe la señal que devuelve la etiqueta y la demodula para entregarle al microcontrolador una señal digital que éste pueda interpretar. El bloque DISPLAY muestra de forma gráfica el código que identifica la etiqueta leída. El bloque BLUETOOTH permite transmitir inalámbricamente el código leído a un equipo remoto. El bloque ENERGÍA se encarga de gestionar la potencia tanto para el microcontrolador como para los periféricos. En el diagrama pueden observarse las relaciones de control entre bloques. Es prudente destacar que el bloque μC ejerce control sobre el bloque de

ENERGÍA con el objeto de restringir la potencia a los periféricos para permitir el estado “Dormido” del dispositivo. Durante el estado “Dormido” los bloques BLUETOOTH, DISPLAY Y RFID no reciben potencia dejando al lector en un estado de mínimo consumo de energía permitiendo maximizar la duración de la batería. El lector entra en estado “Dormido” luego de un tiempo sin recibir lecturas y sale de este estado por solicitud y acción del usuario, realimentando todos los subsistemas y recobrando la totalidad de las funcionalidades para el proceso de lectura.

4.1.2. Sistema RFID

Las funcionalidades del bloque RFID son generar una onda de radiofrecuencia que envía energía a la etiqueta, captar la señal enviada por el transpondedor, demodularla y decodificarla para poder entregar una señal ya procesada que el microcontrolador pueda interpretar. Existen en el mercado módulos RFID que realizan este trabajo como ser el RDM6300 (Figura 21) y el RC522 (Figura 22) pero el primero trabaja a una frecuencia de portadora de 125 kHz y el segundo a 13, 56 MHz. Resulta dificultoso conseguir un módulo que realice este trabajo a 134, 2 kHz, solo se encontró un dispositivo que entrega el código de la etiqueta vía USART (Transmisor Receptor Universal síncrono) en páginas como Amazon [23] a un costo que resulta prohibitivo para el proyecto. Se opta por construir el transmisor / receptor / demodulador en base a un circuito integrado estación base EM4095 [24] del fabricante EM microelectronic [25] con el que se resuelven las funciones de emisión, recepción y demodulación, a un costo moderado, obteniendo una señal digital para ser entregada al microcontrolador.

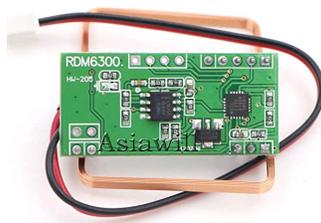


Figura 21: Módulo lector RFID RDM6300 de 125 kHz.



Figura 22: Módulo lector RFID RC522 de 13,56 MHz.

El circuito integrado EM4095 funciona como una interfaz analógica para el diseño de estaciones base RFID que operen a una frecuencia de entre 100 kHz y 150 kHz. Entre sus funciones principales se destacan: control de antena con frecuencia de portadora, modulación AM para escritura de transpondedores que lo permitan, demodulación AM de señales inducidas por etiquetas RFID e interfaz de comunicación serie sincrónica de la señal demodulada hacia un microcontrolador o microprocesador [24][26].

Las principales características técnicas del EM4095 son:

- Posee un Lazo de Enganche de Fase (PLL) integrado para una portadora auto adaptativa de manera que la antena resuena a la frecuencia de portadora.
- No requiere de cristal de cuarzo externo dado que por acción del PLL el circuito integrado trabaja a la frecuencia del circuito LC exterior.
- Operación de portadora en frecuencias desde 100 kHz a 150 kHz.
- Controlador tipo puente como interfaz de antena.
- Transmisión de datos mediante OOK.
- Compatibilidad con diferentes protocolos asociados a diversos transpondedores (EM4102, EM4450, EM4200, EM4205, EM4305).

- Consumo de $1 \mu A$ en modo dormido.
- Voltaje y corriente de alimentación compatible con standard USB.
- Rango de operación desde $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ a $+85 \text{ }^\circ\text{C}$ en su única versión.
- Encapsulado SO16.

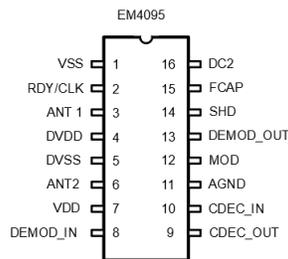


Figura 23: Disposición de pines de CI EM4095, SOP16

En la Tabla 5 se presenta la descripción de los pines del circuito integrado EM4095.

Las funciones del circuito integrado son controladas por los estados de la entradas SHD (pin 14) y MOD (pin 12). Cuando SHD se coloca en alto, el dispositivo entra en modo "dormido". Para un correcto inicio es necesario establecer SHD en alto y pasarlo a estado bajo. Al momento de pasar SHD a estado bajo, el dispositivo pasa a transmitir campo RF a través de la antena y a la vez podrá demodular cualquier señal AM que sea captada por ella y que será entregada por DEMOD_OUT (pin 13). Esta señal digital podrá ser tomada por un microcontrolador para ser decodificada.

Si bien este circuito integrado puede configurarse en modo lectura/escritura, en la Figura 25 vemos que con un circuito de antena y algunos capacitores se obtiene la configuración en la funcionalidad de lectura, que es la que interesa en este proyecto. En la Figura 24 se puede observar la composición interna del EM4095. El filtro de lazo junto con el oscilador controlado por tensión (VCO) y el comparador de fase forman un Lazo de Enganche de Fase (PLL). A través de un divisor capacitivo externo el pin DEMOD_IN obtiene información acerca de la señal de alta tensión presente en la antena y la utiliza para generar la señal de reloj con la que funcionará el dispositivo. En otras palabras, la frecuencia de resonancia del circuito de antena establece la frecuencia de trabajo del circuito integrado EM4095 que será la frecuencia de portadora de la señal transmitida y recibida.

Tabla 5: Designación de pines del circuito integrado EM4095

Pin	Nombre	Descripción	Tipo
1	VSS	Pin negativo de la fuente de potencia (ground)	GND
2	RDY/CLK	Testigo de listo, salida de reloj y controlador para la modulación AM	OUT
3	ANT1	Controlador de antena	OUT
4	DVDD	Positivo para controladores de antena	PWR
5	DVSS	Negativo para controladores de antena	GND
6	ANT2	Controlador de antena	OUT
7	VDD	Positivo fuente de poder (+5 V)	PWR
8	DEMOD_IN	Voltaje de entrada al demodulador	ANA
9	CDEC_OUT	Capacitor de bloqueo, salida	ANA
10	CDEC_IN	entrada capacitor de bloqueo	ANA
11	AGND	Tierra analógica	ANA
12	MOD	En estado alto modula la antena	IPD
13	DEMOD_OUT	Señal digital codificada que representa la señal AM presente en la antena	OUT
14	SHD	Un voltaje alto coloca al CI en estado dormido	IPU
15	FCAP	Capacitor filtro para PLL	ANA
16	DC2	Filtro desacople DC	ANA

El controlador de antena entrega a la misma una corriente cuya intensidad y frecuencia depende de la frecuencia de resonancia y factor de calidad del circuito externo. El fabricante recomienda que el pico máximo de esta corriente no supere los 250 mA y que la disipación de potencia no supere la máxima tolerada por el circuito integrado. El controlador de antena es directamente alimentado por la fuente de potencia desde los terminales DVDD (pin 4) y DVSS (pin 5). El circuito de antena es conectado a los terminales ANT1 (pin 3) y ANT2 (pin 6). Este controlador cuenta con protección por cortocircuito en la antena. En caso de establecerse un cortocircuito, los drivers toman un estado de alta impedancia y deben restablecerse a su estado normal colocando en alto y luego en bajo el terminal SHD.

La etapa de recepción sigue un esquema de demodulación síncrona y está formada por un sistema de muestreo y retención, un anulador de voltaje DC, un filtro pasabanda y un comparador. La componente DC en DEMOD_IN es llevada al nivel

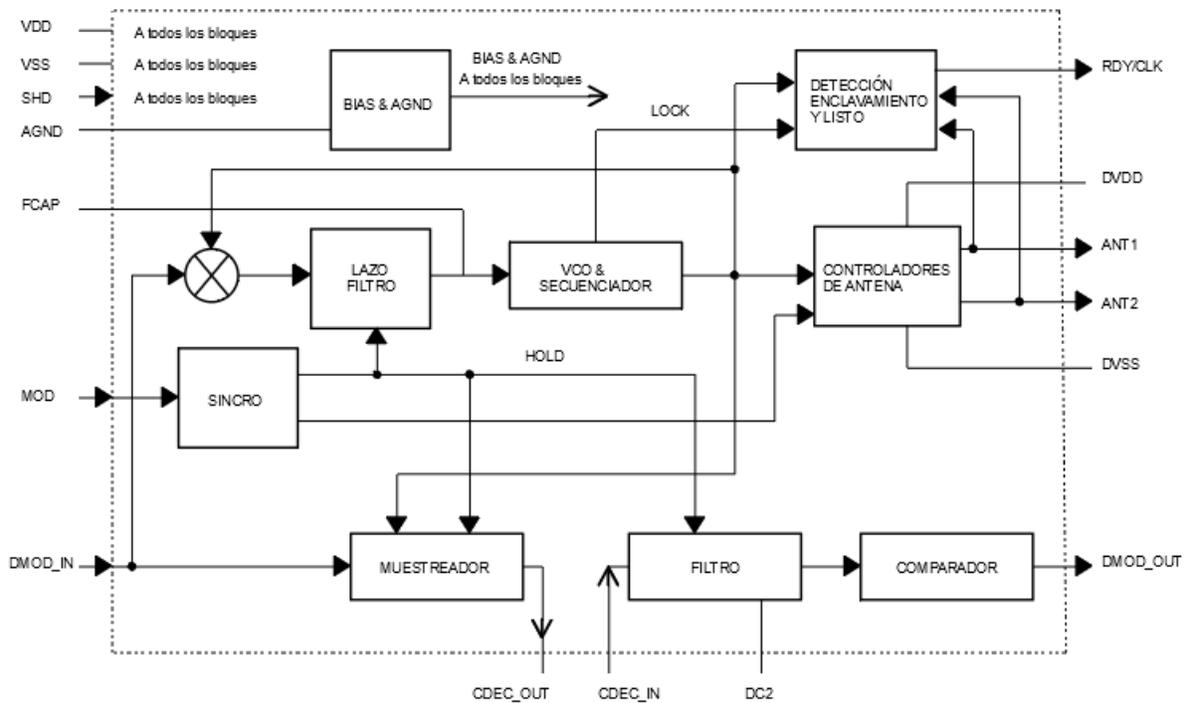


Figura 24: Diagrama de bloques del circuito integrado EM4095.

de AGND (pin 11) por medio de un resistor interno. La señal AM es muestreada en sincronismo con un reloj que obtiene su base de tiempo de la frecuencia de la señal portadora, por lo que se produce un muestreo en sincronismo con dicha señal. Las componentes de corriente continua son filtradas por el capacitor C_{DEC} . El filtro pasabanda, cuyas frecuencias de corte son establecidas por un circuito de segundo orden interno y el capacitor C_{DC2} conectado a DC2 (pin 16), elimina las componentes de portadora. La señal filtrada es enviada al comparador cuya salida es recibida por el terminal DEMOD_OUT (pin 13) obteniéndose la señal digital demodulada y codificada de la etiqueta leída.

Cuando la entrada SHD está en alto y por lo tanto el circuito integrado está en estado dormido, el terminal RDY/CLK se fuerza a estado bajo. Al momento en que el terminal SHD es llevado a estado bajo, el dispositivo despierta y el PLL busca enclavarse a la frecuencia de resonancia del circuito externo, cuando el enclavamiento sucede, la salida RDY/CLK emite una señal digital cuadrada a la frecuencia de portadora. En el modo de configuración de solo lectura no se utiliza esta salida.

- Algunas funciones de prueba del circuito integrado son activadas cuando las entradas SHD y MOD son puestas en alto. Es recomendable que MOD se mantenga en bajo cuando SHD se encuentra en alto. Para aplicaciones de solo lectura se aconseja conectar la entrada MOD a VSS.
- En la recepción el filtrado se logra mediante dos etapas. La primer etapa tiene el cero definido por el capacitor externo C_{DEC} junto con un resistor interno de $100\text{ k}\Omega$ y el polo es establecido internamente a aproximadamente 25 kHz . El cero de la segunda etapa está definido por el capacitor C_{DC2} y un resistor interno, su polo está establecido internamente a 12 kHz por lo tanto las frecuencias de corte superior del filtro de recepción de dos etapas están fijadas a 12 kHz y 25 kHz . Los ceros pueden configurarse con los capacitores externos. Una configuración estándar para una operación fiable es con $C_{DEC} = 100\text{ nF}$ y $C_{DC2} = 10\text{ nF}$. El rango adecuado para estos capacitores es de 33 nF a 220 nF para C_{DEC} y de $6,8\text{ nF}$ a 22 nF para C_{DC2} . El incremento de C_{DC2} aumentará el ancho de banda y así la sensibilidad de recepción, a la vez, incrementará los tiempos de inicio del sistema.
- El divisor capacitivo formado por C_{DV1} y C_{DV2} debe ser diseñado de tal manera que las capacidades parásitas entre el pin DEMOD_IN y la Placa de Circuito Impreso (PCB) no influyan en la razón entre ambos capacitores. Se propone utilizar un capacitor C_{DV2} de entre 1 nF y 2 nF . El valor de C_{DV1} debe ser calculado según la razón del divisor. Los valores de estos capacitores deben tenerse en cuenta en el cálculo de la frecuencia de resonancia que definirá la frecuencia de trabajo del circuito integrado.
- El capacitor C_{AGND} se puede establecer entre 100 nF y 220 nF . A mayor capacidad, mayor filtrado de ruido en la recepción. El voltaje AGND es filtrado por este capacitor externo y un resistor interno de $2\text{ k}\Omega$.
- En cuanto al diseño del PCB, el fabricante recomienda que los pines DVDD y DVSS sean conectados a VDD y VSS respectivamente y conectados entre sí por un capacitor de 100 nF lo más cerca posible del encapsulado a efecto de prevenir variaciones y picos de tensión en la fuente provocados por la demanda de corriente en la antena. Todos los capacitores asociados a las líneas DC2, AGND, DEMOD_IN deben ser conectados directamente al pin VSS del circuito integrado. Las conexiones a todos los pines sensibles deben ser lo más cortas posibles a fin de evitar el acoplamiento capacitivo de

las líneas, especialmente en la salida digital DEMOD_OUT y las entradas DEMOD_IN, FCAP, CDEC, DC2 y AGND.

Una bobina antena de un lector para aplicaciones de baja frecuencia posee una inductancia en el rango de unos cientos a pocos miles de micro Henrios (μH). Se opta por utilizar una bobina antena que se consigue en el mercado para sistemas de 125 kHz. La misma consta de 74 vueltas de alambre de cobre calibre AWG 36 (0,127 mm de diámetro), con espiras rectangulares de 30 mm de alto x 40 mm de lado. Su inductancia es de 428 μH y su resistencia óhmica de 6,6 Ω .

4.1.2.1. Valores de diseño

Para calcular los valores de diseño se toma la información que brinda la hoja de datos, las recomendaciones del fabricante del EM4095 y el siguiente procedimiento.

Se conoce el factor de calidad de la antena (Q_A) aplicando la ecuación 1 sabiendo que $f_0 = 134,2$ kHz es la frecuencia a la que se quiere que resuene el circuito y a la que funcionará el sistema RFID, $L_A = 428$ μH es la inductancia de la antena y $R_A = 6,6$ Ω su resistencia óhmica.

$$Q_A = \frac{2\pi f_0 L_A}{R_A} = 55,96 \quad (1)$$

C_0 corresponde al valor de capacidad que junto con el valor de inductancia de la antena ($L_A = 428$ μH) conforman un circuito resonante a la frecuencia $f_0 = 134,2$ kHz. El valor de C_0 se calcula con la ecuación 2.

$$C_0 = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L_A} = 3,29 \text{ nF} \quad (2)$$

Puede verse en el diagrama de la Figura 25 que C_0 encuentra su equivalencia en la ecuación 3. En primera instancia y para simplificar los cálculos despreciamos el segundo término de la ecuación 3 por lo que se toma $C_0 = C_{\text{SER}} = 3,29$ nF. Tomando valores comerciales de capacitores, se adopta $C_{\text{SER}} = 3,3$ nF.

$$C_0 = C_{\text{SER}} + \frac{C_{\text{DV1}} \cdot C_{\text{DV2}}}{C_{\text{DV1}} + C_{\text{DV2}}} \quad (3)$$

El valor pico de la corriente que atraviesa la antena se obtiene con la ecuación 4. El fabricante del circuito integrado especifica que no se debe superarse los 250 mA

de corriente pico sobre los controladores de antena. R_{SER} permite limitar el pico de corriente sobre estos controladores.

$$I_{ANT}(pico) = \frac{4}{\pi} \frac{V_{DD} - V_{SS}}{R_A + R_{SER} + 2R_{AD}} \quad (4)$$

En base a la ecuación 4 obtenemos la ecuación 5 para el cálculo de R_{SER} donde $V_{DD} - V_{SS} = 5 \text{ V}$, es la tensión de alimentación del dispositivo. $R_A = 6,6 \Omega$ es la resistencia de la antena. R_{AD} es, según la hoja de datos del EM4095 [24], la resistencia interna de cada entrada al controlador de antena y puede tomar valores desde 3Ω a 9Ω . Para el cálculo de R_{SER} se toma $R_{AD} = 3 \Omega$ que generaría el mayor pico de corriente sobre la antena.

$$R_{SER} > \frac{4}{\pi} \frac{V_{DD} - V_{SS}}{I_{ANT}(pico)} - R_A - 2R_{AD} = 12,86 \Omega \quad (5)$$

Tomando un valor comercial de resistencia, obtenemos en 6 el valor adoptado para R_{SER} .

$$R_{SER} = 15 \Omega \quad (6)$$

Con $R_{SER} = 15 \Omega$ adoptada y haciendo uso de la ecuación 4, se puede comprobar en la ecuación 7 que la corriente pico sobre la antena no supera el límite establecido por el fabricante del circuito integrado.

$$I_{ANT}(pico) = \frac{4}{\pi} \frac{V_{DD} - V_{SS}}{R_A + R_{SER} + 2R_{AD}} = 230,7 \text{ mA} \quad (7)$$

Con la ecuación 8 y el valor obtenido en la ecuación 7 se obtiene el valor de la tensión pico sobre la antena. Siendo el valor $C_{SER} = 3,3 \text{ nF}$ como se explicó previamente a partir de las ecuaciones 2 y 3. $f_0 = 134,2 \text{ kHz}$ es la frecuencia de resonancia.

$$V_{ANT}(pico) = \frac{I_{ANT}(pico)}{2\pi f_0 C_{SER}} = 82,9 \text{ V} \quad (8)$$

Se debe calcular el divisor capacitivo conformado por C_{DV1} y C_{DV2} con el objeto de diezmar el voltaje en la antena a niveles admisibles por la entrada DEMOD_IN

y así garantizar una correcta demodulación de la señal de datos recibida del transpondedor. Con la inecuación 9 se obtiene el límite inferior del factor del divisor capacitivo (dc).

$$dc > \frac{2 V_{\text{ANT}}(\text{pico})}{V_{\text{DEMOD_IN_max}}} = 41,45 \quad (9)$$

$V_{\text{DEMOD_IN_max}}$ es el valor máximo de tensión pico a pico en que puede operar la entrada DEMOD_IN. Según la hoja de datos del circuito integrado, la máxima tensión de operación del terminal DEMOD_IN es $V_{\text{DD}} - 0,5 \text{ V}$ y la mínima $V_{\text{SS}} + 0,5 \text{ V}$, por lo tanto $V_{\text{DEMOD_IN_max}}$ equivale a 4 V. $V_{\text{ANT}}(\text{pico})$ en la ecuación 9 toma el valor de 82,9 V, calculado en la ecuación 8. El factor (dc) del divisor capacitivo está dado por la ecuación 10.

$$dc = \frac{C_{\text{DV2}} + C_{\text{DV2}}}{C_{\text{DV1}}} \quad (10)$$

Según el fabricante del circuito integrado, C_{DV2} puede tomar valores entre 1 nF y 2 nF. Optamos por tomar $C_{\text{DV2}} = 1 \text{ nF}$. Despejando de la ecuación 10, se calcula el valor de C_{DV1} en la ecuación 11

$$C_{\text{DV1}} < \frac{C_{\text{DV2}}}{dc - 1} = 24,7 \text{ pF} \quad (11)$$

Tomando el valor comercial de $C_{\text{DV1}} = 22 \text{ pF}$, utilizando la ecuación 10, se obtiene el valor expresado en la ecuación 12 que satisface la inecuación 9.

$$dc = 46,45 \quad (12)$$

Ahora que se adoptó y se conocen los valores de $C_{\text{DV1}} = 22 \text{ pF}$ y $C_{\text{DV2}} = 1 \text{ nF}$ se puede tener en cuenta sus influencias en el cálculo de la capacidad del circuito resonante (C_0) aplicando la ecuación 3 dando como resultado lo expresado en 13.

$$C_0 = 3,32 \text{ nF} \quad (13)$$

Teniendo en cuenta la ecuación 13 y la inductancia de la antena $L_A = 428 \mu\text{H}$, se calcula con la ecuación 14 el valor de frecuencia de resonancia que teóricamente se obtiene.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_A C_0}} = 133,51 \text{ KHz} \quad (14)$$

El valor que se obtiene con la ecuación 14 no se aleja en más de 5 kHz de la frecuencia de resonancia buscada (134, 2 kHz) por lo cual se encuentra dentro del error admisible recomendado por el fabricante del circuito integrado.

Con la ecuación 15 se puede verificar que los efectos del divisor capacitivo no permiten una tensión mayor a 4 V pico a pico en la entrada DMOD_IN como delimita la hoja de datos del dispositivo. $V_{\text{ANT}}(\text{pico}) = 82,9 \text{ V}$ se calcula en la ecuación 8.

$$V_{\text{DMOD_IN}} = 2 V_{\text{ANT}}(\text{pico}) \frac{C_{\text{DV1}}}{C_{\text{DV1}} + C_{\text{DV2}}} = 3,57 \text{ V} \quad (15)$$

Con la ecuación 16 se puede obtener el valor eficaz de la corriente en la antena ($I_{\text{ANT}}(\text{RMS})$) considerando que $I_{\text{ANT}}(\text{pico}) = 230,7 \text{ mA}$ se calcula en la ecuación 7.

$$I_{\text{ANT}}(\text{RMS}) = \frac{I_{\text{ANT}}(\text{pico})}{\sqrt{2}} = 163,13 \text{ mA} \quad (16)$$

Con la ecuación 17 se puede obtener la potencia máxima que podría consumir el circuito integrado. El valor para $I_{\text{ANT}}(\text{RMS}) = 163,13 \text{ mA}$ se calcula en la ecuación 16, a su vez $R_{\text{AD_max}} = 9 \Omega$, según la hoja de datos, es la máxima resistencia que pueden tomar los controladores de antena. $I_{\text{OMAX}} = 10 \text{ mA}$ es la máxima corriente circulante por las entradas y salidas exceptuando VDD, VSS, DVDD, DVSS, ANT1, ANT2, RDY/CLK. $V_{\text{DD}} - V_{\text{SS}} = 5 \text{ V}$ equivale a la tensión de alimentación.

$$P = 2I_{\text{ANT}}^2(\text{RMS})R_{\text{AD_max}} + I_{\text{OMAX}}(V_{\text{DD}} - V_{\text{SS}}) = 529 \text{ mW} \quad (17)$$

En la ecuación 18 se calcula la variación de temperatura sobre el ambiente que experimentaría la junta del circuito integrado a la potencia calculada en la ecuación 17. Según la hoja de datos del fabricante del dispositivo, éste puede soportar una temperatura máxima en su junta de $110 \text{ }^\circ\text{C}$ y la resistencia térmica máxima del empaquetado corresponde a $R_{\text{TH}} = 71 \text{ }^\circ\text{C/W}$

$$\Delta T = PR_{TH} = 37,6 \text{ } ^\circ C \quad (18)$$

De acuerdo al valor $\Delta T = 37,6 \text{ } ^\circ C$ y al límite de temperatura de trabajo de $110 \text{ } ^\circ C$, se establece que el circuito calculado puede operar en entornos con temperatura ambiente de hasta $72 \text{ } ^\circ C$.

Por recomendaciones del fabricante del dispositivo se utilizan los siguientes valores: $C_{DEC} = 100 \text{ nF}$, $C_{FCAP} = 10 \text{ nF}$, $C_{DC2} = 10 \text{ nF}$ y debe colocarse un capacitor de 100 nF lo más cerca posible del integrado para filtrar perturbaciones en la alimentación.

Los cálculos realizados expresan que los valores adoptados para los componentes del circuito son propicios para un correcto funcionamiento del circuito integrado. Estos valores se reflejan en el diagrama de la Figura 25.

4.1.3. Sistema bluetooth

Para suplir la necesidad de conectividad inalámbrica se selecciona el módulo bluetooth HC-05[27].

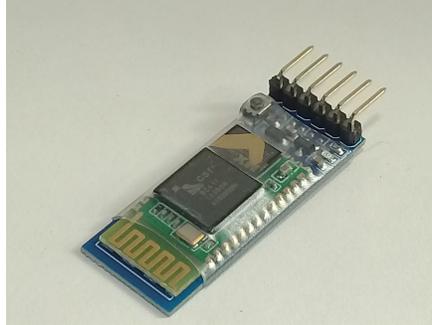


Figura 26: Módulo bluetooth HC05

Este módulo es un dispositivo bluetooth categoría 2 (rango de alcance hasta de 20 m y una potencia promedio de $2,5 \text{ mW}$)[28] que puede configurarse como maestro o esclavo. Si bien en este proyecto se necesita que dicho módulo trabaje sólo como esclavo, el módulo hermano HC-06, que solo trabaja en modo esclavo tiene un mayor costo de mercado. Los parámetros de funcionamiento de este módulo, como ser, tasa de baudios, nombre, contraseña, pueden ser configurados mediante comandos Hayes o AT. Posee conectividad con microcontroladores o procesadores mediante Serial Port Protocol (SPP), consta de una antena integrada

y regulador de voltaje para una alimentación de 5 V. Se basa en un circuito integrado “CSR Bluecore” con tecnología CMOS, posee una sensibilidad típica de -80 dBm, una potencia de hasta $+4$ dBm y un consumo de operación de 30 mA. La imagen del módulo puede verse en la Figura 26.

4.1.4. Sistema Display

Como interfaz visual se utiliza un módulo display de 0,96 pulgadas de tecnología Organic Light Emitting Diode (OLED).



Figura 27: Display OLED

La tecnología OLED presentan un mayor contraste y es más económica que otras tecnologías aunque poseen menor vida útil. Este módulo posee una pantalla con una matriz de 128×64 puntos, un driver SSD1306 que se comunica por I²C y abundan las librerías para ser utilizado junto a diversos microcontroladores como por ejemplo U8g2 [29], Adafruit-GFX-Library [30] y Adafruit_SSD1306 [31]. Posee un consumo típico de 12 mA y un consumo máximo de 20 mA.

4.1.5. Microcontrolador

Para este proyecto se necesitará una entrada digital para el pulsador de encendido, una entrada y una salida digitales para la comunicación con el demodulador, una salida digital para comandar la potencia a los periféricos y una comunicación I²C para el display. Atentos a estas solicitudes se selecciona el microcontrolador ATmega328P del fabricante Atmel [32] para el diseño. Este microcontrolador de 8 bits no solo satisface las necesidades de entradas y salidas, sino que también, es relativamente económico y de fácil adquisición comercial. Cuenta con 14 pines de

entrada/salida digitales, de los cuales 6 pueden utilizarse con modulación por ancho de pulso (PWM) y 6 entradas analógicas. Consta de una memoria flash de 32 kbytes, SRAM de 2 kbytes y EEPROM de 1 kbyte. Posee 3 timers, maneja interrupciones externas e internas, puede trabajar con una frecuencia máxima de 16 MHz y ser alimentado con una tensión de 1,8 V a 5,5 V. Posee un consumo de 15 mA y permite colocarlo en modo dormido o de hibernación en el que consume unos 2 mA permaneciendo encendido pero con funciones mínimas, esperando que una determinada acción lo saque de ese estado para ejercer funciones programadas. El estado de hibernación es de utilidad al momento de diseñar dispositivos portátiles donde la duración de la batería que lo alimenta es un factor de importancia.

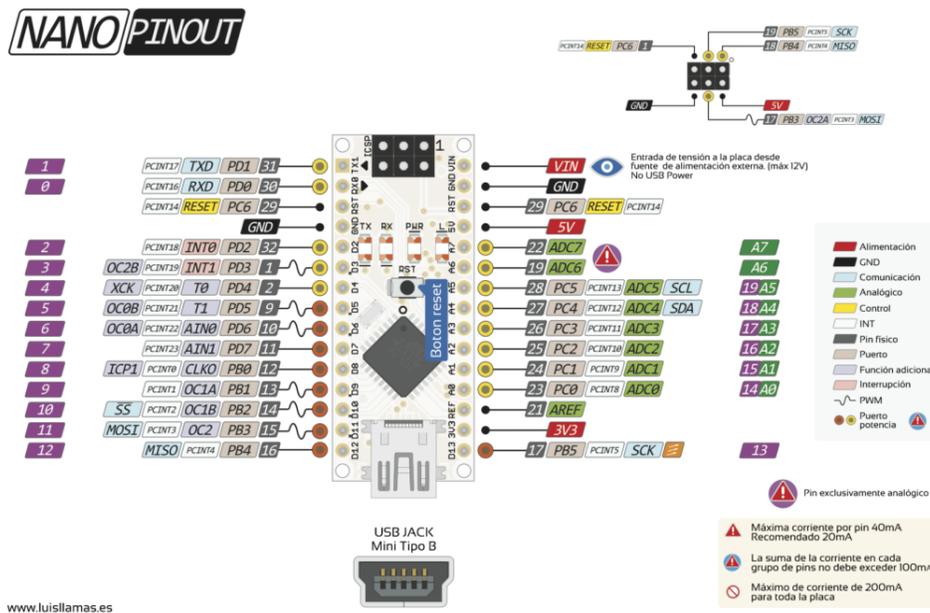


Figura 28: Pin out Arduino Nano. Fuente: www.luisllamas.es

Para la construcción del prototipo se utiliza la placa de desarrollo Arduino Nano [33]. Arduino Nano es una placa de desarrollo de tamaño compacto que contiene un microcontrolador ATmega328P junto con un cristal de 16 MHz.

La placa de desarrollo permite la comunicación serie con el microcontrolador por un puerto micro USB a través de un chip FTD232RL por el cual se facilita la carga de los programas por medio del IDE de Arduino y gracias al bootloader que generalmente trae cargado el microcontrolador de esta placa. Aparte de facilitar el acceso a los pines mediante conectores, presenta también, terminales para progra-

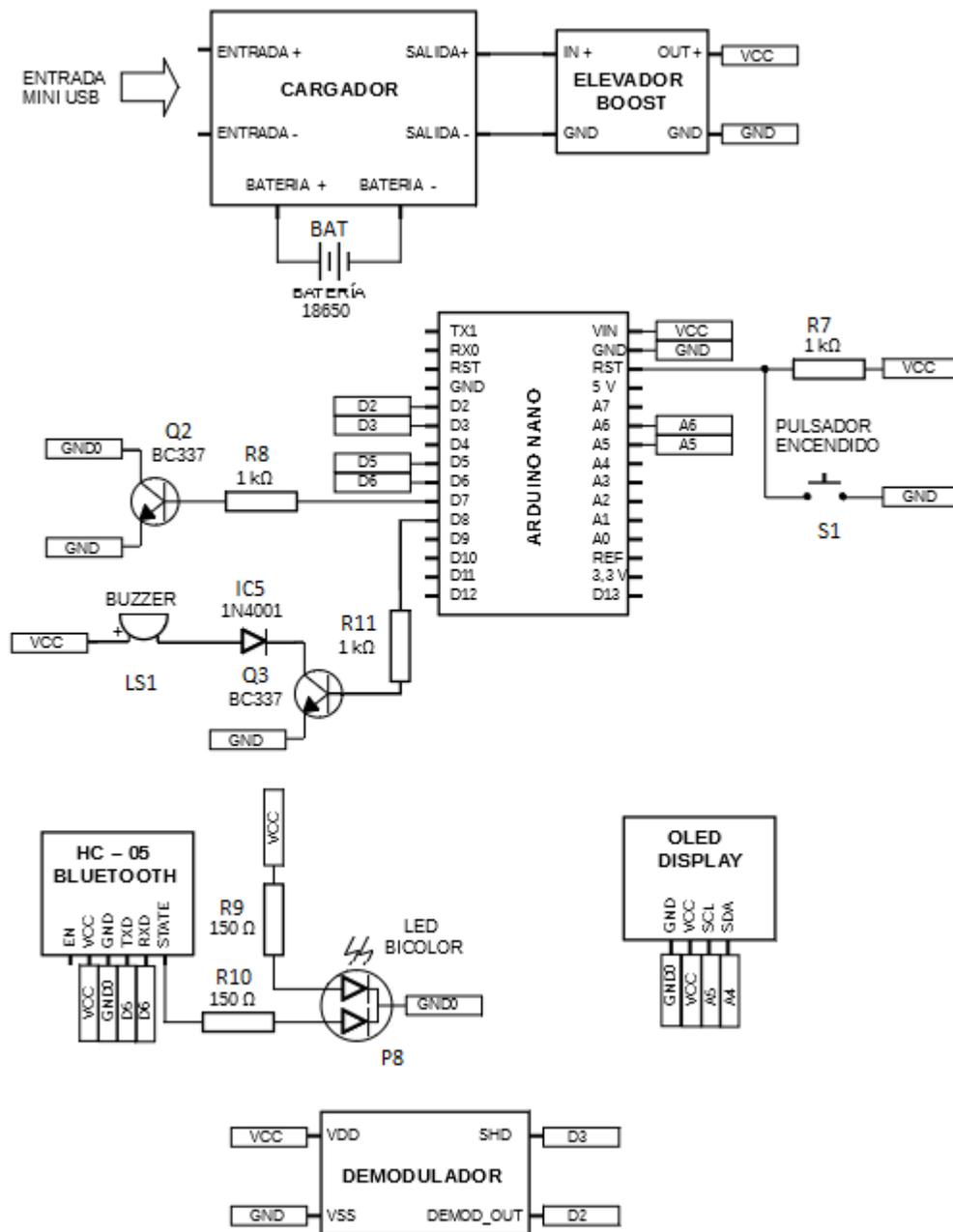


Figura 29: Diagrama de conexiones del prototipo

mación serial en circuito (ICSP) y salida de un regulador lineal de 3,3 V. Posee pequeños diodos emisores de luz testigos de transmisión y recepción del puerto para transmisión recepción síncrona asíncrona universal (USART) del microcontrolador, presencia de tensión de alimentación y estado del pin digital 13.

En la Figura 29 se encuentra el conexionado de los diferentes componentes del prototipo. Puede observarse que se conecta un buzzer en la salida digital D7 del microcontrolador y a través de la salida digital D8 se maneja por saturación un transistor BC337 que permite inhibir el aporte de potencia de alimentación dirigida a los periféricos en el caso de colocar en estado de reposo el sistema.

4.1.6. Firmware

El software que se instala en el microcontrolador persigue dos funciones principales: la interacción con el usuario y la decodificación de la señal proveniente del demodulador. Cuando el usuario oprime el pulsador de encendido el dispositivo “despierta” reseteando el microcontrolador y habilitando la energía a los periféricos, el buzzer emite un pitido corto, la pantalla presenta la palabra “Leyendo” y al sensar una etiqueta muestra la palabra “Código” en una línea y el número representativo de la etiqueta en otra emitiendo otro pitido y enviando el código al módulo bluetooth. El lector se “duerme” colocando en estado “sleep” el microcontrolador y cortando la energía a los periféricos cuando transcurren 90 segundos sin detectar alguna etiqueta. En la Figura 30 se representan los estados desde los que se concibe el firmware.

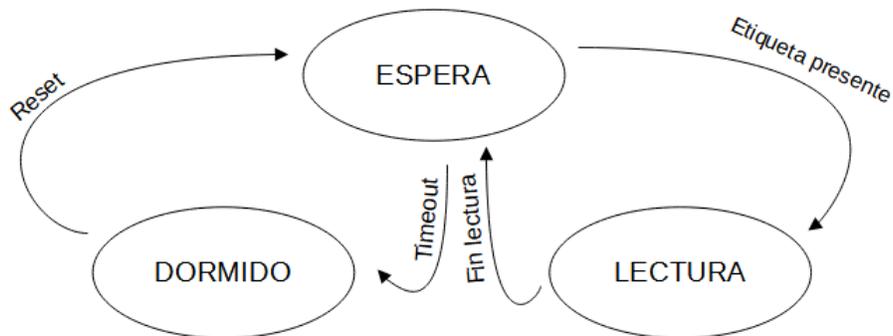


Figura 30: Diagrama de estados del lector.

Se codifica el programa haciendo uso del Entorno de Desarrollo Integrado

(IDE) de Arduino [34] y las librerías `avr/sleep.h` [35] y `avr/power.h` [36] para implementar la hibernación del dispositivo, la librería `SoftwareSerial.h` [37] para generar un puerto serie virtual que se comunica con el módulo bluetooth HC-05 y la librería `U8glib.h` [38] para el manejo del display OLED.

Como se vió en la sección 3.3.1. la señal obtenida del demodulador tiene una codificación bifase diferencial [9]. En codificación bifase diferencial si a la mitad del tiempo de símbolo se tiene una transición se obtiene un símbolo “0”. Ante la ausencia de transición de señal durante un tiempo de símbolo, se obtiene un “1”. Dado que cada símbolo corresponde a 32 ciclos de una portadora de 134,2 kHz, el tiempo de símbolo es igual a $234 \mu\text{s}$ como puede observarse en la Figura 31. Así, si se contabilizan más de $175,5 \mu\text{s}$ entre interrupciones (donde una interrupción es un cambio de estado en el pin 2 del microcontrolador) se declara la recepción de un “1”, y si se adquieren dos intervalos seguidos de menos de $175 \mu\text{s}$, se obtiene un “0”.

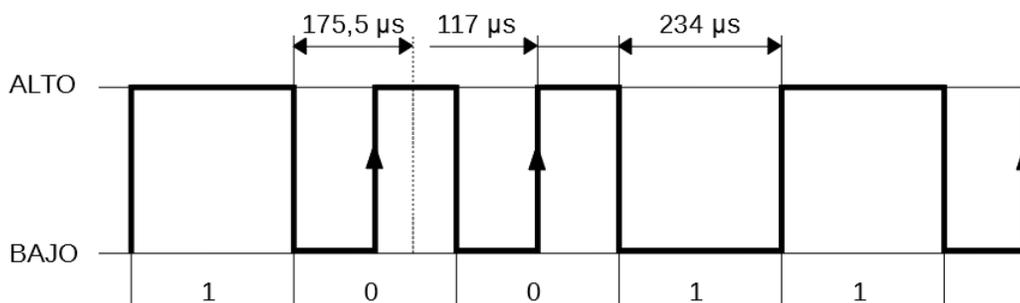


Figura 31: Señal bifase diferencial de 134,2 kHz.

El algoritmo de adquisición / decodificación responde a la siguiente secuencia:

1. Se habilita el circuito integrado EM4095 cambiando de alto a bajo la entrada SHD del dispositivo.
2. Se habilita la interrupción externa durante 512 cambios de estado de la señal (de esta manera se asegura que dentro de la trama adquirida se encuentre el telegrama según ISO 11785 completo).
3. Se cambia el estado de SHD del circuito integrado, deshabilitándolo.
4. Se deshabilita la interrupción externa.

5. Se identifica la cabecera, para poder extraer el telegrama ISO 11785 (figura 8)
6. Se corrobora la existencia de los bits “1” que anteceden a cada byte.
7. Se ejecuta la Verificación Cíclica de Errores (CRC) sobre el telegrama.
8. Si las comprobaciones fueron exitosas se convierten a base diez los códigos PAÍS e ID del telegrama de datos según ISO 11784 (Figura 7) obteniendo el número de 15 dígitos que representa la etiqueta leída.

Para la verificación cíclica de errores, el sistema utilizado por la etiqueta es CRC-16-CCITT [10] inverso, donde el polinomio generador es 0x8408 y el registro de inicio de CRC es 0x0000. El algoritmo utilizado toma los 8 bytes que conforman el telegrama 11784 y les agrega dos bytes 0x0000. A la trama resultante se la divide por el polinomio generador y si los datos son consistentes, el resto resultante de la división debe corresponder a los bytes CRC1 y CRC2 del telegrama 11785 (Figura 8) obtenido en la lectura.

Dado que el código ID está compuesto por 38 bits y el registro de mayor longitud que maneja el microcontrolador es de 32 bits, se utilizó el algoritmo *double dabble* [39] para la conversión de binario a decimal.

CENTENAS	DECENAS	UNIDADES	Binario a convertir
0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	1 1 0 1 0 0 1 1
0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 1	1 0 1 0 0 1 1 0
0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 1	0 1 0 0 1 1 0 0
0 0 0 0	0 0 0 0	0 1 1 0	1 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0	0 0 0 0	1 0 0 1	1 0 0 1 1 0 0 0
0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 1 1	0 0 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0	0 0 1 0	0 1 1 0	0 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0	0 0 1 0	1 0 0 1	0 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0	0 1 0 1	0 0 1 0	1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0	1 0 0 0	0 0 1 0	1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1	0 0 0 0	0 1 0 1	1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1	0 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0
2	1	1	

Como el valor es mayor que 4 le sumo 3 unidades.
 Desplazo hacia la izquierda en cada iteración, salvo en las que realizo sumas.

Figura 32: Ejemplo algoritmo Double Dabble.

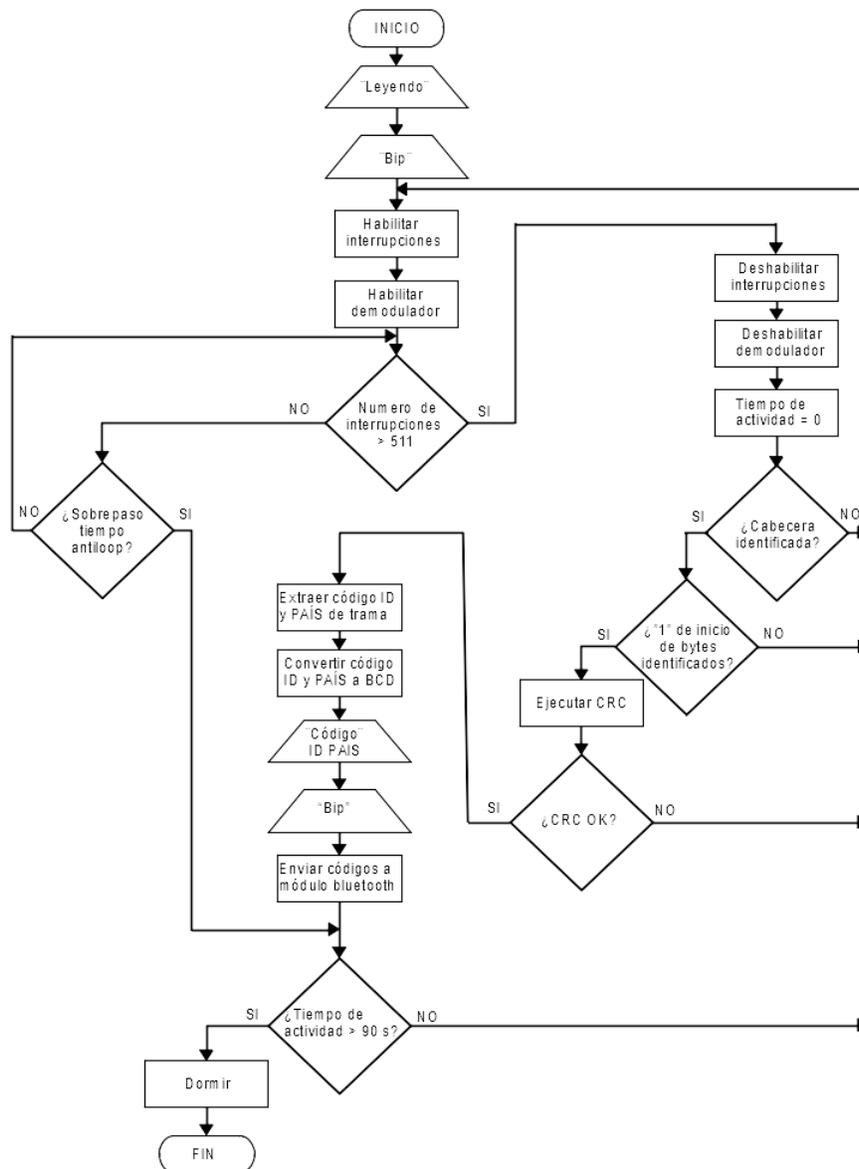


Figura 33: Diagrama de flujo del algoritmo del microcontrolador.

En la figura 32 podemos observar un ejemplo de la aplicación del mecanismo que utiliza el algoritmo *double dabble* para, en el caso del ejemplo, obtener la representación decimal del número binario “11010011”. En el procedimiento se toman grupos de cuatro dígitos nulos que representarán las unidades, decenas, centenas, etc, del número a convertir y se los acopla al número binario. En cada iteración se realiza un desplazamiento a la izquierda, salvo cuando se encuentre una unidad, centena, etc. que represente a un número mayor que 4, en ese caso a ese número en particular se le adicionan 3 unidades y se continúa iterando. Cuando se hayan realizado tantos desplazamientos como cantidad de dígitos compongan al número binario a convertir, los números binarios resultantes en los diferentes grupos se convierten a decimal representando las unidades, decenas, centenas, etc. del número buscado. En el particular caso del lector en diseño, para representar el número de 38 bits se precisan 12 cifras decimales, por lo tanto, el número de 38 bits es representado por una secuencia de 12 números decimales de 4 bits cada uno.

```

prueba134_3 Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
prueba134_3
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/power.h>
#include <SPI.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SD.h>
#include "USglib.h"
#define buzzer 8
#define SMD 3
#define D_OUT 2
USGlib_USD1306_US8(USG_I2C_OPT_DEV_0 | USG_I2C_OPT_NO_ACK | USG_I2C_OPT_FAST); //seleccion oled
SoftwareSerial mySerial(5, 6);
File logFile;
volatile unsigned long cuenta = 0;
volatile bool bits[256];
volatile bool ID[38];
volatile int i,l,r,s,n;
volatile int nlectura = 0;
unsigned int pais = 0;
String lectura;
String tag;

volatile unsigned int cuental = 0;

void setup()
{
  pinMode(7,OUTPUT);
}

Compilado
El Sketch usa 26142 bytes (85%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 30720 bytes.
Las variables Globales usan 1563 bytes (76%) de la memoria dinámica, dejando 485 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.
Poca memoria disponible, se pueden producir problemas de estabilidad.
Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) en COM7

```

Figura 34: interfaz de usuario del entorno de desarrollo integrado de Arduino.

Una vez obtenida la lectura exitosa de una etiqueta, el código resultante se imprime en pantalla y se envía, a través del puerto serie virtual, al módulo bluetooth HC-05 a la vez que se envía una señal al buzzer para que genere un pulso de sonido.

En la Figura 33 podemos observar el diagrama lógico en que se basa el al-

goritmo del firmware. El firmware se implementa con la ayuda del Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino. En este caso se utiliza la versión 1.8.12 [34] cuya interfaz de usuario puede apreciarse en la Figura 34.

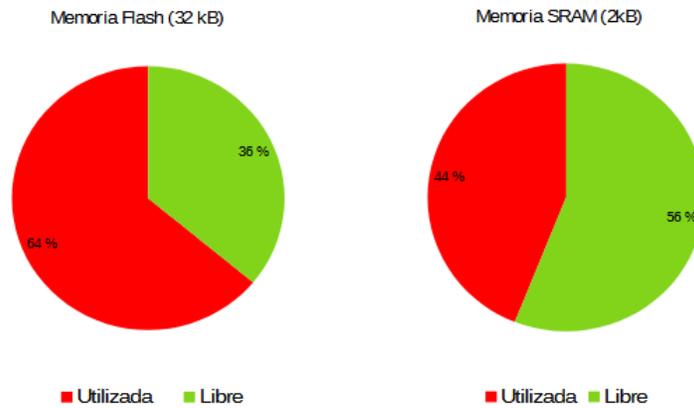


Figura 35: Utilización de la memoria del microcontrolador por parte del firmware.

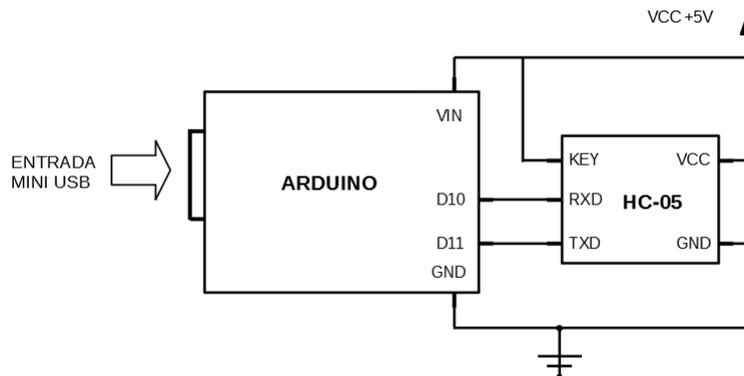


Figura 36: Conexión de Arduino para configurar el módulo bluetooth HC-05.

La placa de desarrollo Arduino NANO se comercializa con un bootloader en su memoria que facilita la carga de los programas a través de su terminal mini USB tipo B. Por la misma vía es posible establecer comunicación serie con el microcontrolador e interactuar con éste utilizando el monitor serie que provee el

IDE. Con estas facilidades se carga en la placa el programa desarrollado con el IDE cuyo diseño se basa según lo expuesto en la sección 4.1.6.

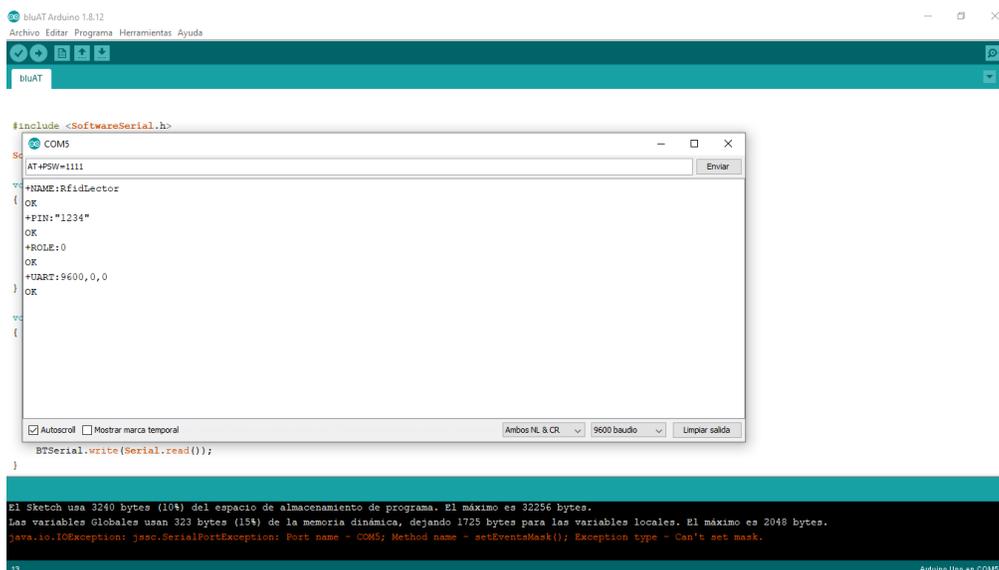


Figura 37: Comandos AT para configurar el módulo bluetooth HC-05.

Realizada la programación, 19,81 kB (64 %) de los 32 kB de memoria Flash que presenta el microcontrolador son ocupados. 905 B (44 %) de los 2048 B de la memoria SRAM (memoria estática de acceso aleatorio) son utilizadas por las variables globales del programa, dejando 1143 B de memoria dinámica libre (Figura 35).

Otro procedimiento a destacar que se puede catalogar como tratamiento de software, es la configuración del módulo bluetooth HC-05 que se realiza mediante comandos AT o comandos de Hayes [40]. Para ejecutar el procedimiento se hace uso de una placa de desarrollo Arduino conectada con el módulo HC-05 como se muestra en la Figura 36. Al iniciar el módulo HC-05 con el pin key en estado alto, este opera en modo de escucha de comandos AT.

Con una PC a través del puerto mini USB del Arduino se ingresan los comandos AT por medio del monitor serie integrado en el IDE de Arduino. El programa que se carga en el Arduino es simple y se ocupa de configurar la comunicación con el monitor serie del IDE a 9600 baudios, crea un puerto serie virtual con los pines D10 y D11 del Arduino a 38400 baudios (que es a la tasa de baudios con la que se comunica el HC-05 cuando entra en estado de escucha de comandos AT) y

hace de puente entre los dos puertos serie.

La secuencia de comandos AT que se ingresa para configurar el módulo bluetooth HC-05 se muestra en la Tabla 6. En la Figura 37 se pueden observar las respuestas que se presentan en el monitor serie del IDE de Arduino cuando se consulta al HC-05 con los comandos que figuran en las últimas cuatro filas de la Tabla 6.

Tabla 6: Comandos AT para la configuración del módulo HC-05

Comando	Acción	Respuesta
AT	Verifica que el módulo está escuchando en modo AT	OK
AT+NAME=RfidLector	Nombra al dispositivo con "RfidLector"	OK
AT+PSWD=1234	Establece como pin de apareo del HC-05 "1234"	OK
AT+ROLE=0	Configura al dispositivo como esclavo	OK
AT+UART=9600	Fija en 9600 baudios la tasa para la comunicación bluetooth	OK
AT+NAME?	Consulta el nombre del dispositivo	RfidLector
AT+PSWD?	Consulta el PIN de apareo del HC-05	1234
AT+ROLE?	Consulta si esta configurado como esclavo(0) o maestro(1)	0
AT+UART?	Consulta la configuración de tasa de baudios	9600

La transcripción del código instalado en el microcontrolador puede consultarse en el apéndice B.

4.1.7. Sistema de control de energía

En esta subsección se analizan las demandas de energía por parte del dispositivo y se propone una solución que se presenta en detalle.

4.1.7.1. Solicitaciones y propuesta

En pos de diseñar un artefacto portátil y que facilite su utilización segura frente animales, se propone el uso de un sistema de batería recargable.

El circuito integrado EM4095 que compone el sistema RFID demanda una alimentación nominal de 5 V al igual que el módulo Bluetooth, el microcontrolador y el buzzer.

Si bien el fabricante del circuito integrado EM4095 desalienta la utilización de elementos switching para la alimentación del mismo por las interferencias que estos generan, tomando como prioridad el costo y disponibilidad de la batería y la alta eficiencia de dispositivos switching, se propone alimentar el lector mediante una batería 18650 (como se detalla en la subsección 4.1.7.2) y un elevador de tensión switching para elevar los 3,7 V que aporta la batería a los 5 V que solicitan los sistemas.

En la Figura 38 puede observarse la estructura propuesta junto con los datos teóricos de potencia máxima y corriente que solicita cada componente. La Tabla 7 expresa los datos de corriente y potencia que los subsistemas solicitan. Los datos de corriente son los brindados por los fabricantes de cada componente y fueron comentados en secciones anteriores. En el caso del microcontrolador se expresa la corriente en funcionamiento totalmente activo y en modo de hibernación. La corriente de RFID es la máxima calculada en la subsección 4.1.2.1.

Tabla 7: Solicitaciones de corriente y potencia de subsistemas del lector.

Componente	I [mA]	V [V]	P[mW]
Display	12	5	60
Bluetooth	30	5	150
Microcontrolador	15 / 2	5	75 / 10
Buzzer	6	5	30
Leds	20	5	100
RFID	105,8	5	529

En la Tabla 8 se muestran los consumos de potencia de cada componente y del total en relación al modo de funcionamiento del lector. En el modo “Lectura”

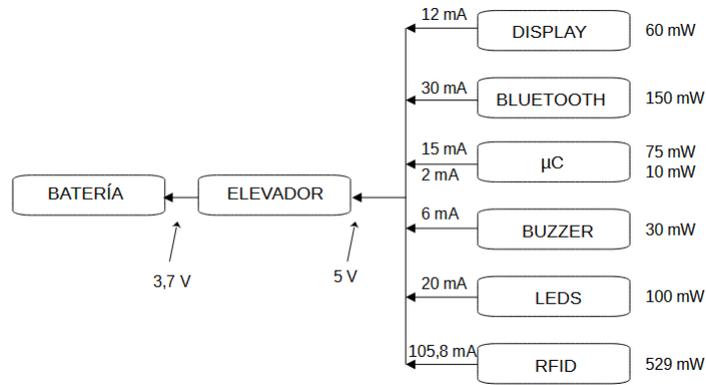


Figura 38: Componentes del lector que solicitan potencia de la batería.

el dispositivo se encuentra leyendo una etiqueta RFID. En el modo “Espera” el lector se encuentra activo pero no encuentra una etiqueta válida en su rango de lectura. En el modo “Hibernación” se des energizan todos los sistemas salvo el microcontrolador que entra en su propio estado de hibernación. En el cálculo de los totales se adiciona el consumo propio del elevador de tensión de acuerdo a su eficiencia teórica de 85 %.

Tabla 8: Solicitaciones de potencia de subsistemas del lector según el modo de operación.

Componente	Potencia [mW]		
	Lectura	Espera	Hibernación
Elevador	141,6	137,1	1,5
Display	60	60	0
Bluetooth	150	150	0
Microcontrolador	75	75	10
Buzzer	30	0	0
Leds	100	100	0
RFID	529	529	0
TOTAL	1085,6	1051,1	11,5

En la Figura 39 se muestran en gráficos, las relaciones de consumo de potencia entre los componentes del lector y según el modo de operación de este. Se observa que el subsistema RFID es el de mayor consumo en los modos “Lectura” y “Espera”

seguido por el subsistema Bluetooth. En el modo “Hibernación” las solicitudes de potencia provienen del microcontrolador y el elevador de tensión.

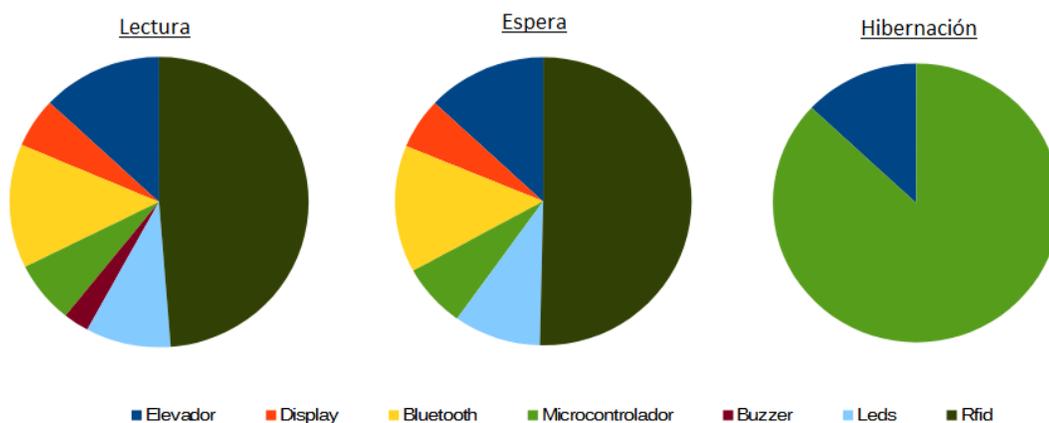


Figura 39: Relación teórica de potencia solicitada entre los componentes del lector.

En la Figura 40 se grafica la potencia total teórica solicitada por el dispositivo lector de acuerdo a su modo de operación. Se aprecia la significativa disminución de la solicitud de potencia en el estado “Hibernación” del dispositivo.

Tabla 9: Solicitaciones de corriente sobre la batería según el modo de operación del lector.

Corriente sobre la batería [mA]		
Lectura	Espera	Hibernación
293,24	284,08	3,11

En base a los datos de solicitud de potencia total según el modo de funcionamiento del lector expresados en la Tabla 8 y teniendo en cuenta que la batería entrega una tensión nominal de 3,7 V se calcula la corriente que se le exige a la batería según el modo de operación del lector. Los resultados se exponen en la Tabla 9.

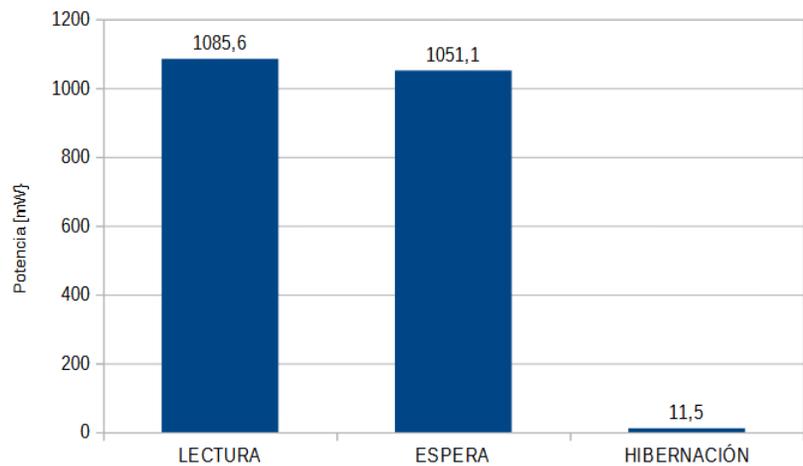


Figura 40: Solicitud teórica total de potencia según el modo de operación.

Por lo descrito en este apartado, la batería debe ser capaz de entregar 1,09 W de potencia lo que equivale a 293,24 mA con una tensión nominal de 3,7 V. Según la Tabla 8 el elevador de tensión debe ser capaz de entregar una potencia $1085,6 \text{ mW} - 141,6 \text{ mW} = 944 \text{ mW}$ que para una tensión de salida nominal de 5 V corresponde a una corriente de 188,8 mA.

4.1.7.2. Batería

Para el soporte de energía autónomo se selecciona una batería de Li-on tipo 18650.



Figura 41: Baterías Li-on 18650

Si bien existe una gran variedad de formas y tecnologías en baterías en el mercado, la batería elegida es de fácil adquisición y de precio relativamente bajo. Adicionalmente, este tipo de dispositivo presenta una relación tamaño-potencia adecuado para el presente diseño. Estas baterías operan en el rango de 3,6 V – 3,7 V y pueden adquirirse en capacidades de hasta 6000 mAh. Para este proyecto se utiliza una batería con una capacidad de 2200 mAh marca BAK modelo A03 [41] (Figura 41).

Teniendo en cuenta que la solicitud de corriente calculada en el momento de la lectura es de 293, 24 mA (Tabla 9) la batería de 2200 mAh presentaría una duración de 7, 5 horas en el caso hipotético y extremo de lecturas continuas.

4.1.7.3. Cargador

Para suplir la función de carga de batería en el prototipo se utiliza un módulo de carga para baterías tipo 18650 genérico de origen chino. El mismo se basa en el circuito integrado TP4056 [42] como regulador de carga, con corte automático e indicación lumínica de actividad. También contiene el circuito integrado DW01A que protege a la batería de sobrecargas, sobredescargas y sobrecorrientes. El módulo cargador posee un conector micro USB en su entrada para una alimentación de 5 V, corte automático en $4, 2 \pm 1 \%$ y permite una corriente máxima de carga de 1000 mA.

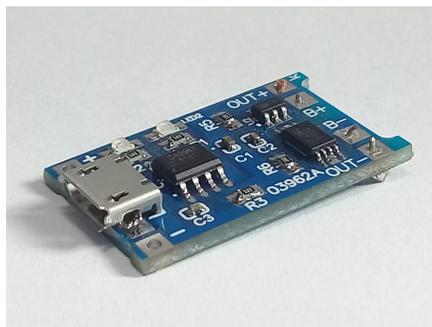


Figura 42: Módulo cargador de batería

En la Figura 43 se puede observar el diagrama electrónico del módulo cargador.

El circuito integrado TP4056 es un cargador lineal de corriente constante / voltaje constante para baterías de ion litio de celda única. Se puede configurar su funcionamiento con pocos componentes externos y junto a sus diminutas dimensiones de Empaquetado de Contorno Pequeño (SOP), es propicio para aplicaciones

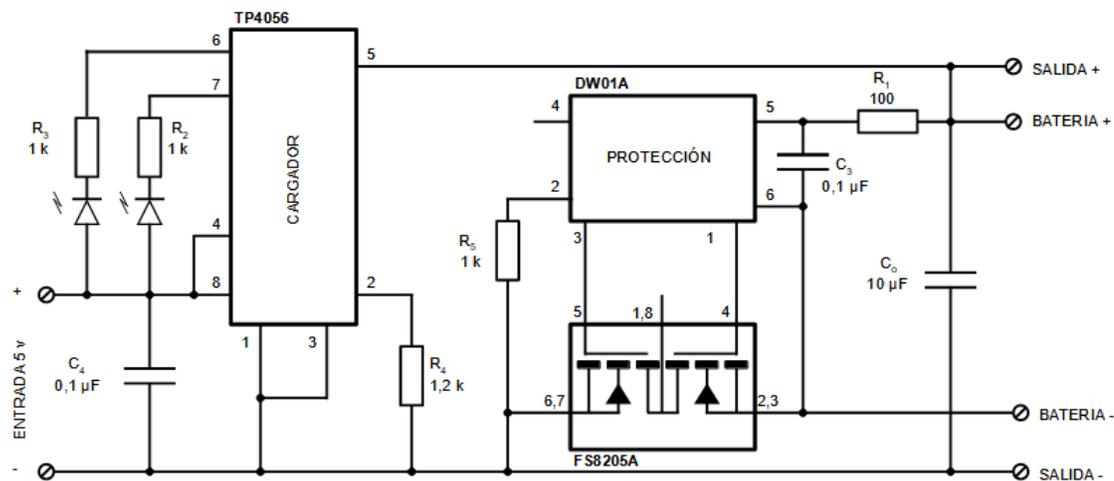


Figura 43: Diagrama módulo cargador de batería

portátiles. La retroalimentación térmica regula la corriente de carga para limitar la temperatura del sistema en operaciones de alta potencia o temperatura ambiente alta. El voltaje de carga se fija a 4,2 V, y la corriente de carga puede establecerse por medio de una resistencia externa. El ciclo de carga finaliza cuando la corriente de carga cae a 1/10 del valor programado después de alcanzar el voltaje de flotación final. El TP4056 también incluye bloqueo por bajo voltaje y dos pines de estado para indicar la terminación de la carga y la presencia de voltaje de entrada.

Las principales características del TP4056, son [42]:

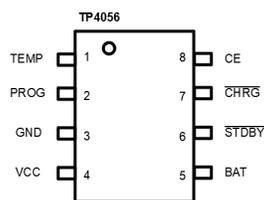


Figura 44: Encapsulado SOP-8 TP4056.

- Corriente de carga programable, por una resistencia externa, de hasta 1000 mA.
- Es un cargador lineal completo para baterías de ion-litio de celda única en un empaquetado SOP-8.

- Posee entrada USB.
- Voltaje tope de carga establecido en 4,2 V con 1,5 % de precisión.
- Cumple recarga automática.
- Posee dos pines de salida de estado de carga.
- Terminación de carga al décimo de la corriente programada luego de alcanzar el voltaje de flotación.
- Umbral de carga prefijado a 2,9 V.
- Variación suave de corriente en los límites de carga.
- Debido a su arquitectura interna Transistor de Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor (MOSFET), no requiere diodo de bloqueo.

En la figura 44 se indica la disposición de pines del encapsulado SOP-8 del TP4056. Las funciones de estos pines son [42]:

- TEMP (Pin 1): Entrada de detección de temperatura. Puede instalarse junto a la batería un termistor de Coeficiente Negativo de Temperatura (NTC) y conectarse a este pin. Si el voltaje del pin TEMP es inferior al 45 % o superior al 80 % del voltaje de alimentación VIN durante mas de 0,15 segundos, significa que la temperatura de la batería es demasiado alta o demasiado baja y la carga se suspende. La función detección de temperatura puede desactivarse conectando a tierra el pin TEMP.
- PROG (Pin 2): Configuración de corriente de carga constante y monitor de corriente de carga. La corriente de carga se establece conectando una determinada resistencia entre este pin y GND. Cuando está en modo de precarga el voltaje del pin se establece a 0,2 V. Cuando se encuentra en modo de corriente de carga constante el voltaje del pin se regula a 2 V. En cualquiera de los modos, el voltaje del pin puede utilizarse para medir la corriente de carga con la ecuación 19.
- GND (PIN 3): Terminal de tierra.
- Vcc (Pin 4): Voltaje positivo de alimentación VIN. Cuando VIN cae a menos de 30 mV del voltaje del pin BAT, el TP4056 ingresa al modo de reposo de baja potencia, bajando la corriente del pin BAT a menos de 2 μ A.

- BAT (Pin 5): Pin de conexión de la batería. A este terminal se conecta el terminal positivo de la batería. El pin BAT consume menos de $2 \mu\text{A}$ de corriente en modo de suspensión o deshabilitación del chip. El pin BAT proporciona corriente de carga a la batería y un voltaje regulado de $4,2 \text{ V}$.
- \overline{STDBY} (Pin 6): Salida de estado de carga. Cuando se completa la carga de la batería este pin presenta un estado bajo, de lo contrario presenta alta impedancia.
- \overline{CHRG} (Pin 7): Salida de estado de carga. Cuando la batería se encuentra cargando, el pin presenta un estado bajo, de lo contrario presenta alta impedancia.
- CE (Pin 8): Entrada de habilitación de chip. Una entrada alta en este pin colocará al circuito integrado en modo de funcionamiento normal. Un estado bajo en este pin deshabilitará el funcionamiento del chip. El pin CE puede ser controlado por niveles lógicos TTL o CMOS.

$$I_{\text{BAT}} = 1200 \frac{V_{\text{PROG}}}{R_{\text{PROG}}} [A] \quad (19)$$

El circuito integrado DW01A [43] es un dispositivo que protege a una batería de celda única de ion litio contra sobrecargas, sobredescargas, sobrecorrientes y cortocircuito, resguardando la vida útil y la integridad de la batería y el circuito. El reducido tamaño del integrado y el reducido número de componentes externos para su configuración lo hacen indicado para ser utilizado en dispositivos portátiles. Posee una detección de sobrecarga de $\pm 50 \text{ mV}$ y un bajo consumo de corriente desde la batería mientras la celda está cargada. Este circuito integrado actúa comandando dos transistores MOSFET que habilitan o no la carga y descarga de la batería, como se puede apreciar en la Figura 46 de aplicación típica .

Las funciones del DW01A son [43]:

1. Operación normal: Si V_{CC} se encuentra entre el voltaje de protección contra sobredescarga (VODP) y el voltaje de protección contra sobrecarga (VOCP) y V_{CS} se encuentra entre el voltaje de estado alto del pin OD ($V_{\text{CH}} = V_{\text{CC}} - 0,02 \text{ V}$) y el voltaje de protección de sobrecorriente ($V_{\text{OI1}} = 150 \text{ mV}$), los transistores MOSFET se encuentran activados y permiten los procesos normales de carga y descarga.

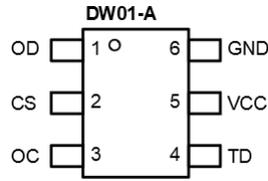


Figura 45: Pin out DW01-A

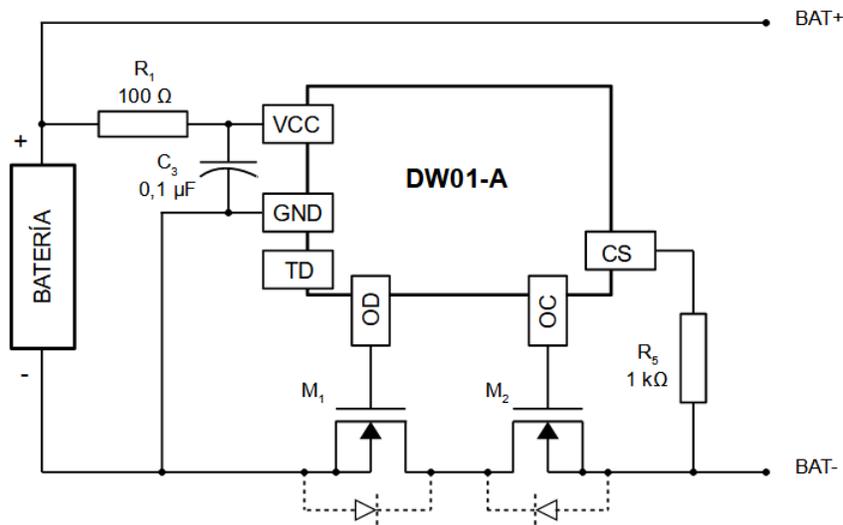


Figura 46: Aplicación típica del CI DW01-A

2. Protección contra sobrecarga: Cuando el voltaje de la celda de la batería excede el voltaje de protección contra sobrecarga ($VOCP = 4,30 \text{ V}$) más allá del periodo de tiempo de retraso de sobrecarga ($TOC = 80 \text{ ms}$), la carga se inhibe al apagar el transistor de control de carga. La condición de sobrecarga se libera en dos condiciones: 1) El voltaje de la celda de la batería se torna más bajo que el voltaje de liberación de sobrecarga ($VOCR = 4,10 \text{ V}$) a través de la autodescarga. 2) El voltaje de la celda de la batería cae por debajo de $VOCP$ y el circuito se conecta a una carga.
3. Protección contra sobredescarga: Cuando el voltaje de la celda de la batería cae por debajo del voltaje de protección contra sobredescarga ($VODP = 2,40 \text{ V}$) más allá del periodo de tiempo de retraso de sobredescarga ($TOD =$

10 ms), la descarga se inhibe apagando el transistor de control de descarga. La inhibición de la descarga se libera inmediatamente cuando el voltaje de la celda de la batería sobrepasa el valor de voltaje de liberación de sobrecarga ($VODR = 3,00\text{ V}$).

4. Protección contra sobrecorriente: En modo normal, el integrado monitorea continuamente la corriente de descarga por medio del voltaje en el pin CS. Si dicho voltaje sobrepasa el de protección por sobrecorriente ($VOIP = 150\text{ mV}$) más allá del periodo de tiempo de retardo de sobrecorriente ($TOI1 = 10\text{ ms}$), el circuito de protección por sobrecorriente funciona y la descarga se inhibe al apagar el transistor de control de descarga. La condición de sobrecorriente vuelve al estado normal cuando se libera la carga o la impedancia entre BATT+ y BATT- es superior a $500\text{ k}\Omega$. El DW01-A proporciona dos niveles de detección de sobrecorriente ($0,15\text{ V}$ y $1,35\text{ V}$) con dos tiempos de retardo de sobrecorriente ($TOI1 = 10\text{ ms}$ y $TOI2 = 5\text{ ms}$) correspondientes a cada nivel de detección de sobrecorriente.
5. Detección de carga luego de una descarga excesiva: Cuando se produce una descarga excesiva, el transistor MOSFET se apaga y la descarga se interrumpe, sin embargo la carga puede realizarse a través del diodo parásito del MOSFET. Una vez que el cargador está conectado a la batería, el DW01-A enciende inmediatamente todos los circuitos de generación y detección de temporización. El progreso de carga se detecta si el voltaje entre el pin CS y GND está por debajo del voltaje de umbral de detección de carga ($VCH = VCC - 0,02\text{V}$).

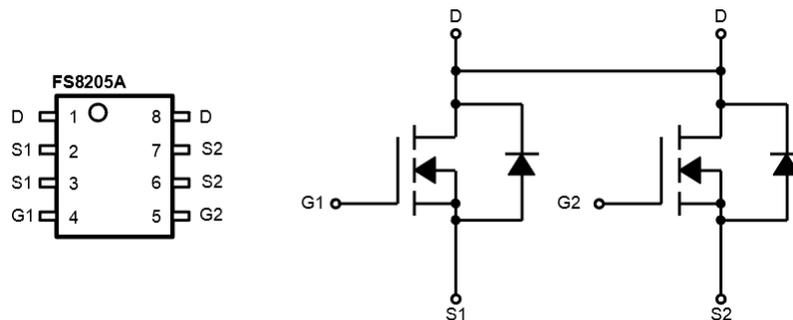


Figura 47: Pin out y circuito interno del CI FS8205A.

El circuito integrado FS8205A [44] consta de dos transistores como puede verse en la Figura 47. Estos transistores son MOSFET canal N de drenaje común, con una capacidad de tensión máxima entre drenaje y fuente (V_{DSS}) de 20 V, una resistencia entre drenaje y fuente en modo encendido de $R_{DS(on)} = 0,027 \Omega$ y una corriente máxima de drenaje (I_D) de 6 A en un encapsulado TSSOP.

Teniendo en cuenta la resistencia entre drenaje y fuente en modo encendido $R_{DS(on)} = 0,027 \Omega$ del circuito integrado FS8205A, se pueden calcular los parámetros de protección contra sobrecorriente en los que actúa el dispositivo DW01-A en el circuito de la Figura 46: 2,27 A en 10 *micro*ms y 25 A en 5 ms.

4.1.7.4. Elevador de tensión

Al utilizar en el diseño una única batería 18650, se cuenta con un aporte de tensión nominal de 3,7 V. Los módulos periféricos utilizados requieren una tensión de 5 V. Este mismo nivel de tensión es útil para alimentar el subsistema RFID. Por lo tanto, es necesario aumentar la tensión aportada por la batería por medio de un circuito elevador de tensión. Para el prototipo se seleccionó un módulo Booster de origen chino de marca MH (Figura 48) que, según datos del fabricante, admite una entrada de entre 0,9 V y 5 V, aportando una salida regulada de 5 V con una corriente de hasta 600 mA. El rango de temperatura de trabajo es de -40°C a 85°C y su nivel de eficiencia es alto, comprendido en un rango del 85 % al 96 % [45].

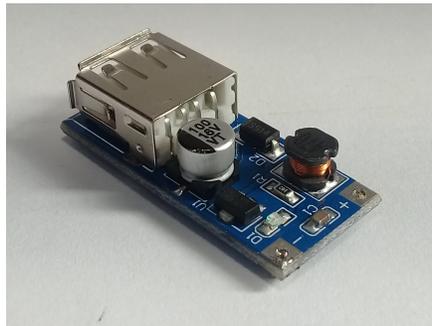


Figura 48: Módulo booster

El módulo boost se basa en el circuito integrado A7530 del fabricante AiT Semiconductor [46], un inductor de $47 \mu\text{H}$, un diodo Schottky SS14, un capacitor de 100 nF en la entrada y un capacitor de tantalio de $100 \mu\text{F}$ 16 V a la salida, además de un conjunto de diodos emisores de luz testigo y resistencia, como se puede ver en la Figura 49.

La Figura 50 presenta el pin out del integrado en su empaquetado SOT-89-3.

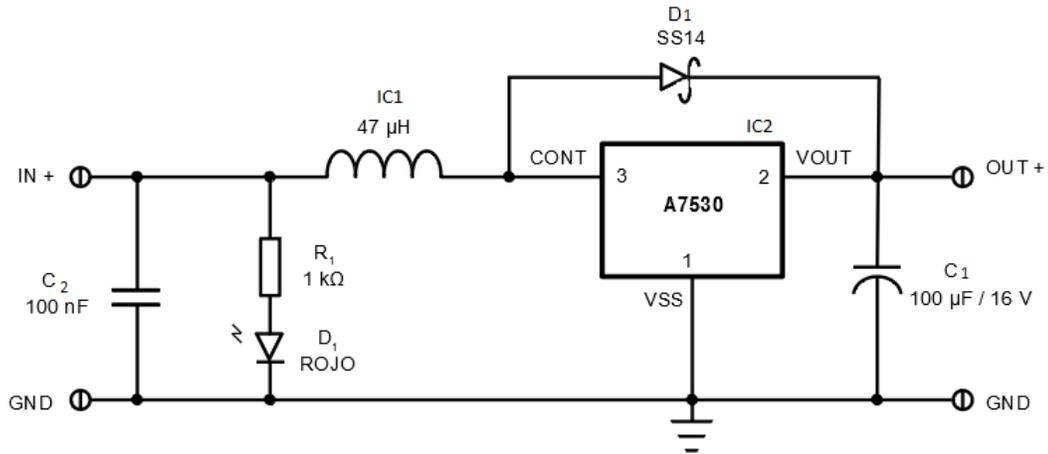


Figura 49: Diagrama módulo booster

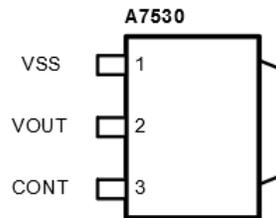


Figura 50: Pin out A7530

El funcionamiento del A7530 se basa en la técnica de modulación por frecuencia de pulso (PFM) en la que la magnitud de la señal analógica resultante se logra al variar la tasa de repetición de un tren de pulsos de duración fija. La arquitectura dentro del integrado utiliza un reloj de frecuencia variable para accionar interruptores de potencia y así transferir la potencia de entrada a la salida. La energía acumulada en la bobina permite obtener la tensión necesaria para generar la señal deseada a la salida.

4.1.8. Prototipo

Con foco en la implementación del demodulador y en base al diseño expresado en la Figura 25, se construye un circuito de prueba sobre un protoboard que se muestra en la Figura 51.

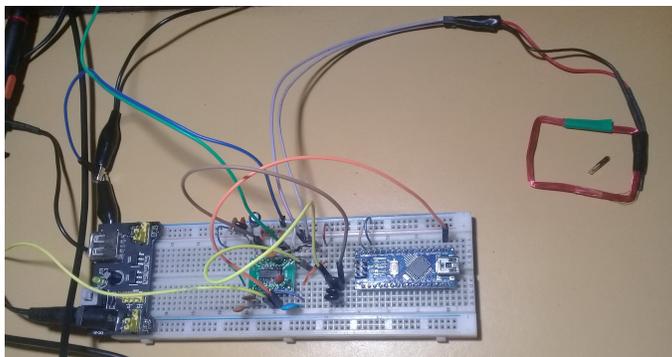


Figura 51: Implementación del demodulador sobre protoboard.

Por medio de un osciloscopio digital modelo UTD2052CEX del fabricante UNI-T se obtiene la señal de tensión sobre la antena (Figura 52), la señal de entrada DEMOD_IN (Figura 53) y la señal del terminal DEMOD_OUT (Figura 54) del circuito integrado EM4095 cuya salida contiene el telegrama ISO 11785 FDX-B modulado en bifase diferencial propio de la etiqueta leída.

En la Figura 51 se observa que en el centro del protoboard se encuentra la implementación del demodulador utilizando el circuito integrado EM4095, en un extremo se divide un módulo regulador lineal de tensión y en el extremo opuesto un Arduino NANO al que se instala un programa simple destinado a cambiar de estado alto a bajo el terminal SDH del EM4095, procedimiento necesario para que el circuito integrado entre en operación normal. Se utiliza un adaptador SOP 16 / SOIC 16 para manipular el circuito integrado. Al construir el demodulador con los valores de diseño se obtiene en la salida RDY/CLK una señal con una frecuencia de 138,52 kHz.

En la Tabla 10 se observan los valores medidos de la frecuencia en que resuena la antena, el valor de tensión pico sobre la antena y el valor de tensión pico a pico en la entrada del demodulador. Estas mediciones se comparan con los valores obtenidos en el diseño. La frecuencia de resonancia obtenida se encuentra dentro del rango calculado y recomendada por el fabricante del circuito integrado EM4095. Los valores de tensión pico sobre la antena y tensión pico a pico en la entrada

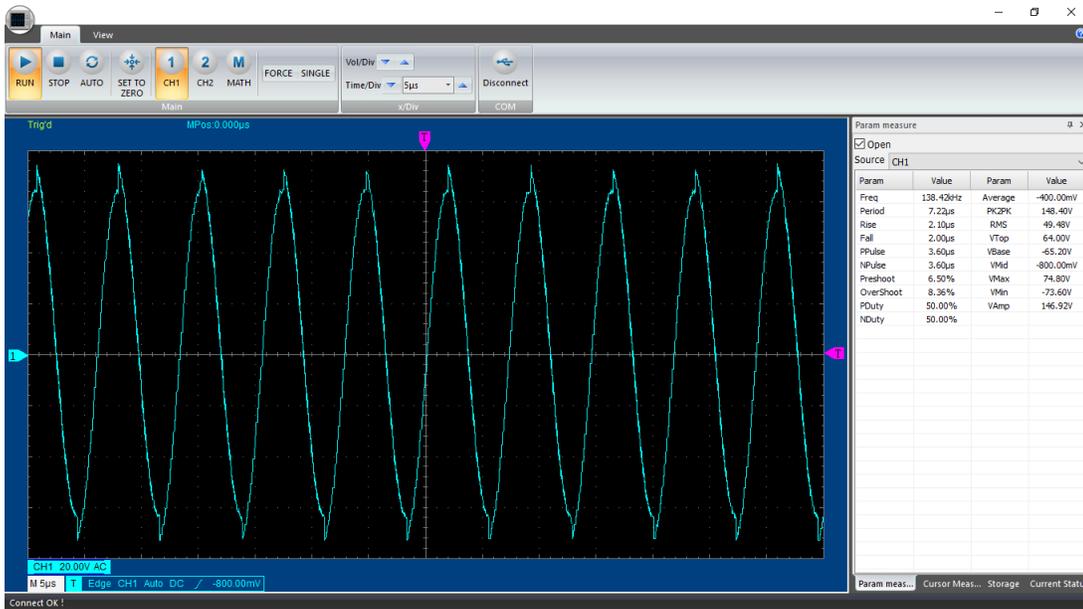


Figura 52: Medición de la señal existente en la antena del prototipo.

del demodulador se encuentran por debajo de los valores máximos calculados en la sección 4.1.2.1. En base a estas comparaciones y a la forma de onda obtenida en DEMOD_OUT (Figura 54) en el momento de una lectura, se concluye que, en primera instancia, el comportamiento del prototipo del demodulador es correcto.

Tabla 10: Parámetros medidos sobre el prototipo del sistema RFID.

Parámetro	Medido	Calculado
f_0	138,52 kHz	133.51 kHz
$V_{ANT}(\text{Pico})$	74,2 V	82,9 V
$V_{DEMOD_IN}(\text{Pico a pico})$	3,30 V	3,57 V

En la Tabla 10 puede verse que existe una diferencia apreciable entre el valor obtenido por la medición y el calculado. La diferencia se atribuye a las tolerancias que en sus valores manejan los componentes comerciales: condensadores y antena. Prestando especial atención a los cálculos de la sintonía de frecuencia y teniendo en cuenta parámetros de componentes reales se adoptan condensadores comerciales con tolerancias del 5 % en sus valores de capacidad para C_{DV1} , C_{DV2} y C_{SER} . Teniendo en cuenta las cotas de posibles valores de los capacitores y el ran-

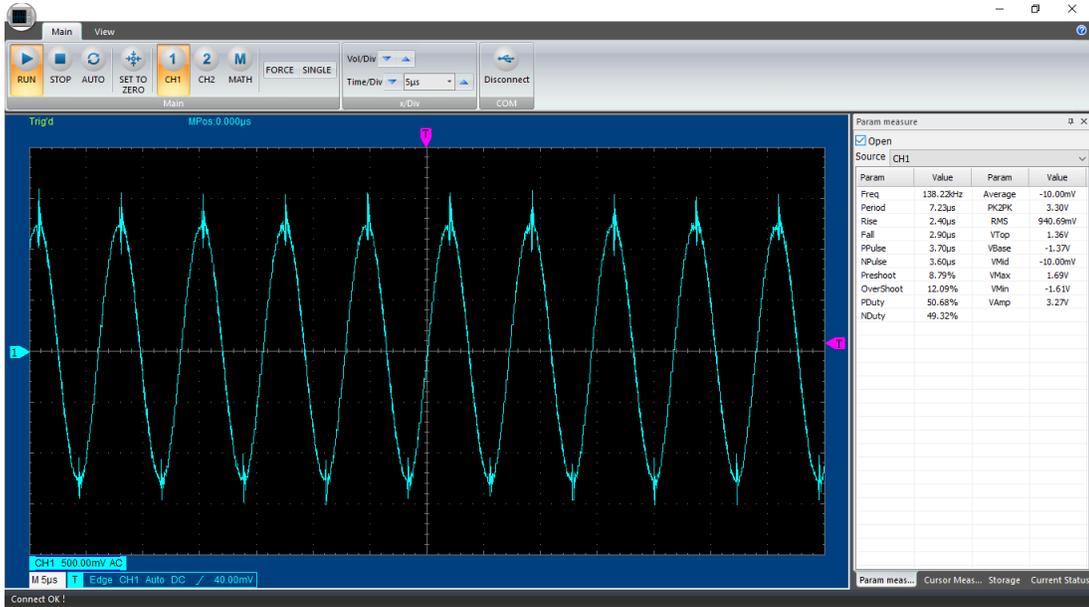


Figura 53: Medición de la señal existente en la entrada DEMOD_IN de CI. 4095 del prototipo.

go de frecuencia óptimo sugerido por el fabricante del circuito integrado EM4095 se obtienen los valores extremos de inductancia de la antena que aseguran una frecuencia de resonancia apropiada para el correcto funcionamiento del circuito.

Según la ecuación 3 de la sección 4.1.2.1 que se copia en la ecuación 20, con los valores extremos superiores de C_{SER} , C_{DV1} y C_{DV2} obtenemos el valor extremo superior de C_0 que es de 3,4865 nF. Con el mismo razonamiento se obtiene el valor extremo inferior de C_0 que corresponde a 3,0345 nF. El valor de frecuencia de resonancia aconsejada por el fabricante del circuito integrado EM4095 es de $134,2 \pm 5$ kHz en el caso del presente proyecto. De la ecuación 2 en la sección 4.1.2.1, que se replica en la ecuación 21 se obtiene la ecuación 22.

$$C_0 = C_{SER} + \frac{C_{DV1} \cdot C_{DV2}}{C_{DV1} + C_{DV2}} \quad (20)$$

$$C_0 = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L_A} \quad (21)$$

$$L_A = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_0} \quad (22)$$

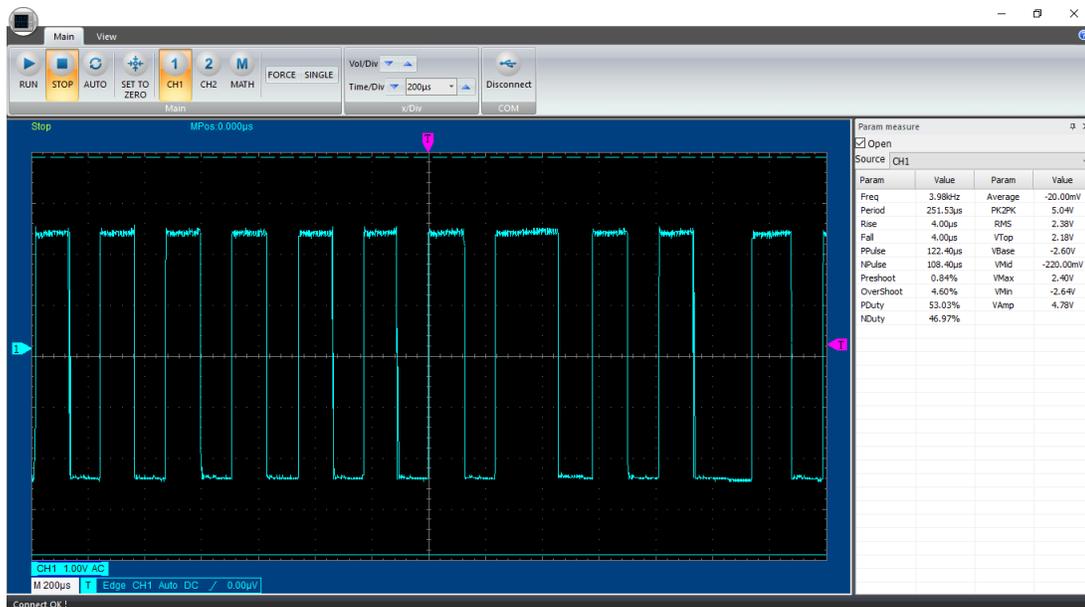


Figura 54: Medición de la señal existente en la salida DEMOD_OUT de CI. 4095 del prototipo durante la lectura de una etiqueta.

Utilizando la menor frecuencia de resonancia y el mayor valor de C_0 en la ecuación 22 se obtiene la cota superior para el valor de la inductancia de la antena que es de $435,2 \mu\text{H}$. Análogamente, con el mayor valor de frecuencia y el menor valor de C_0 se obtiene la cota inferior para la inductancia de la antena que resulta en $430,8 \mu\text{H}$.

En conclusión, para valores de $C_{\text{SER}} = 3,3 \text{ nF}$, $C_{\text{DV1}} = 22 \text{ pF}$, $C_{\text{DV2}} = 1 \text{ nF}$, todos con tolerancias de 5% y con un valor de inductancia de la antena que se encuentre entre $431 \mu\text{H}$ y $435 \mu\text{H}$ obtenemos un valor de frecuencia de resonancia apropiado para la lectura de etiquetas de $134,2 \text{ kHz}$.

Una vez obtenido un comportamiento satisfactorio en el circuito de prueba del demodulador, se construye un módulo demodulador para que forme parte del prototipo del lector. Este módulo puede verse en la Figura 55 y presenta como conectores los de la antena, los de alimentación y los destinados a la comunicación con el microcontrolador SHD y DEMOD_OUT.

En la Figura 56 se puede observar la implementación interior y posterior del lector. En él se encuentran la batería 18650, el módulo cargador, el módulo elevador, un pequeño módulo que contiene el buzzer y el transistor BC337 (que maneja

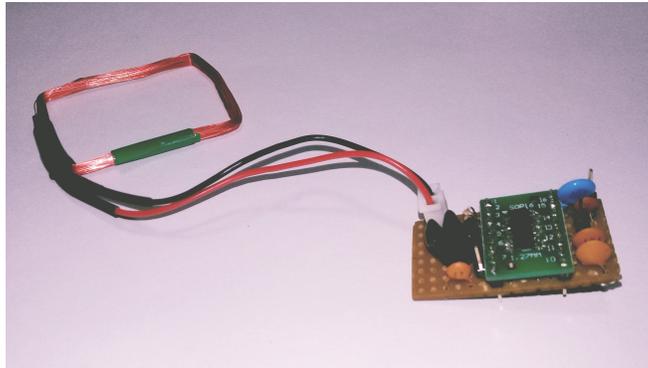


Figura 55: Implementación módulo demodulador.

el suministro de potencia a los periféricos) y un módulo lector de tarjetas de memoria micro SD que si bien no se tuvo en cuenta en el diseño, se le dió lugar en el prototipo pensando en una funcionalidad futura. Separan los componentes una pieza diseñada en SolidWorks e impresa en ácido poliláctico (PLA).

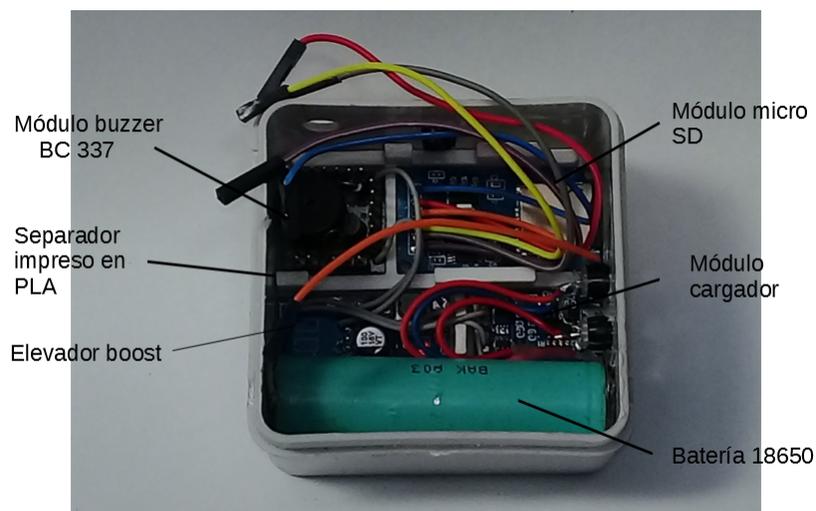


Figura 56: Vista interna posterior del prototipo.

En la Figura 57 puede verse, en el interior del prototipo, una tapa intermedia impresa en PLA que cubre los módulos de la parte posterior y la batería. Sobre esta tapa se instalan el módulo demodulador, el módulo bluetooth y la placa de desarrollo Arduino NANO, como puede verse en la Figura 58.

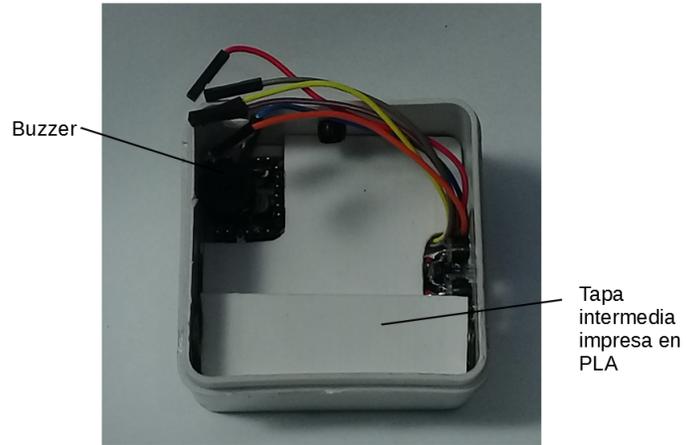


Figura 57: Vista interna intermedia del prototipo.

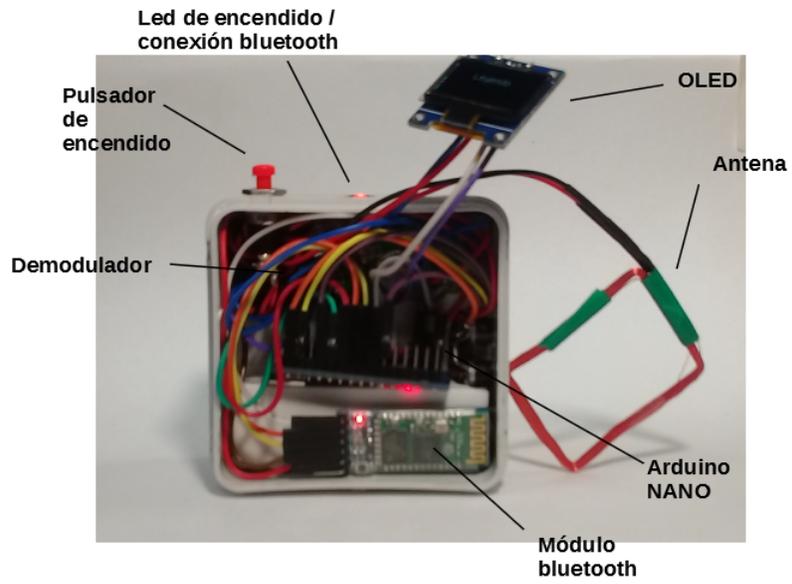


Figura 58: Vista interna superior del prototipo.

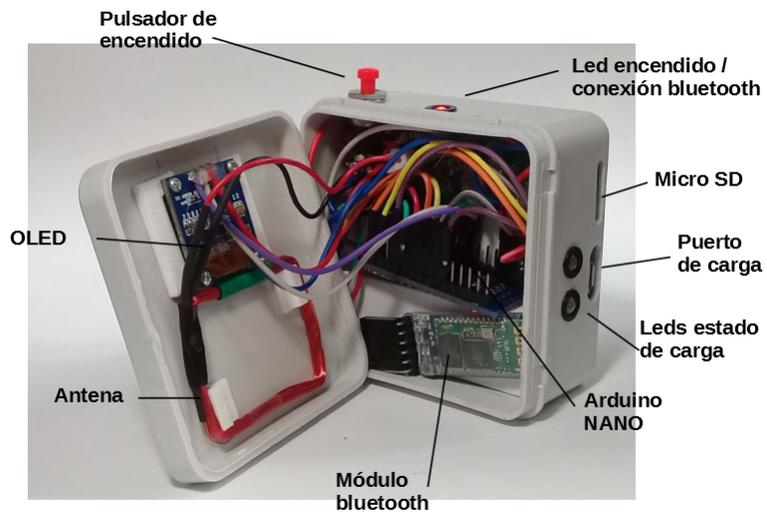


Figura 59: Vista interna del prototipo.



Figura 60: Prototipo.

En la Figura 59 se expone el prototipo con la tapa exterior que aloja a la antena y el display OLED. Por último, la Figura 60 presenta la vista del prototipo cerrado y en funcionamiento.

4.1.8.1. Análisis y filtrado de la señal de salida del elevador de tensión

Una vez ensamblado el equipo con la batería y el elevador boost, durante las primeras pruebas se observó que no se obtenían las lecturas de las etiquetas. Recordando las advertencias del fabricante del circuito integrado EM4095 sobre las interferencias que las fuentes conmutadas pueden inyectar en la línea de alimentación del circuito integrado, se realizó una medición con osciloscopio de la misma obteniéndose la Figura 61.

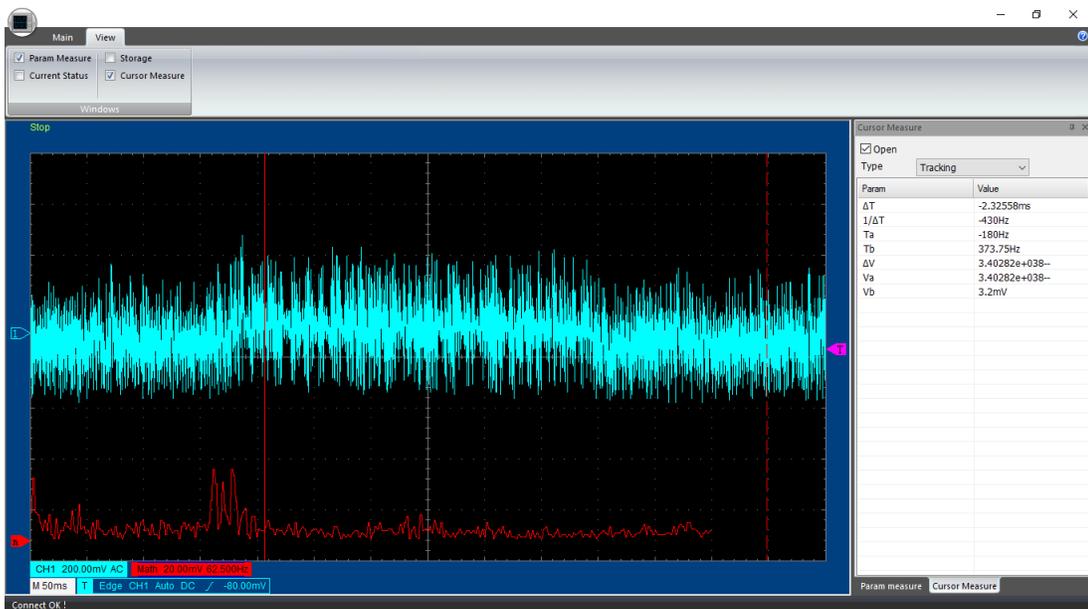


Figura 61: Medición de línea de alimentación sin filtrar. Señal celeste: tensión de línea. Señal roja: transformada rápida de Fourier

En la Figura 61 se observa la presencia de perturbaciones en la línea de alimentación del circuito integrado EM4095. Al realizar un análisis frecuencial, que se puede ver en la misma imagen, por medio de la herramienta de transformada rápida de Fourier integrada en el osciloscopio se observa que la menor frecuencia de potencia visiblemente influyente corresponde a alrededor de 200 Hz.

Si se modela la carga de la línea como resistiva pura, conociendo la corriente requerida, la tensión de alimentación y la frecuencia mínima a filtrar se calcula el valor del capacitor necesario para implementar un simple filtro pasa bajos de primer orden (ecuacion 23).

$$C_f = \frac{I}{2\pi U f_c} = 22,3 \mu F \quad (23)$$

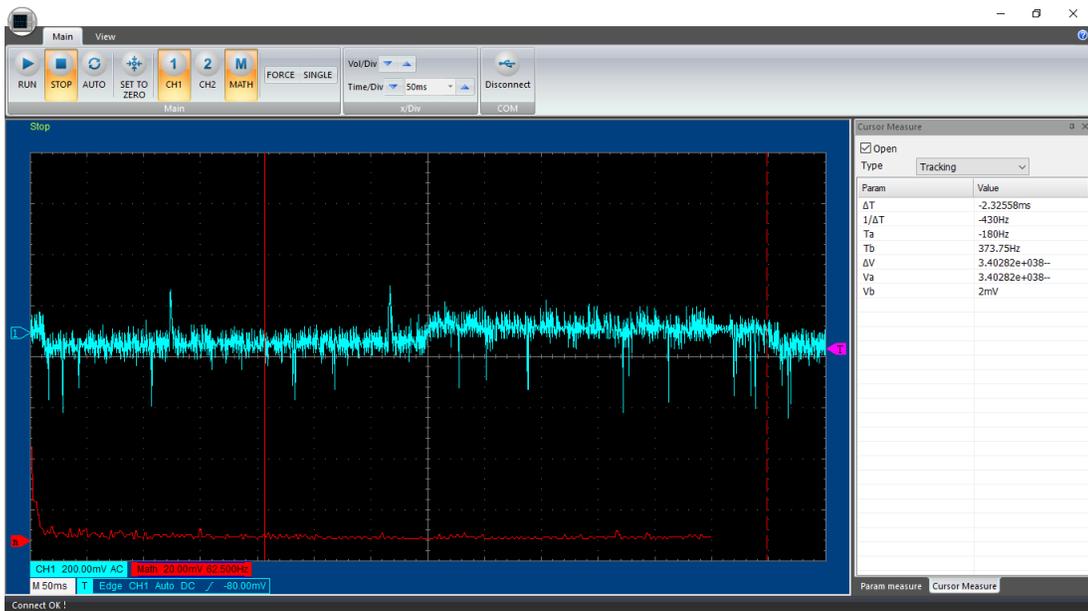


Figura 62: Medición de línea de alimentación con filtro 25 μF . Señal celeste: tensión de línea. Señal roja: transformada rápida de Fourier.

En la ecuación 23 I corresponde a la corriente solicitada por el circuito, U a la tensión de alimentación, y f_c a la frecuencia de corte deseada del filtro. Estos parámetros se configuraron en 0,188 A, 5 V y 180 Hz de acuerdo a los valores de diseño de la sección 4.1.7.1 y al análisis de Fourier de la Figura 61. Según la ecuación se obtiene un valor de 22,3 μF para el filtro que se coloca en paralelo al demodulador sobre la línea de alimentación. Se utiliza un capacitor de 25 μF con el que se obtiene la señal que se muestra en la figura 62. Al reducir de esta manera las perturbaciones, se observó que el lector podía tomar lecturas correctas de las etiquetas.

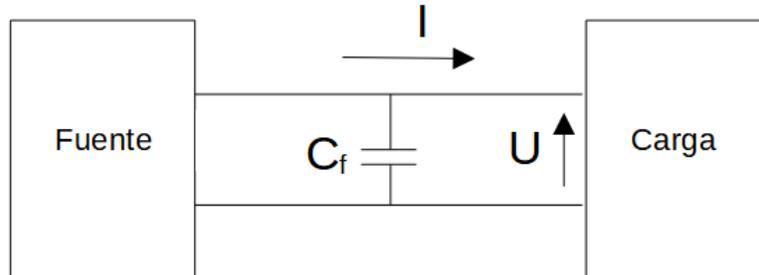


Figura 63: Disposición de filtro de línea

Experimentalmente se observa que aumentando el valor de capacidad del filtro el lector produce lecturas de etiquetas a mayor velocidad y distancia. Aumentando progresivamente los valores de capacidad del filtro deja de observarse mejoras en la lectura por arriba de los $1000 \mu\text{F}$. Se concluye que al filtrar perturbaciones de menor frecuencia que las acusadas por el análisis del osciloscopio, el comportamiento del lector mejora notablemente. Según el modelo adoptado y la ecuación 24 el filtro recorta componentes de frecuencias por encima de los $7,8 \text{ Hz}$.

$$f_c = \frac{I}{2\pi UC_f} = 7,8 \text{ Hz} \quad (24)$$

Se decide adoptar para el diseño un capacitor de $1000 \mu\text{F}$ como filtro de línea de alimentación denotado en adelante como C_f .

Adicionalmente y atento a las recomendaciones de fabricante del circuito integrado EM4095 se coloca una lámina metálica conectada a masa cubriendo el elevador boost con el objeto de acotar la dispersión de perturbaciones de radiofrecuencia emitidas por este dispositivo.

4.1.8.2. Análisis de consumo

En esta subsección se realiza un análisis de los parámetros medidos relacionados al consumo de energía de los diferentes subsistemas que componen el lector.

En la Tabla 11 figuran los valores de tensión y corriente de alimentación de los diferentes componentes del prototipo del lector junto con el resultado del cálculo de potencia requerida en base a las mediciones. Los parámetros de tensión se re-

gistran con un multímetro digital del fabricante UNI-T modelo UT202 [47]. Los mediciones de corriente se realizan utilizando un multímetro marca MASTECH modelo MAS838 [48].

Tabla 11: Parámetros medidos sobre los componentes del prototipo

Componente	V [V]	I [mA]	P [mW]
Display	$4,95 \pm 0,05$	$1,812 \pm 0,019$	$8,96 \pm 0,18$
Bluetooth	$4,90 \pm 0,05$	$32,8 \pm 1$	$160,72 \pm 6,54$
Buzzer	$4,90 \pm 0,05$	$2,27 \pm 0,04$	$11,12 \pm 0,31$
Microcontrolador	$4,94 \pm 0,05$	$15,23 \pm 0,17$	$75,23 \pm 1,60$
Leds	$4,91 \pm 0,05$	$17,22 \pm 0,19$	$84,55 \pm 1,79$
RFID	$4,93 \pm 0,05$	$89,6 \pm 1,8$	$441,73 \pm 13,35$
Total (sumatoria)			$782,31 \pm 23,77$

En la Tabla 12 se contrastan los valores de solicitud de potencia de los componentes del lector, calculado en base a mediciones, con los utilizados en la sección 4.1.7.1 para el diseño teórico.

Tabla 12: Comparación de potencias solicitadas por los componentes del lector calculadas y medidas

Componente	P teórica [mW]	P medida [mW]
Display	60	$8,96 \pm 0,18$
Bluetooth	150	$160,72 \pm 6,54$
Buzzer	30	$11,12 \pm 0,31$
Microcontrolador	75	$75,23 \pm 1,60$
Leds	100	$84,55 \pm 1,79$
RFID	529	$441,73 \pm 13,35$

En el gráfico de la Figura 64 se representan los datos de la Tabla 12. Se observa que los datos de potencia medidos no exceden a los calculados con excepción del microcontrolador por $0,23 \pm 1,60$ mW y el sistema Bluetooth por $10,72 \pm 6,54$ mW. Los datos otorgados por el fabricante sobre el consumo teórico del módulo bluetooth se replicaron en la sección 4.1.3 y se refieren a un consumo típico de operación, si bien no se informa una cota de consumo máximo, se adopta que la diferencia de un 6% obtenida en la medición se encuentra dentro de parámetros normales de operación. Una consideración análoga se contempla con respecto al microcontrolador.

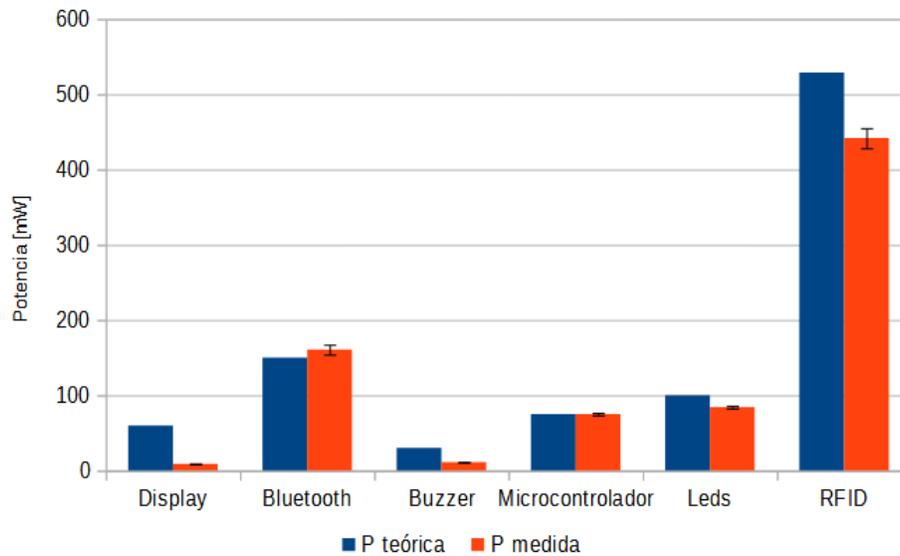


Figura 64: Comparación entre potencias teóricas y medidas en el prototipo de los componentes del lector.

Se observa que los subsistemas Display, Buzzer, Leds y RFID presentan una solicitud de potencia menor a la contemplada teóricamente. Teniendo en cuenta que la información de los consumos aportados por los fabricantes, salvo a aclaración, se refiere a típicos, las diferencias que se observan en el gráfico de la Figura 64 en los sistemas Buzzer y Leds se consideran dentro del funcionamiento normal del dispositivo y adjudicadas a influencias ambientales o diferencias constructivas de cada dispositivo en particular. La apreciable diferencia de consumo en el subsistema Display se atribuye a la escasa utilización de píxeles por la aplicación en comparación con la que el dispositivo ofrece. La mayor diferencia entre consumos de potencia calculados y medidos lo presenta el subsistema RFID. El fabricante del circuito integrado EM4095 informa que la resistencia de su controlador de antena se puede encontrar en el rango de 3Ω a 9Ω , los posibles valores para este parámetro generan diferentes valores de corriente sobre la antena y, por lo tanto, de consumo de potencia del dispositivo. Para el diseño se consideró el menor valor de resistencia para el controlador de antena en el cálculo de la corriente pico de antena (ecuación 7) y el mayor valor para calcular la potencia solicitada con el objeto de obtener una cota superior sobre el consumo posible (Ecuación 17). Poniendo foco en las mediciones obtenidas sobre el prototipo, dejando de lado los

errores de medición y tolerancia de los componentes, para simplificar, mediante la ecuación 25 proveniente de la ecuación 17 podemos estimar el valor de resistencia del controlador de antena que presenta el circuito integrado EM4095 que se utiliza en particular.

$$R_{AD} = \frac{P - I_{OMAX}(V_{DD} - V_{SS})}{2I_{ANT}^2(RMS)} = 8,57 \Omega \quad (25)$$

$$I_{ANT}(RMS) = \frac{V_{ANT}(pico)2\pi f_0 C_{RES}}{\sqrt{2}} = 151 mA \quad (26)$$

La ecuación 25 arroja un valor de resistencia de controlador que se encuentra en el rango informado por el fabricante del circuito integrado EM4095. En la ecuación P es la potencia de funcionamiento del subsistema RFID del prototipo reflejada en la Tabla 12, $I_{OMAX} = 10$ mA es la máxima corriente circulante por las entradas y salidas exceptuando VDD, VSS, DVDD, DVSS, ANT1, ANT2, RDY / CLK. $V_{DD}-V_{SS} = 4,93$ V equivale a la tensión de alimentación medida según la Tabla 11. $I_{ANT}(RMS) = 151$ mA es el valor eficaz de corriente sobre la antena calculado mediante la ecuación 26 donde $V_{ANT}(pico) = 74,29$ V es la tensión pico medida sobre la antena según la Tabla 10, $f_0 = 138,52$ kHz es la frecuencia en que resuena la antena del prototipo, $C_{RES} = 3,3$ nF corresponde al valor del capacitor serie que integra el circuito resonante de la antena.

En el gráfico de la figura 65 se compara la potencia teórica solicitada por los subsistemas del lector con los medidos en el prototipo y la potencia que la fuente es capaz de brindar.

La potencia teórica solicitada por los subsistemas es la calculada en base a la Tabla 7 de la sección 4.1.7.1. La potencia solicitada por los subsistemas del prototipo se calcula en base a la suma de las potencias medidas sobre los subsistemas en la Tabla 11. La potencia que puede entregar la fuente se calcula en base a los datos de tensión y corriente que el fabricante del módulo elevador informa que puede entregar y son 5 V y 600 mA respectivamente, resultando una potencia de 3 W.

En la Tabla 13 se plasman los valores de tensión y corriente medidos en los terminales de la batería durante un proceso de lectura del prototipo junto con el resultado del cálculo de potencia asociado.

Relacionando el valor de potencia entregada por la batería expresado en la Tabla 13 y el que resulta de las mediciones sobre los componentes del lector, se establece que el elevador del prototipo presenta una eficiencia de alrededor de 89 % encontrándose dentro del rango típico del 85 % al 96 % según datos del fabricante. La medición de tensión se realizó con el multímetro UNI-T UT202 [47]. La

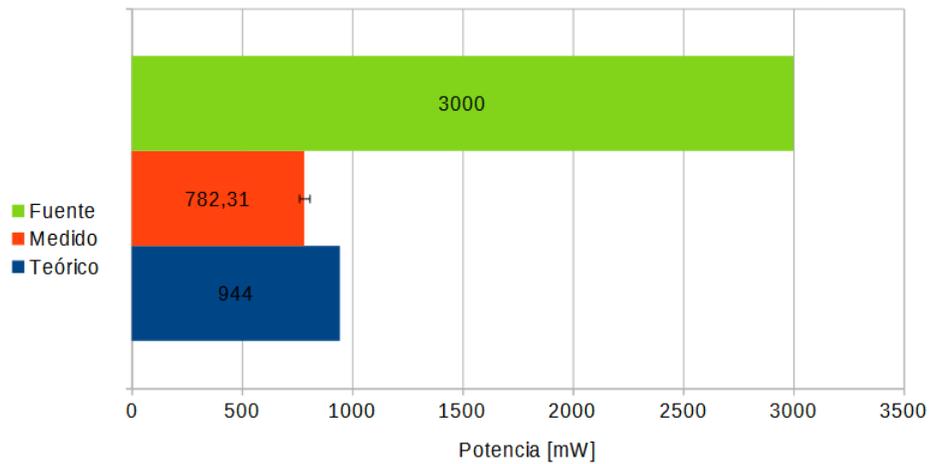


Figura 65: Comparación entre potencia teórica y medida solicitada por los componentes del lector y la teórica que la fuente es capaz de aportar.

Tabla 13: Parámetros medidos sobre la batería

V [V]	I [mA]	P [mW]
$4,04 \pm 0,04$	$218,3 \pm 1,7$	$881,93 \pm 15,60$

corriente se midió con el multímetro UNI-T UT139B [49].

Con base en los parámetros analizados en la presente sección se concluye que el prototipo presenta un comportamiento coherente con la etapa de diseño en cuanto a gestión de potencias se refiere.

4.1.9. Dispositivo Final

En base a los datos obtenidos de la etapa de diseño y a las experiencias resultantes de las observaciones del comportamiento funcional del prototipo, se concibe el diseño del llamado dispositivo final o modelo de ingeniería del lector. Los datos y experiencias mencionadas convergen en la elaboración de los diagramas que se exponen en el Apéndice A. En función de estos diagramas y considerando aspectos básico ergonómicos se genera el diseño de la tarjeta de circuito impreso. Se proyecta un gabinete que contenga los componentes y se comprueba que el ensamblaje resulta posible.

- Los pines DVDD y DVSS deben ser conectados a VDD y VSS respectivamente y conectados entre sí por un capacitor de 100 nF (componente C9) lo más cerca posible del encapsulado a efecto de prevenir variaciones y picos de tensión en la fuente provocados por las demanda de corriente en la antena.
- Todos los capacitores asociados a las líneas DC2, AGND, DEMOD_IN deben ser conectados directamente al pin VSS del circuito integrado.
- Las conexiones a todos los pines sensibles deben ser lo más cortas posibles a fin de evitar el acoplamiento capacitivo de las líneas, especialmente en la salida digital DEMOD_OUT y las entradas DEMOD_IN, FCAP, CDEC, DC2 y AGND.

Considerado terminado el diseño de la placa de circuito impreso, se generan los archivos “gerber” correspondientes aptos para ser utilizados por el proveedor para la fabricación de la tarjeta.

4.1.9.2. Gabinete

Con la asistencia del software Solidworks y teniendo en cuenta el diseño de la tarjeta de circuito impreso, se proyecta el gabinete que alojará los diferentes componentes que constituyen el dispositivo. En la Figura 69 podemos observar la forma del gabinete diseñado. Se obtiene una caja de 100 mm de largo por 65 mm de ancho por 30 mm de profundidad junto con los detalles de anclaje y alojamiento para los respectivos componentes.

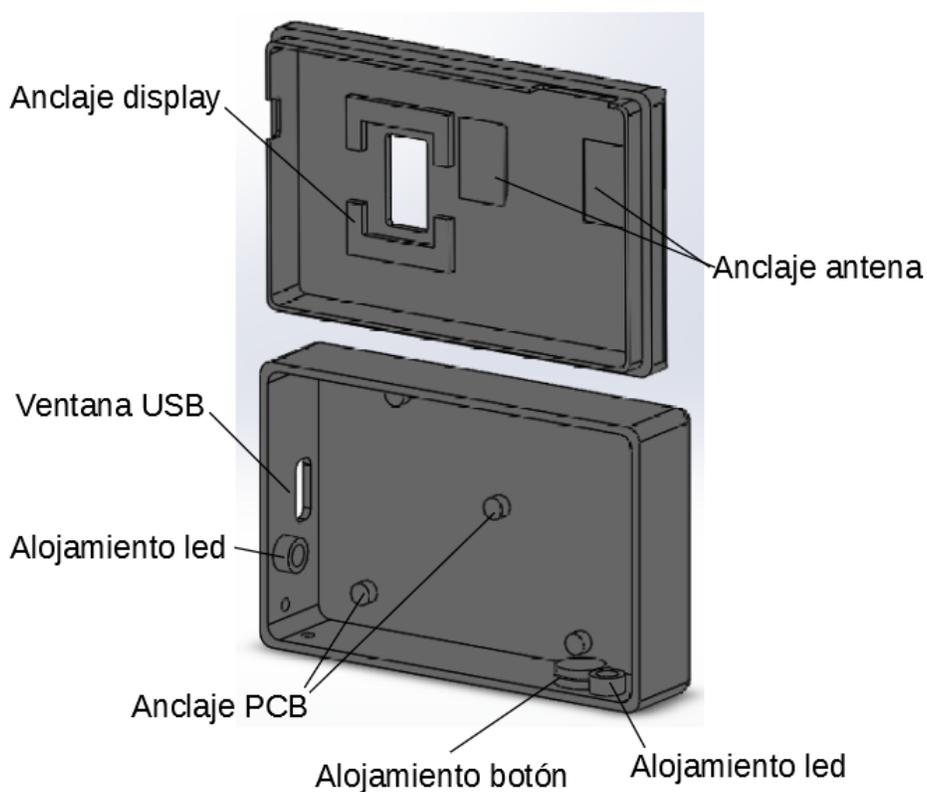


Figura 69: Vista interior del Gabinete.

Como resultado del procedimiento se obtienen los correspondientes archivos que permiten la impresión en 3D del gabinete.

4.1.9.3. Ensamblado

Gracias al modelaje asistido por software se simula el ensamblaje de los diferentes componentes que integran el lector, modelaje que permite cotejar la correcta posición y distribución de dichos componentes.

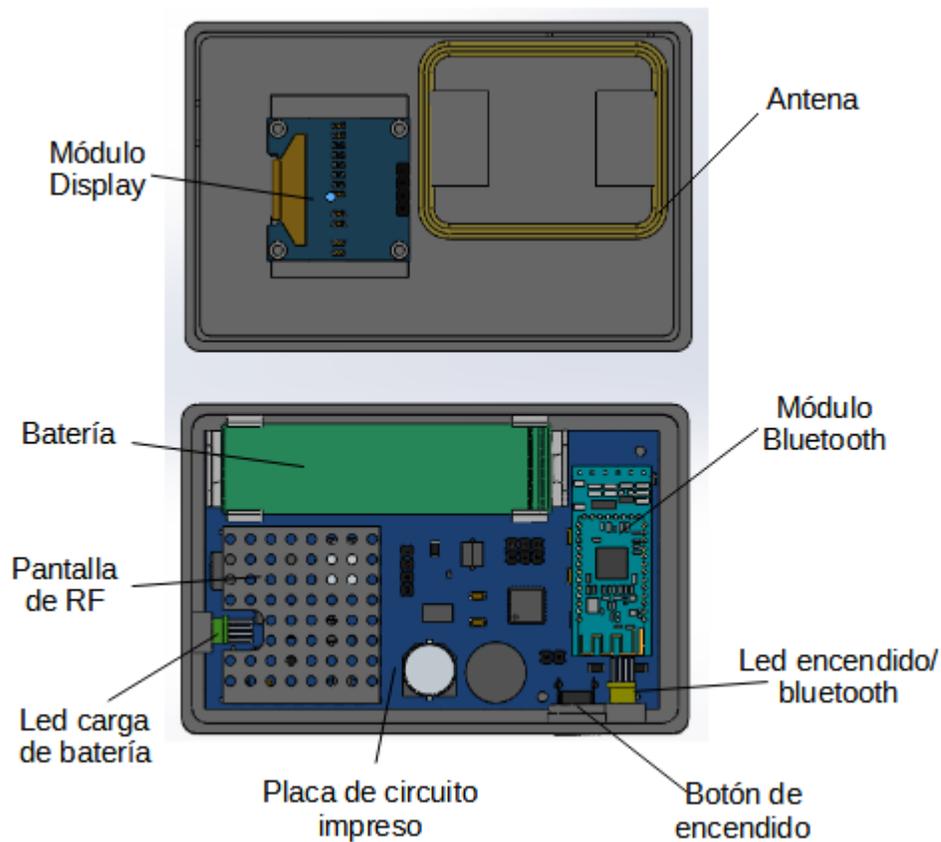


Figura 70: Montaje interior del lector.

La Figura 70 presenta la vista interior del lector donde pueden divisarse la posición de los diferentes componentes.

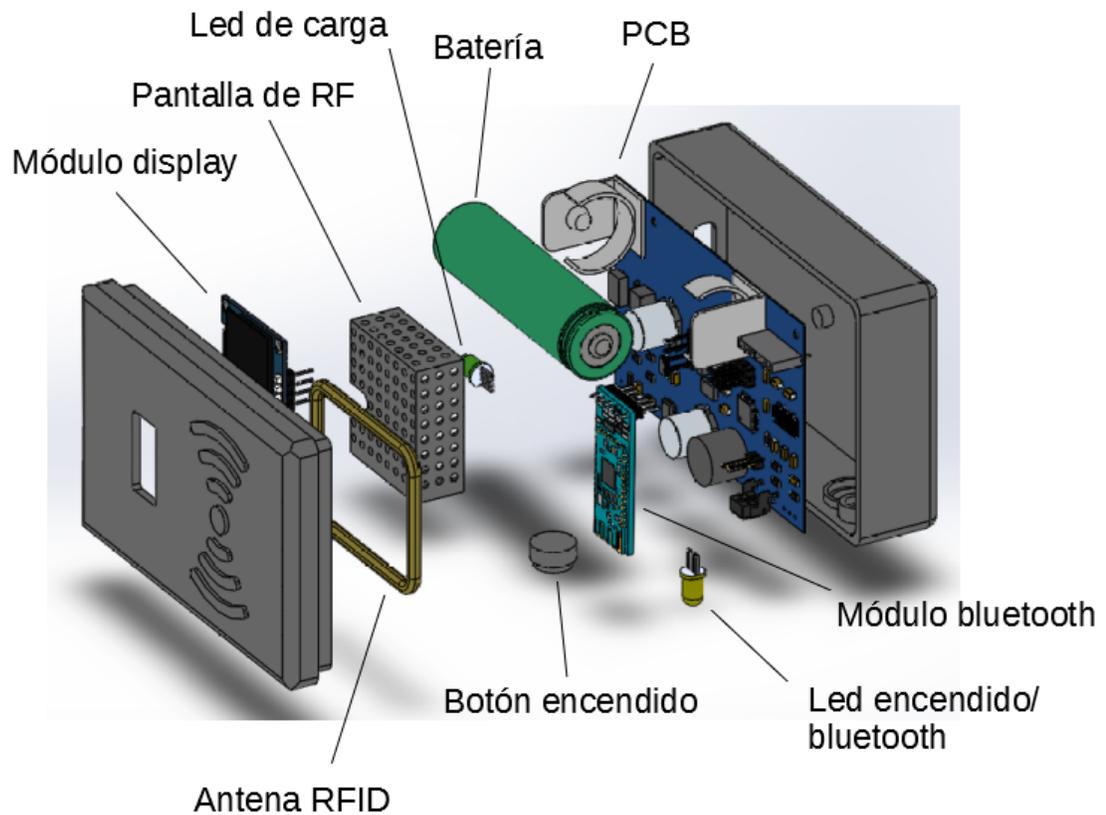


Figura 71: Vista explosionada del lector.

La Figura 71 representa la vista explosionada, elaborada con el software Solid-Works, del dispositivo donde se integran los diferente componentes. Tanto la placa de circuito integrado como el módulo display se sujetan con tornillos a los anclajes existentes en el gabinete. La pantalla de RF es soldada a los anclajes construidos para tal fin en la placa de circuito impreso. La antena se coloca alrededor del soporte en el gabinete con una leve presión. Los leds se fijan a presión en los alojamientos presentes en el gabinete. La tapa del gabinete se sujeta a presión sobre el cuerpo de éste.

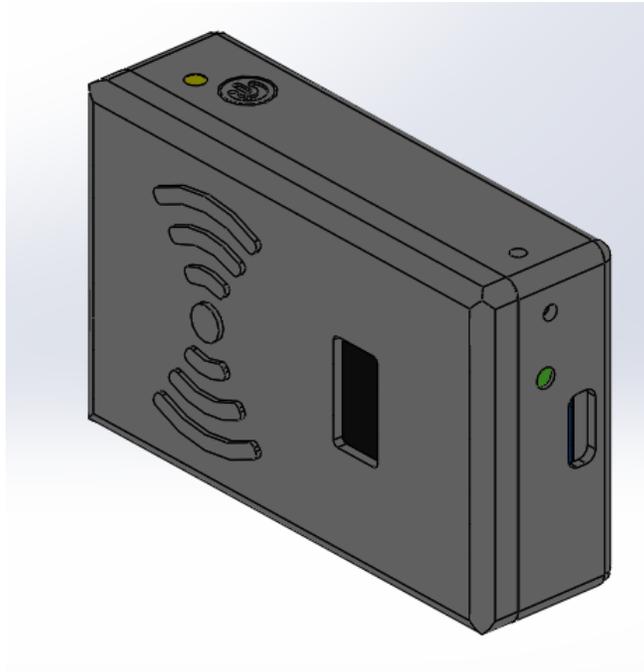


Figura 72: Aspecto final del lector.

En la Figura 72 se observa el aspecto simulado del lector completamente ensamblado. Se obtiene un dispositivo de 100 mm de largo por 65 mm de ancho por 30 mm de profundidad de extremos levemente redondeados que puede maniobrase con una mano.

En el Apéndice E pueden observarse fotografías del gabinete impreso junto con el ensamblaje de componentes.

4.2. Aplicación de usuario

En esta sección se pone foco en la aplicación de usuario nexa entre el código leído por el lector, la información residente en la base de datos y el usuario propiamente dicho.

4.2.1. Solicitaciones

La aplicación de usuario debe obtener el código de una etiqueta, ya sea a través de bluetooth (transmitida por este medio luego de la lectura realizada por el lector previamente desarrollado) o por el ingreso manual de un usuario. En base a ese código e interactuando con la base de datos remota, debe presentar al usuario la información de la mascota y su titular asociado.

Un veterinario podrá completar un formulario con sus datos solicitando permisos para acceder a funciones avanzadas. Una vez que el administrador de la base de datos le otorgue los permisos al veterinario podrá acceder con su usuario y contraseña y cargar y/o editar datos de mascotas y titulares, como así también acceder al historial veterinario del animal.

4.2.2. Diseño

La aplicación permite el registro y autenticación de veterinarios que pueden cargar y/o modificar los registros de animales y titulares además de acceder al historial de las mascotas. Que la aplicación resulte amigable es un objetivo de diseño por lo que se trata que resulte intuitiva, entre otras cosas, minimizando la intervención del usuario en el establecimiento y configuración de conexiones.

La aplicación de usuario se diseña para que se conecte con el lector a través de bluetooth con una mínima intervención del usuario, detecte una lectura de etiqueta, acceda a la base de datos y muestre los registros asociados en pantalla.

La aplicación de usuario es una aplicación orientada a objetos. En la Figura 73 puede observarse el diagrama de clases en que se basa dicha aplicación: consta de las clases Titular, Animal, Historial y Veterinario. Un objeto Animal tiene 1 solo titular y cada titular puede tener varios Animales. Un objeto Historial posee un solo Animal y un objeto Animal puede tener varios historiales. La atención de un Animal con un especialista veterinario genera la relación Historial (la cual a su vez genera una clase en el diseño), la cual tiene un id animal y un id veterinario.

La aplicación de usuario está formada por dos procesos principales que se ejecutan en paralelo. El primero se encarga del enlace del usuario con la base de datos. El segundo gestiona la conexión bluetooth con el lector de etiquetas.

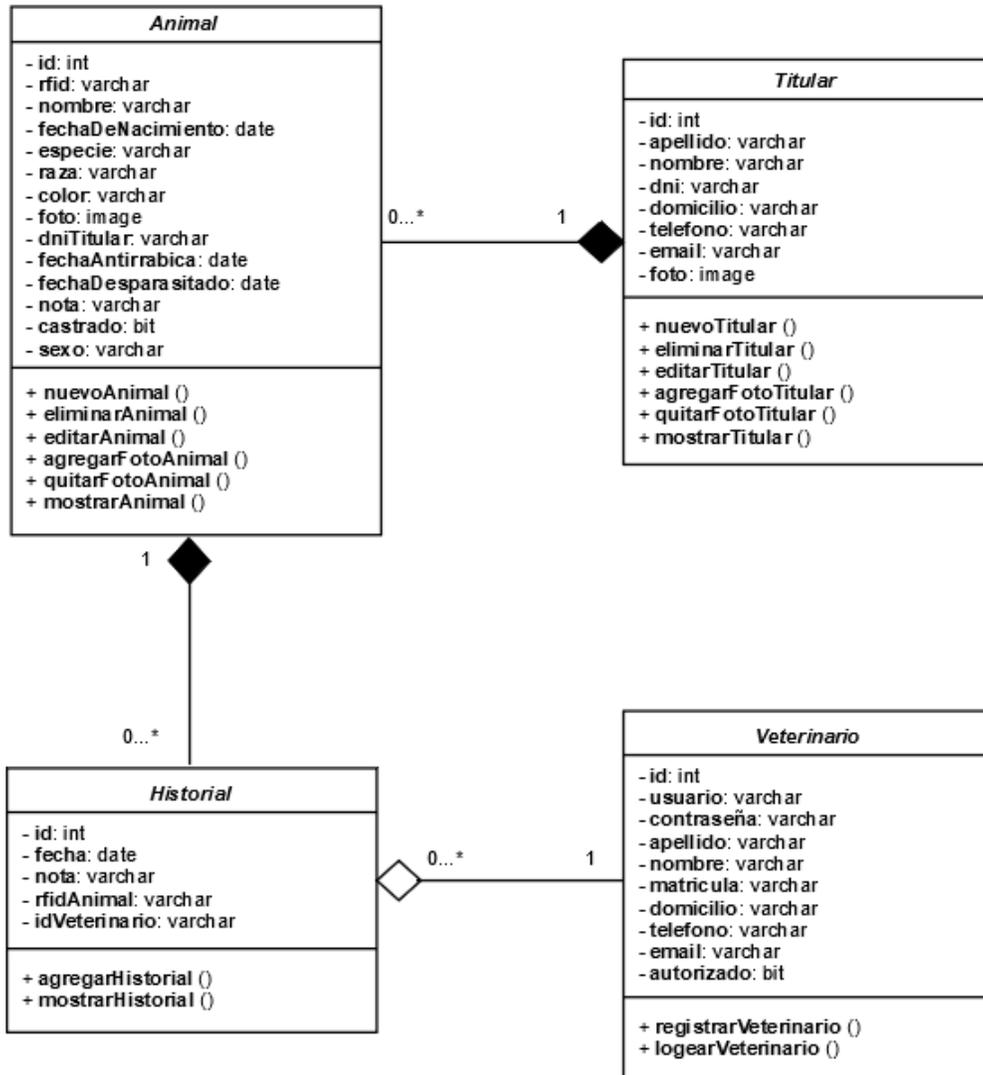


Figura 73: Diagrama de clases de la aplicación de usuario.

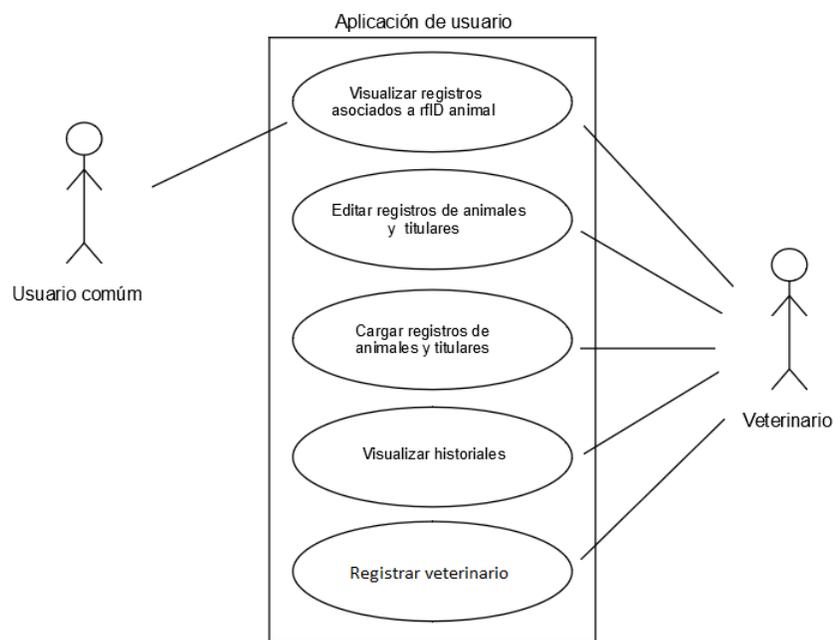


Figura 74: Diagrama de usos de la aplicación de usuario.

Uso:		Visualizar datos asociados a ID	
1	El usuario comun o el veterinario ingresa ID por teclado o bluetooth	2	Conectar con base de datos
		3	Extraer datos asociados a ID
		4	Presentar en pantalla los datos extraidos
Responsabilidad de los actores		Responsabilidad del sistema	

Uso:		Editar registros	
1	El veterinario pide acceso y se autentifica	2	Acceder a base de datos
		3	Verificar autorización de veterinario
		4	Brindar acceso a la edición de registros
5	El veterinario modifica registros y acepta	6	Acceder a base de datos
		7	Modificar registros
Responsabilidad de los actores		Responsabilidad del sistema	

Uso:		Cargar nuevos registros	
1	El veterinario pide acceso y se autentifica	2	Acceder a base de datos
		3	Verificar autorización de veterinario
		4	Brindar acceso a la carga de registros
5	El veterinario selecciona nuevo registro	6	Limpiar cajas de texto
7	El veterinario carga datos y acepta	7	Conectar a base de datos
		8	Adicionar registros a base de datos
Responsabilidad de los actores		Responsabilidad del sistema	

Uso:		Visualizar historial	
1	El veterinario pide acceso y se autentifica	2	Acceder a base de datos
		3	Verificar autorización de veterinario
		4	Brindar acceso a la carga de registros
5	El veterinario ingresa ID y pide historial	6	Acceder a base de datos
		8	Extraer historial asociado a ID
		9	Presentar historial en pantalla
Responsabilidad de los actores		Responsabilidad del sistema	

Uso:		Registrarse	
1	El veterinario solicita acceso		
2	El veterinario solicita registro		
3	El veterinario completa datos de registro y acepta	4	Conectar a base de datos
		5	Verificar que el veterinario no esta registrado
		6	Adicionar registros a base de datos
Responsabilidad de los actores		Responsabilidad del sistema	

Tabla 14: Fichas de casos de usos de la aplicación de usuario.

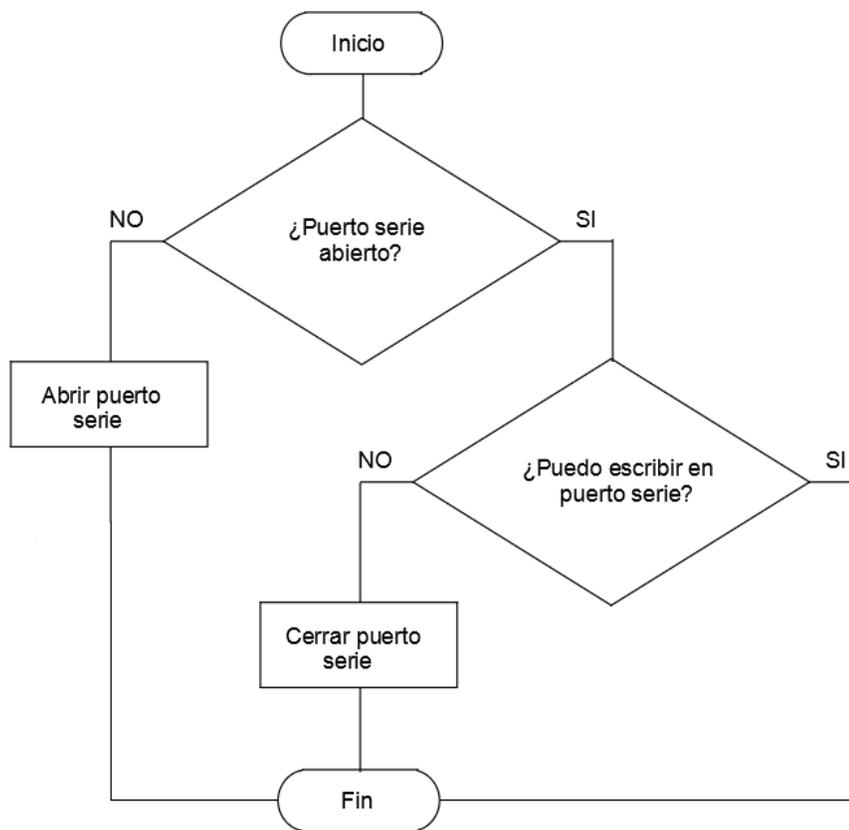


Figura 75: Secuencia de conexión bluetooth.

La Figura 75 muestra el diagrama de flujo del proceso que gestiona la conexión bluetooth: se chequea periódicamente si la conexión con el dispositivo bluetooth se encuentra establecida. Si no es así, cierra el puerto serie y trata de conectarse. La secuencia que se ejecuta periódicamente verifica si el puerto serie con el que se comunica el dispositivo bluetooth está abierto, si no lo está trata de abrirlo (se abrirá si el dispositivo bluetooth está activo, sino emitirá una excepción). Si en primera instancia encuentra el puerto abierto, trata de escribir en él, si no lo logra, cierra el puerto. Esto último lo realiza porque si una vez establecida la conexión bluetooth, el dispositivo se desconecta, la aplicación mantiene el puerto abierto y no permite una nueva conexión. De esta forma se logra que, una vez asociado el dispositivo bluetooth con el equipo informático, la conexión se establezca automáticamente en tanto el software y el dispositivo estén activos.

4.2.3. Implementación

La aplicación de usuario se programa en Visual Basic con el software Visual Studio [52] de Microsoft siguiendo el diseño presentado en la sección 4.2.2.

En la Figura 76 se puede observar el formulario que se presenta al abrir la aplicación y que espera la recepción del ID de la etiqueta que puede ser ingresado por teclado o vía bluetooth proveniente del lector RFID.

Figura 76: Aplicación usuario, formulario principal.

Al recibir el ID de la etiqueta, la aplicación se conecta con la base de datos y busca el registro correspondiente al ID ingresado, si no lo encuentra notifica al usuario (Figura 77), si lo encuentra, extrae los datos correspondientes al animal y titular relacionados al ID y los muestra a través del formulario en pantalla (Figura 78).

En la esquina inferior derecha del formulario inicial se encuentra el botón “VETERINARIO” que al activarlo despliega el formulario de acceso (Figura 79). Si la persona que intenta acceder no está registrada en la base de datos, tiene la opción de hacerlo activando el botón “Registrar” que despliega un formulario en el que puede cargar sus datos y presionar el botón “Aceptar” para que la aplicación se conecte con la base de datos y genere nuevos registros en la tabla “Veterinario” (Figura 80). La tabla “Veterinario” aparte de los datos de la persona registrada, posee el campo “autorizado” que por defecto se completa con el valor “FALSO”. Para que la persona registrada pueda acceder en la aplicación y así controlar las funcionalidades restringidas (cargar y editar registros, acceder y generar historial), el administrador de la base de datos debe darle autorización cambiando el valor

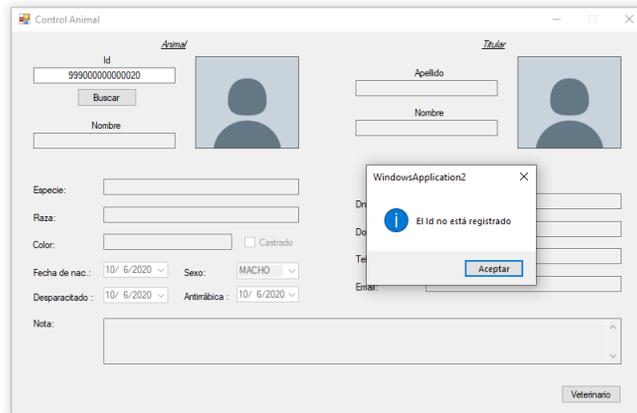


Figura 77: Aplicación de usuario, ID no encontrado.

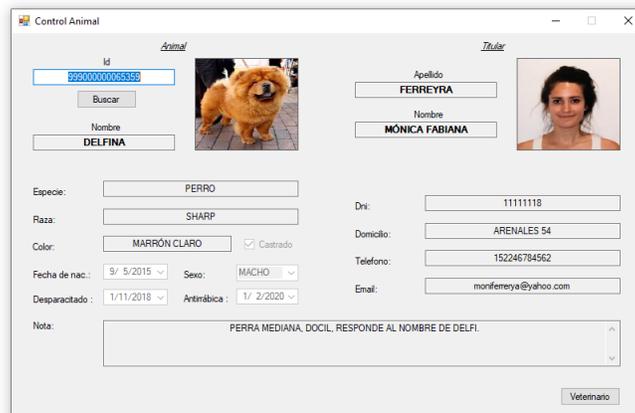


Figura 78: Aplicación de usuario, resultado de búsqueda de ID.

“FALSO” a “VERDADERO” en el campo “autorizado” de la tabla “Veterinario”.

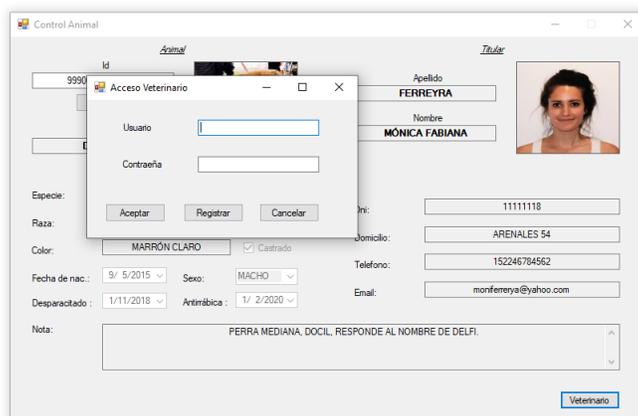


Figura 79: Aplicación de usuario, logueo de veterinario.

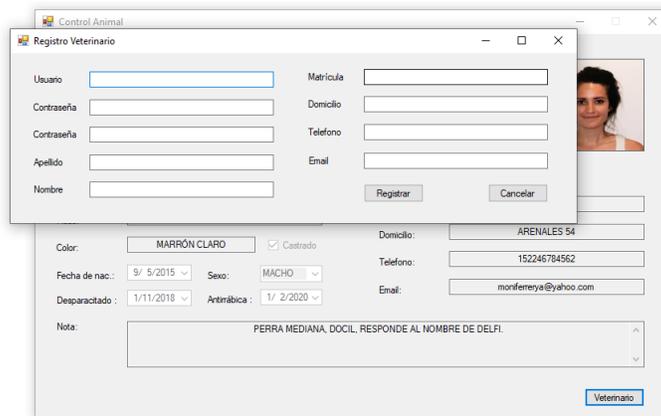


Figura 80: Aplicación de usuario, registro de veterinario.

Al completar los campos del formulario de acceso y activar el botón “Aceptar” la aplicación se conecta con la base de datos y verifica la existencia del usuario ingresado, la coherencia de la contraseña y el estado “VERDADERO” del campo “autorizado”. Ya sea que el usuario no exista en la base de datos, la contraseña no corresponda o no esté autorizado, la aplicación notifica al usuario de la situación (Figura 82).

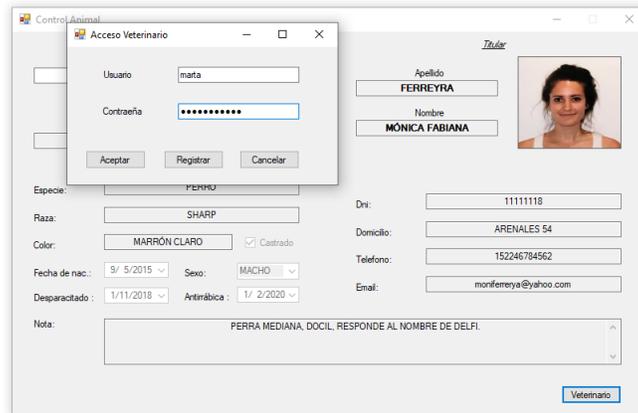


Figura 81: Aplicación de usuario, ingreso veterinario.

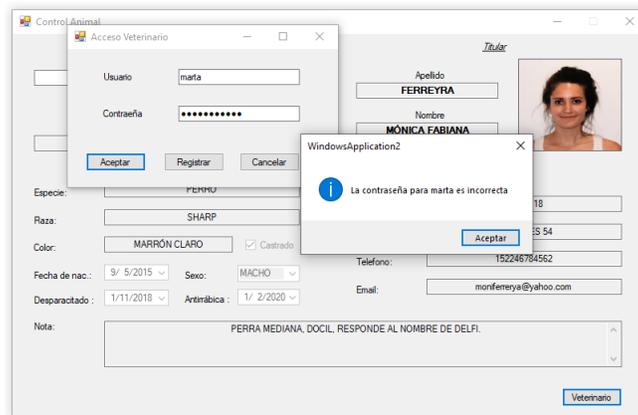
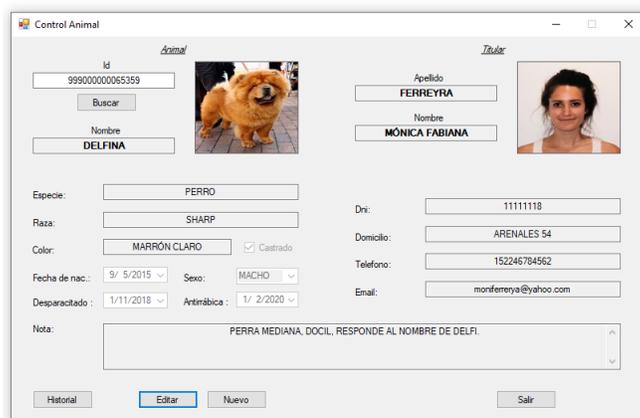


Figura 82: Aplicación de usuario, acceso erróneo.

Si las condiciones se dan para el acceso, al completar los campos y presionar “Aceptar” en el formulario de acceso, la aplicación habilita los botones “Nuevo”, “Editar”, “Salir” e “Historial”(Figura:83).



The screenshot shows a web application window titled "Control Animal". It is divided into two main sections: "Animal" and "Titular".

- Animal Section:** Includes a text input for "Id" (99900000005359), a "Buscar" button, a "Nombre" field (DELFINA), a photo of a dog, "Especie" (PERRO), "Raza" (SHARP), "Color" (MARRÓN CLARO), a "Castrado" checkbox, "Fecha de nac." (9/ 5/2015), "Sexo" (MACHO), "Desparejado" (1/11/2018), "Antinábica" (1/ 2/2020), and a "Nota" field containing "PERRA MEDIANA. DOCIL. RESPONDE AL NOMBRE DE DELFI."
- Titular Section:** Includes a "Apellido" field (FERREYRA), a "Nombre" field (MÓNICA FABIANA), a photo of a woman, "Dni" (11111118), "Domicilio" (ARENALES 54), "Telefono" (152246784562), and "Email" (moniferreya@yahoo.com).

At the bottom, there are buttons for "Historial", "Editar", "Nuevo", and "Salir".

Figura 83: Aplicación de usuario, funcionalidades restringidas.

Al accionar el botón “Salir” se sale de la condición de acceso y se deshabilitan los botones “Salir”, “Nuevo”, “Editar”, “Salir” e “Historial” habilitándose el botón “Veterinario”.

Al activar el botón “Editar” en el formulario de la Figura 83 se habilita la edición del campo DNI del titular (Figura 84), una vez ingresado un DNI y presionado el Botón “Buscar” la aplicación se conecta con la base de datos y busca el número de DNI ingresado, si lo encuentra completa los datos en los campos del formulario con la información asociada, si no lo encuentra borra y habilita la edición de los campos del titular para que el usuario los complete. Una vez completados y editados los campos necesarios y presionado el botón “Editar” la aplicación se conecta con la base de datos y crea o edita los registros según corresponda.

Al activar el botón “Nuevo” en el formulario de la Figura 83 se borran los campos del formulario y se habilita la edición del campo DNI del titular (Figura 85), una vez ingresado un DNI y presionado el Botón “Buscar” la aplicación se conecta con la base de datos y busca el número de DNI ingresado, si lo encuentra completa los datos en los campos del formulario con la información asociada al titular (Figura 86), si no lo encuentra borra y habilita la edición de éstos para que el usuario los complete (Figura 87). Una vez completados los campos del titular y del nuevo animal y presionado el botón “Guardar” la aplicación se conecta con la base de datos, crea o edita los registros del titular según corresponda y crea los

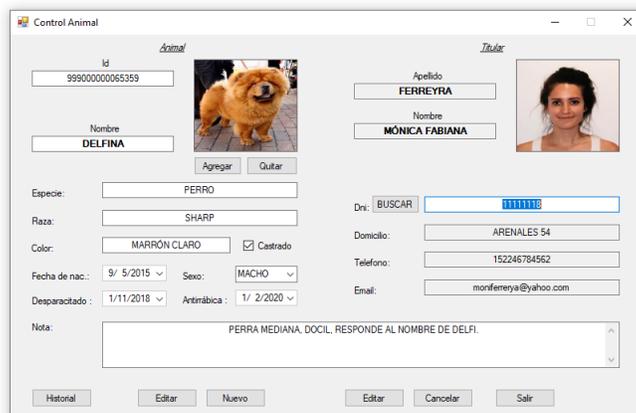


Figura 84: Aplicación de usuario, editar.

registros del nuevo animal. En caso de que algún campo haya quedado en blanco al presionar el botón “Guardar” la aplicación notifica de la situación al usuario.

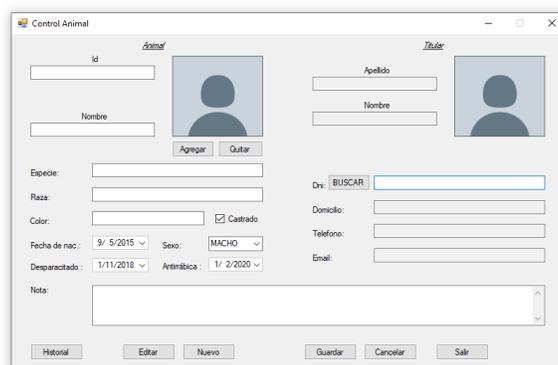


Figura 85: Aplicación de usuario, nuevo registro.

En la Figura 88 podemos observar el formulario que se abre cuando activamos el botón “Agregar” en el procedimiento de nuevo registro o editar registro y que nos permite seleccionar la foto que se asocia a un titular o animal en la base de datos.

Al activar el botón “Historial” en el formulario de la Figura 83, la aplicación se conecta a la base de datos y extrae de la tabla “Historial” los registros asociados al ID ingresado y los muestra en el formulario de la Figura 89 en el que también se presentan registros de la tabla “Animal” como el nombre, fecha de antirrábica

Figura 86: Aplicación de usuario, nuevo registro, titular existente.

Figura 87: Aplicación de usuario, nuevo registro, titular inexistente.

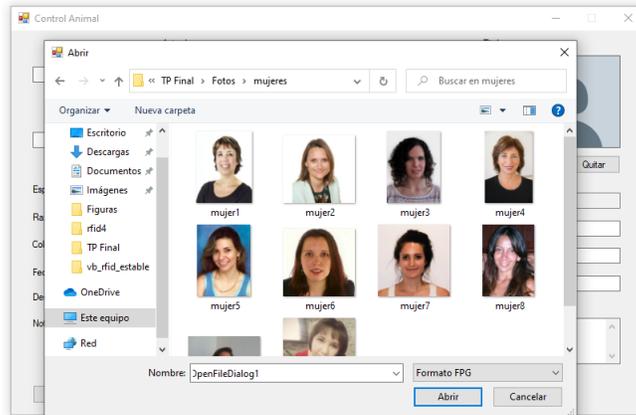


Figura 88: Aplicación de usuario, carga de fotos.

y desparasitado. En la parte inferior del formulario puede divisarse un cuadro de texto donde el usuario puede cargar una nota y al presionar el botón “Agregar” la aplicación entrega a la base de datos, la nota, la fecha actual y la identificación del usuario registrado para crear un nuevo registro en la tabla “Historial” asociado al ID ingresado.

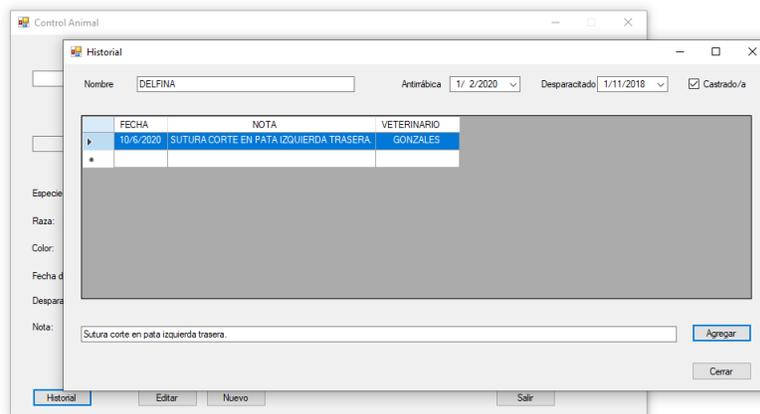


Figura 89: Aplicación de usuario, historial.

Se procura generar una interfaz intuitiva ante el usuario. Se implementan consultas “cortas” minimizando el tiempo de conexión con la base de datos con la intención de trabajar eficientemente con ella.

4.3. Base de datos

Seguidamente se presentan las solicitudes, el diseño y el método de implementación de la base de datos.

4.3.1. Solicitaciones

La base de datos debe permitir almacenar y manipular información relacionada a los animales, titulares y veterinarios. En la base de datos se realizan altas, bajas, modificaciones y consultas sobre estos datos. Además debe mantener información histórica de los animales a fin de que se puedan realizar consultas y ver las operaciones realizadas sobre las mascotas.

La base se alojará en un servidor remoto y responderá a las consultas que realicen las aplicaciones de los usuarios.

4.3.2. Diseño

Las entidades de la base de datos son Animal, Titular, Veterinario, e Historial. Cada una de estas entidades se traduce en una tabla en la base de datos. La Figura 90 muestra las tablas, detallando sus campos, sus campos claves y la cardinalidad de las relaciones.

4.3.3. Implementación

La base de datos se implementa en Lenguaje de Consulta Estructurado (SQL) según el diagrama relacional de la Figura 90 y con la ayuda de la aplicación SQL Server Management Studio [53] de la empresa Microsoft. Se aloja la base de datos en una máquina virtual en Smarter ASP.NET [54]. Smarter ASP.NET es una empresa que ofrece servicios de hosting en la que se contrata una máquina virtual que permite implementar y administrar una base de datos SQL y una base de datos MySQL (que no se utiliza) con espacio ilimitado y con un costo de 35,4 dólares por el periodo de un año. La Figura 92 presenta la consola principal para la administración de la base de datos de este servicio de hosting.

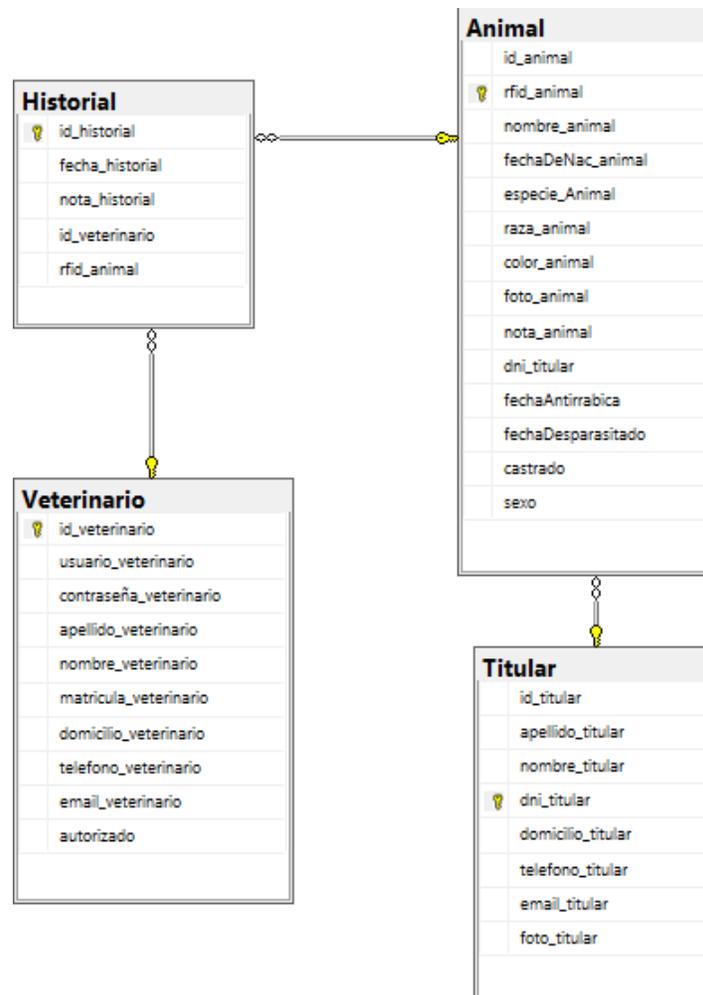


Figura 90: Diagrama relacional de base de datos

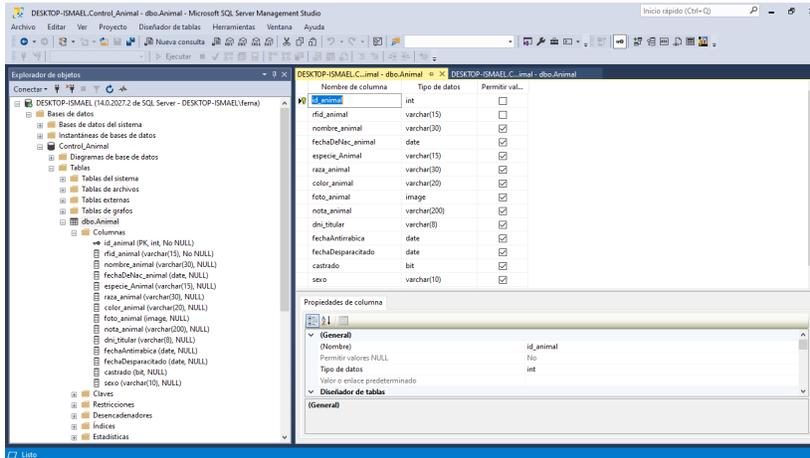


Figura 91: Aplicación SQL Management Studio.

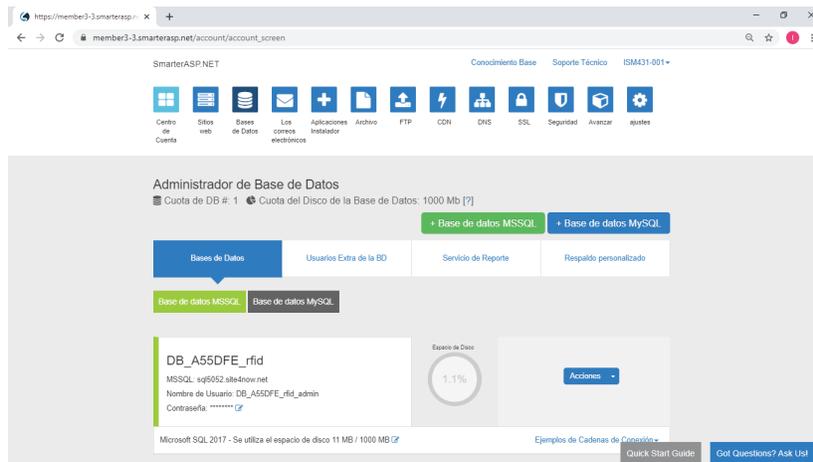


Figura 92: Consola de administración del servicio de máquina virtual Smarter ASP.NET.

Cabe destacar que con la configuración adecuada se puede administrar la base de datos alojada en el servidor remoto con la aplicación SQL Server Management Studio como si fuera una base de datos local con apenas alguna diferencia temporal en la respuesta.

En el apéndice C se encuentra el código generador de la base de datos en lenguaje SQL programado con el software “Microsoft SQL Management Studio”.

5. Resultados

5.1. Análisis de costos

En la Tabla 15 y Tabla 16 se listan los materiales que componen el lector junto con un estimado de costos en dólares americanos a la fecha (Julio 2020).

La lista distribuida en la Tabla 15 y Tabla 16 también presenta las especificaciones, el fabricante, el código aportado por el fabricante y la designación que se le ha otorgado en este trabajo y se utilizó en los diagramas de diseño a los diferentes componentes. Los diferentes costos de los componentes electrónicos fueron extraídos de páginas de comercio electrónico de empresas como MOUSER[55], DIGIKEY[56] y MERCADOLIBRE[57]. El costo del gabinete y la pantalla de radiofrecuencia se calcularon en base a la cantidad y costo del material necesarios para su fabricación. Puede observarse en las últimas columnas que se han discriminado los valores de costos de acuerdo a si los componentes se adquieren de a una, diez o cien unidades y puede apreciarse como disminuye sensiblemente el costo total del dispositivo al comprarlos en cantidad.

En la figura 93 se grafican los costos unitarios de los componentes que conforman el dispositivo lector. En el eje de abscisas figuran los diferentes componentes del lector con su designación coherente con la designación en las tablas 15 y 16 como en los planos representados en el apéndice A de este documento. En el eje de ordenadas figuran los costos unitarios de los respectivos componentes en dólares americanos. Puede observarse que los componentes de mayor costo son, en orden descendente: Placa de circuitos impresos (PCB), batería (BAT), Circuito integrado estación base (U1), módulo bluetooth (HC05), módulo display (OLED), cristal (Y1), microcontrolador (IC4), buzzer (LS1), gabinete (GAB) y el conector micro USB (J7) que en conjunto corresponden al 70 % del costo total de materiales del lector.

SECCIÓN	ID	DESCRIPCIÓN	DESIGNACIÓN	FABRICANTE	COD. DE FABRICANTE	COSTO UNITARIO [DÓLARES]		
						X.1	X.10	X.100
Cargador	1	CI Cargador para una celda de litio 18650	J3	Nanjing Top Power	TP4056	0,46	0,46	0,46
	2	CI Protección de carga	IC3	SII Semiconductor	DW01A	0,15	0,15	0,14
	3	CI doble mosfet canal N	Q1	SII Semiconductor	FS8205A	0,59	0,59	0,59
	4	Capacitor cerámico 0,1 uf, 50 V, 5 %, SMD 1206	C3	TDK	C3216C0G1H104J160AE	0,69	0,4	0,269
	5	Capacitor cerámico 0,1 uf, 50 V, 5 %, SMD 1206	C4	TDK	C3216C0G1H104J160AE	0,69	0,4	0,269
	6	Resistencia 1 k, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R2	Vishay / Dale	CRCW12061K00FKBEC	0,1	0,078	0,03
	7	Resistencia 1 k, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R5	Vishay / Dale	CRCW12061K00FKBEC	0,1	0,078	0,03
	8	Resistencia 1 k, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R3	Vishay / Dale	CRCW12061K00FKBEC	0,1	0,078	0,03
	9	Resistencia 1K2, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R4	Vishay / Dale	CRCW12061K20FKEA	0,1	0,08	0,63
	10	Terminal porta batería 18650	BT1	Keytone Electronics	54	0,57	0,48	0,421
	11	Terminal porta batería 18650	BT2	Keytone Electronics	54	0,57	0,48	0,421
	12	Resistencia 100 ohm, 0,5 w, 1 %, SMD 1206	R1	Vishay / Dale	RCS1206100KFKEA	0,33	0,288	0,112
	Elevador	13	Conector micro USB B, hembra, 90 grados, SMD	J7	Molex	47346-0001	0,95	0,754
14		CI boost	IC2	2Power	CE8301	0,32	0,32	0,3
15		Diodo SS14	D1	ON Semiconductor	NRV8SS14HE	0,14	0,312	0,181
16		Inductor 47 uf, 1 A, SMD	IC1	Bourns	SRN5040TA-470K	0,39	0,351	0,254
17		Capacitor cerámico 10 uf, 16 V, 20 %, SMD 1206	C2	TDK	C1206C106Z4VACTU	0,5	0,347	0,208
18		Capacitor electrolítico 1000 UF, 10 v, SMD	C1	Panasonic	EEE-1AA102P	0,72	0,489	0,417
19		CI Estación base	U1	EM Microelectronics	EM4095	5,9	5,9	5,9
20		Resistencia 15 ohm, 1 %, 0,5 W, SMD	R6	TE Connectivity	CRGH1206F15R	0,19	0,162	0,063
21		Capacitor cerámico 0,1 uf, 50 V, 5 %, SMD 1206	CDEC	TDK	C3216C0G1H104J160AE	0,69	0,4	0,269
22		Capacitor cerámico 0,1 uf, 50 V, 5 %, SMD 1206	CAGND	TDK	C3216C0G1H104J160AE	0,69	0,4	0,269
Demodulador	23	Capacitor cerámico 10 nf, 50 V, SMD 1206	CDC2	TDK	C3216C0G1H103J060AA	0,48	0,331	0,198
	24	Capacitor cerámico 10 nf, 50 V, SMD 1206	CrCAP	TDK	C3216C0G1H103J060AA	0,48	0,331	0,198
	25	Capacitor cerámico 1 nf, 500 V, 10 %, SMD 1206	CDV2	TDK	CGJ5H4X7R2H102K115AA	0,58	0,347	0,234
	26	Capacitor cerámico 22 pf, 500 V, 5 %, SMD 1206	CDV1	Vishay / Vitramon	VJ1206A220JKEAC	0,45	0,269	0,148
	27	Capacitor cerámico 0,1 uf, 50 V, 5 %, SMD 1206	C9	TDK	C3216C0G1H104J160AE	0,69	0,4	0,269
	28	Capacitor electrolítico 1000 uf, 10 V, SMD	CL5	Panasonic	EEE-1AA102P	0,72	0,489	0,417
	29	Capacitor cerámico 3,3 nf, 500 V, 5 %, SMD 1206	CSER	Murata Electronics	GRM31B7U2H332JW31L	0,49	0,344	0,206
	30	Conector antena	P7	Amphenol FCI	10118650-406007LF	0,37	0,251	0,241

Tabla 15: Listado y costos de materiales.

SECCIÓN	ID	DESCRIPCIÓN	DESIGNACIÓN	FABRICANTE	COD. DE FABRICANTE	COSTO UNITARIO [DÓLARES]		
						X 1	X 10	X 100
Control	31	CI Microcontrolador 8 bits, MCU 32 KB, SMD TOFD-32	IC4	Atmel	ATMEGA328P-AU	2,01	1,84	1,67
	32	Cristal 16 MHz, 20 pf, 60 ohm	Y1	ECS	ECS-160-20-23A-TR	2,47	2,36	1,97
	33	Capacitor 22 pf, 10 V, 5 %	C13	Vishay / Vitramon	VJ1206A220JXQPW1BC	0,24	0,162	0,129
	34	Capacitor 22 pf, 10 V, 5 %	C14	Vishay / Vitramon	VJ1206A220JXQPW1BC	0,24	0,162	0,129
	35	Conector ICSP	P4	Amphenol FCI	10118650-406007LF	0,37	0,251	0,241
	36	Diodo rectificador, 75 V, 200 mA, SMD	IC5	Nexperia	BAS716F	0,29	0,2	0,084
	37	Buzzer 5 VDC, 85 dBA	LS1	PUI Audio	AI-1223-TWT-5V-5-R	1,33	1,1	0,907
	38	Transistor bipolar NPN, 800 mA, 45 V	Q2	Fairchild	BC33725TA	0,32	0,216	0,088
	39	Transistor bipolar NPN, 800 mA, 45 V	Q3	Fairchild	BC33725TA	0,32	0,216	0,088
	40	Resistencia 150 ohm, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R9	Bourns	CR1206-FX-1500ELF	0,11	0,046	0,026
	41	Resistencia 150 ohm, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R10	Bourns	CR1206-FX-1500ELF	0,11	0,046	0,026
	42	Resistencia 1 k, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R7	Vishay / Dale	CRCW12061K00FKBC	0,1	0,078	0,03
	43	Resistencia 1 k, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R8	Vishay / Dale	CRCW12061K00FKBC	0,1	0,078	0,03
	44	Resistencia 1 k, 0,25 w, 1 %, SMD 1206	R11	Vishay / Dale	CRCW12061K00FKBC	0,1	0,078	0,03
	Otros	45	Conector a bluetooth	P5	Electroshop	PIN M-H	0,29	0,29
46		Conector a display	P2	Amphenol FCI	10118650-406007LF	0,37	0,251	0,241
47		Led bicolor rojo - verde ánodo común	P1	Kingbright	W59EGWICA	0,46	0,269	0,155
48		Led bicolor rojo - amarillo cátodo común	P6	Kingbright	WP59EGWICA	0,55	0,351	0,165
49		Pulsador	S1	TE Connectivity	1-1825027-7	0,22	0,213	0,187
50		Antena 50mm x 35mm, Q=0,4, 433 + 2 uHy	ANT	Sundial	500 uHy	0,16	0,16	0,16
51		Batería recargable 3.7V	BAT	Bak	A03	6,64	6,64	6,64
52		Pantalla RF	J4/J5/J6	-	-	0,3	0,3	0,3
53		PCB 90mm x 55mm, doble faz, con máscara antisol.	PCB	-	-	8,69	7,35	4,22
54		Gabinete	GAB	-	-	1,1	1,1	1,1
55		Módulo Bluetooth	HC05	Sasa	HC-05	4,43	4,43	4,43
56		Módulo display OLED 0,96"	OLED	Dualtek	SSDI306	4,06	4,06	4,06

Costo unitario total estimado de componentes	54,58	48,407	41,761
--	-------	--------	--------

Tabla 16: Listado y costos de materiales.

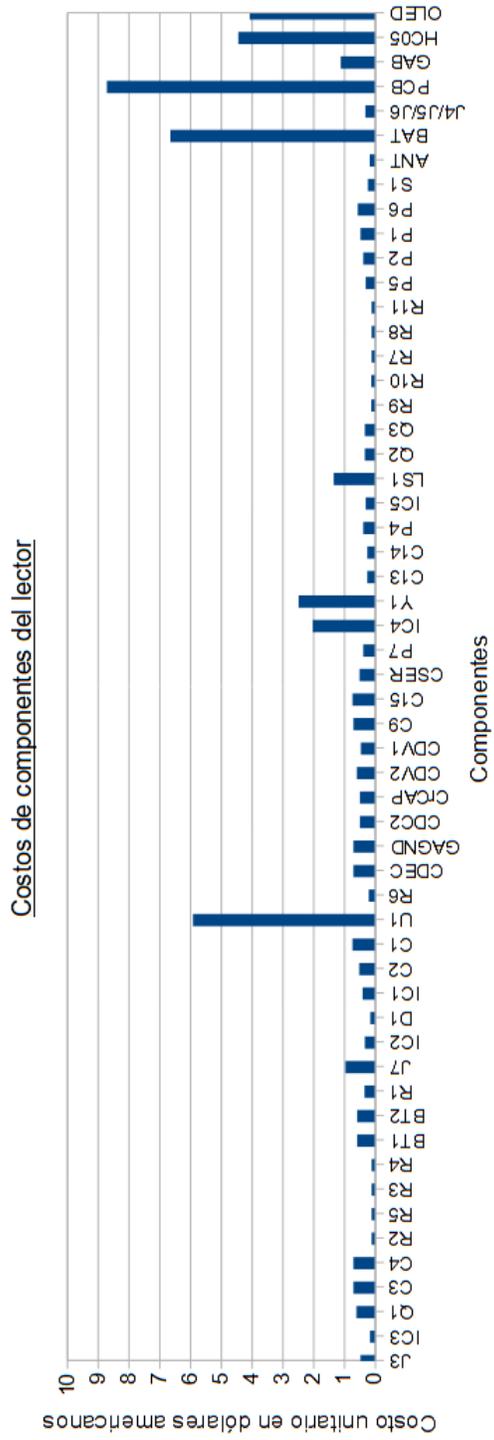


Figura 93: Costos unitarios de componentes del lector

Para obtener un valor estimativo del costo de mano de obra que determina la construcción de un lector se tiene en cuenta el tiempo que un operario consume en la impresión del gabinete junto con en ensamblaje de componentes y testeo general. Una impresora 3D de calidad media como lo es la ENDER 3 del fabricante CREALITY, tarda 4 horas y 15 minutos en imprimir el gabinete de un lector. Se supone que un operario no ocupa mas de 1 hora en la preparación y control del proceso de impresión. Así mismo se supone que un operario puede ocupar 2 horas de su tiempo en ensamblar y testear el lector. En consecuencia, se estima que un operario invertirá 3 horas en la construcción de un lector. Tomando como referencia que el valor de una hora de mano de obra de un operario calificado es de USD 2,29 (dólares americanos) según la publicación “Electro Instalador” [58], se infiere que el valor de mano de obra para la construcción de un lector es de USD 6,87.

Tipo	Costo [USD]
Materiales	54,58
Mano de obra	6,87
Total	61,45

Tabla 17: Costos asociados a la construcción de un lector

Ya obtenidos los costos de mano de materiales y mano de obra, se infiere que el costo estimado para la fabricación de un lector es de USD 61,45. Los valores involucrados se expresan en la tabla 17.

Examinando la sección 3.3.2 se extraen los datos de los lectores comerciales que por sus características y precios son comparables con el dispositivo diseñado. El lector genérico de origen chino, no presenta comunicación bluetooth pero opera en sistema FDX con una batería recargable, su precio es de USD 80. El lector de origen nacional trabaja con sistema FDX, con comunicación bluetooth pero no posee batería recargable, su costo es de USD 48. Por último, El lector DATAMARS FX-PET II es el que contiene todas las características del dispositivo diseñado: comunicación bluetooth, batería recargable y sistema FDX, adicionalmente trabaja bajo sistema HDX, su costo es de USD 240.

En la Tabla 18 se presentan las características de los productos en comparación junto con el resultado del cálculo de la diferencia entre los precios de venta de los dispositivos y el costo de fabricación del lector diseñado.

Tabla 18: Margen entre el precio de venta de lectores comerciales y costo de fabricación del dispositivo diseñado.

Lector	Sistema	Recargable	Bluetooth	Precio USD	Margen USD
 Datamars FX-PETII	FDX HDX	Si	Si	240,00	178,55
 Genérico Chino	FDX	Si	No	80,00	18,55
 Nacional	FDX	No	Si	48,00	-13,45

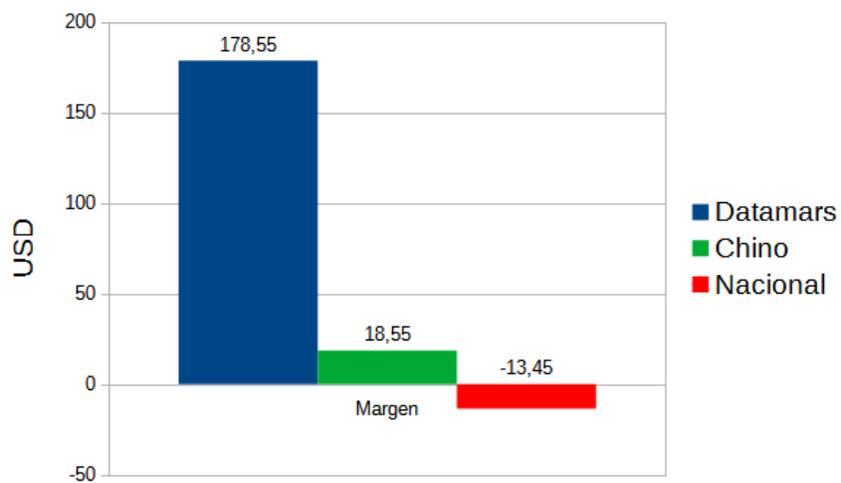


Figura 94: Margen en dólares americanos entre el precio de venta de lectores comerciales y costo de fabricación del dispositivo diseñado.

En el gráfico de la Figura 94 se observa que el precio de venta del producto competidor nacional se encuentra por debajo del costo de fabricación del lector diseñado. El lector nacional no posee batería recargable. Si bien el lector de origen chino carece de comunicación bluetooth, el precio de venta supera al costo de fabricación del lector diseñado en un 30,2 %. El equipo Datamars FX-PETII supera en un 290 % al costo de fabricación del lector diseñado, en su precio de venta conteniendo las características funcionales que el dispositivo diseñado contempla: sistema FDX, comunicación bluetooth y batería recargable.

5.2. Comportamiento del sistema

En la presente subsección se describen los resultados de las pruebas de funcionamiento, tanto del lector como del software y su interacción. No se pretende realizar una validación exhaustiva del sistema implementado, lo que elevaría la complejidad y extensión del presente trabajo, pero sí constatar que alcanza los objetivos funcionales de la solución propuesta.

En primera instancia se prueba el comportamiento del lector. En la Tabla 19 se enumera la secuencia de acciones aplicadas al lector y su correspondiente reacción observada.

Tabla 19: Prueba del lector.

ID	Denominación	Acción	Reacción
1.1	Encendido	Se oprime botón de encendido.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Se enciende led de encendido en rojo. ■ Display muestra “Leyendo”. ■ Buzzer emite pitido.

Continúa en la siguiente página.

ID	Denominación	Acción	Reacción
1.2	Lectura etiqueta 1	Se acerca la etiqueta 1 al lector.	A 15 mm entre lector y etiqueta: <ul style="list-style-type: none"> ■ Buzzer emite pitido. ■ Display muestra en dos filas “Codigo” y “999000000000096”.
1.3	Lectura etiqueta 1	Se acerca la etiqueta 1 al lector.	No se observa reacciones.
1.4	Lectura etiqueta 2	Se acerca la etiqueta 2 al lector.	A 15 mm entre lector y etiqueta: <ul style="list-style-type: none"> ■ Buzzer emite pitido. ■ Display muestra en dos filas “Codigo” y “999000000000020”.
1.5	Reset	Se oprime botón de encendido.	<ul style="list-style-type: none"> ■ El display se apaga y se enciende mostrando “Leyendo”. ■ El led de encendido se apaga y se enciende nuevamente. ■ se emite un pitido.

Continúa en la siguiente página.

ID	Denominación	Acción	Reacción
1.6	Lectura etiqueta 2	Se acerca la etiqueta 2 al lector.	A 15 mm entre lector y etiqueta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Buzzer emite pitido. ▪ Display muestra en dos filas “Codigo” y “999000000000020”.
1.7	Apagado	Se omiten acciones.	Luego de 90 segundos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se apaga el display. ▪ Se apaga el led de encendido.

En el punto 1.3 de la tabla 19 se observa que ante el nuevo intento de lectura de una etiqueta que se acaba de leer el lector no reacciona, este es un efecto esperado y programado. Si el usuario desea leer consecutivamente una misma etiqueta debe resetear el lector oprimiendo el botón de encendido entre los intentos de lectura.

Con foco en el software, una primera evaluación del comportamiento se realizó en paralelo con la implementación que es detallada en la sección 4.2.3 Ya con el sistema prototipo implementado en totalidad se realiza una evaluación del comportamiento validando los escenarios de casos de uso expresados en la Tabla 14 dentro de la sección 4.2.2.

Tabla 20: Prueba del sistema.

Visualizar datos asociados a ID		
1	El usuario ingresa ID por teclado o bluetooth	✓
2	Conectar con base de datos	✓
3	Extraer datos asociados a ID	✓
4	Presentar en pantalla los datos extraídos	✓

Continúa en la siguiente página.

Observaciones:

- En todas las pruebas, para el ingreso del ID por bluetooth, ya sea iniciando la aplicación de usuario con el lector encendido o encendiendo el lector con la aplicación ejecutándose, se establece la conexión bluetooth y el led de encendido/bluetooth del lector se torna de rojo a amarillo.

Registrarse

1	El usuario solicita acceso	✓
2	El usuario solicita registro	✓
3	El usuario completa datos de registro y acepta	✓
4	Conectar a base de datos	✓
5	Verificar que el usuario no esta registrado	✓
6	Adicionar registro a base de datos	✓

Observaciones:

- Al tratar de conectar a la base de datos, si falla la conexión a internet, el sistema exhibe un mensaje de fallo de red que al aceptarlo cierra la aplicación.
- Si se intenta registrar un usuario existente se da aviso mediante un mensaje en pantalla.

Cargar nuevos registros

1	El usuario pide acceso y se autentifica	✓
2	Acceder a base de datos	✓
3	Verificar si el usuario esta autorizado	✓
4	Brindar acceso a la carga de registro	✓
5	El usuario selecciona "Nuevo registro"	✓
6	Limpiar caja de texto	✓
7	El usuario carga datos y acepta	✓
8	Conectar la base de datos	✓

Continúa en la siguiente página.

9	Adicionar registros a la base de datos	✓
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Se avisa mediante mensaje en pantalla si el usuario no existe, si no tiene autorización o si la contraseña es incorrecta. ■ El dato ID puede ingresarse manualmente o por medio del lector a través de bluetooth. ■ Al aceptar la carga de datos, se avisa mediante mensaje en pantalla si un campo se encuentra vacío. 		

Editar registros		
1	El usuario pide acceso y se autentifica	✓
2	Acceder a la base de datos	✓
3	Verificar si el usuario está autorizado	✓
4	Brindar acceso a la edición de registros	✓
5	El usuario modifica datos y acepta	✓
6	acceder a base de datos	✓
7	reemplazar registros	✓
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Se avisa mediante mensaje en pantalla si el ID ingresado no está registrado. 		

Visualizar historial		
1	El usuario pide acceso y se autentifica	✓
2	Acceder a base de datos	✓
3	Verificar si el usuario esta autorizado	✓
4	Brindar acceso a la carga de registros	✓
5	El usuario ingresa ID manualmente o por bluetooth	✓
6	Acceder a base de datos	✓
7	Extraer historial asociado a ID	✓

Continúa en la siguiente página.

8	Presentar historial en pantalla	✓
Observaciones:		
<ul style="list-style-type: none">■ Al ingresar al historial, el usuario puede adicionar nuevos registros que se adjuntan automáticamente con el nombre de usuario y la fecha actualizada.		

En base a las pruebas realizadas se concluye que el sistema cumple con las funcionalidades exigidas por el diseño de la solución propuesta.

6. Conclusiones finales

Se obtuvo el diseño y un prototipo funcional para la lectura de etiquetas de identificación animal bajo norma ISO11785 FDX-B a una distancia promedio de 15 mm que permite visualizar el código leído en un display y enviarlo vía bluetooth a una aplicación informática que se programó y base de datos que se implementó para que exponga al usuario la información asociada a la etiqueta leída.

Se concibió un dispositivo portátil, con batería recargable, y que permite ser operado con una sola mano en el momento de la lectura, características de valor ante maniobras en entornos con presencia de animales.

En base al análisis realizado en la sección 5.1 se concluye que el producto es apto para competir en precio de venta ante dispositivos importados presentes en el mercado actual. Con respecto a la competencia nacional, existe un producto que posee un precio de venta menor al costo de fabricación del producto diseñado pero funciona con baterías desechables.

En función de los análisis realizados a lo largo del trabajo, se consideran detalles sobre el prototipo y el software, que merecen la mención de potenciales mejoras:

- En el proyecto se utilizó una antena comercial para módulos RFID de 125 kHz. El diseño de una antena en particular para este lector, interviniendo en dimensiones, formas y materiales de bobina y núcleo podrían mejorar sensiblemente la distancia de lectura de las etiquetas.
- La utilización del elevador boost en la fuente del lector introdujo interferencias tanto por línea como por aire que perturban la señal que recibe el demodulador proveniente de la etiqueta. El rediseño del sistema de aporte de energía, quizá con baterías de mayor tensión y reguladores lineales, eliminaría la fuente de interferencias optimizando la performance del lector.
- Se puede pensar en la implementación del sensado de la tensión de batería por el microcontrolador a efectos de informar al usuario el nivel de carga e, incluso, inhibir el encendido de periféricos en caso de un nivel de carga demasiado bajo.
- La aplicación de usuario presenta detalles de implementación que pueden llevar a errores no evaluados en determinadas situaciones. Podría dedicarse tiempo a la evaluación, identificación y solución de estas particularidades. En principio se puede mencionar la falta de validación de formato del ingreso

en los campos de los formularios, la imposibilidad de elección del puerto de comunicación bluetooth o conexión a base de datos y la falta de aviso al usuario ante una conexión a internet interrumpida o inexistente.

- Dando un paso adelante y en vista a una mejora potencial del sistema todo, se puede pensar en el remplazo de la aplicación de usuario, instalada localmente en un equipo, por una solución web capaz de ser utilizada por cualquier equipo que contenga un navegador y servicio de internet.

Considerando los anteriores comentarios se puede concluir que el producto de este trabajo resultó en un sistema apto para el uso práctico pero que, a la vez, fija las bases para el desarrollo de una solución superior.

Desde el punto de vista académico, se pusieron en práctica conocimientos adquiridos en la carrera pertinentes a temas como electrónica analógica, electrónica digital, sistemas embebidos, arquitectura de software, comunicaciones, programación, recorriendo las etapas de un proyecto tecnológico y adquiriendo conocimiento y experiencia en la adquisición y demodulación práctica de señales, diseño de base de datos y programación SQL, programación visual orientada a objetos, manejo de software para diseño de PCB, utilización de software para el diseño y modelado en tres dimensiones y elaboración de documentos en sistemas de composición de textos como lo es LaTeX [59].

Como resultado de este trabajo, se ha publicado el siguiente artículo:

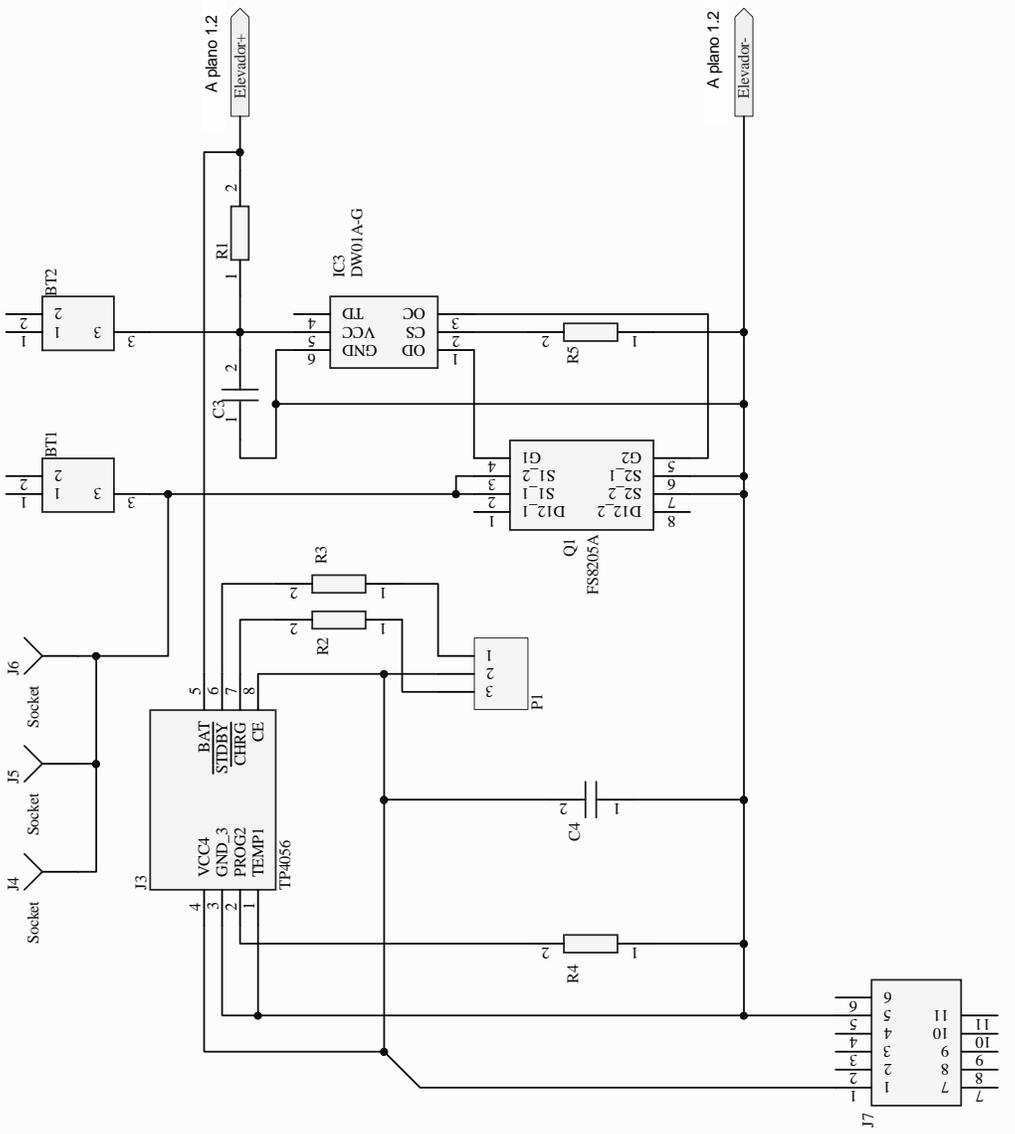
- Ismael Fernandez, Jorge Cogo, Mónica Denham, "Sistema Embebido para el monitoreo y gestión de animales utilizando RFID", CASE, Congreso Argentino de Sistemas Embebidos CASE 2020 :Libro de Trabajos Modalidades Artículo, Foro Tecnológico y Reporte. Congreso Argentino de Sistemas Embebidos – CASE 2020. ISBN 978-987-46297-7-7. pp. 117-119.

Dicho artículo fue expuesto oralmente durante el Congreso celebrado en el año 2020.

Apéndices

Apéndice A - Planos

En las siguientes páginas de este apéndice se presentan, en cuerpo de plano, los diagramas electrónicos en los que se basa el diseño del circuito impreso del lector RFID.



Designación	Código de fabricante	Especificaciones
BT1	Keytone-54	Clip metálico para bat. 18650
BT2	Keytone-54	Clip metálico para bat. 18650
C3	C3216C0G1H104J160AE	Cap. cerámico 0,1uF - 50V - 5% - SMD 1206
C4	C3216C0G1H104J160AE	Cap. cerámico 0,1uF - 50V - 5% - SMD 1206
IC3	DW01A	Integrado protector de batería 18650
J3	TP4056	Integrado gestor de carga de bat. 18650
J4/J5/J6	-	Anclajes para pantalla de RF
J7	47646-0001	Conector micro USB tipo B - hembra - 90 grados
P1	W99EGWICA	Led rojo/verde - ánodo común
Q1	FS8205A	Integrado doble MOSFET canal N
R1	RCS1206100KFKEA	Resistor 100 ohms - 0.5W - 1% - SMD 1206
R2	CRCW12061K00FKBEC	Resistor 1k - 0.25 W - 1% - SMD 1206
R3	CRCW12061K00FKBEC	Resistor 1K - 0.25W - 1% - SMD 1206
R4	CRCW12061K20FKEA	Resistor 1K2 - 0.25W - 1% - SMD 1206
R5	CRCW12061K00FKBEC	Resistor 1K - 0.25W - 1% - SMD 1206

Title

Lector RFID - Cargador

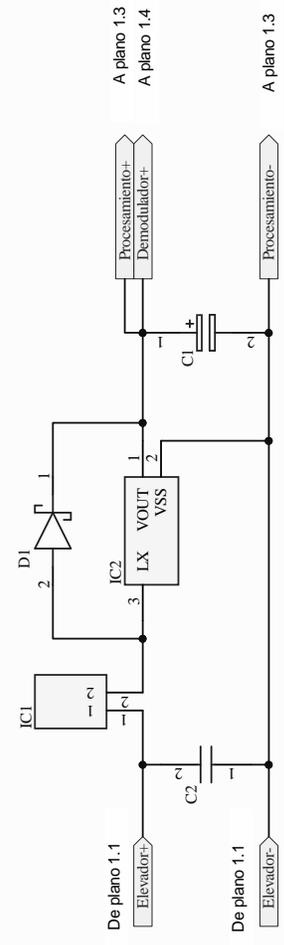
Size	Number	Revision
A4	1.1	1
Date:	2/8/2021	Sheet of
File:	E:\Facultad\...Cargador_SchDoc	Drawn By:
		Fernandez Ismael M.

A

B

C

D



Designación	Código de fabricante	Especificaciones
C1	EEE-1AA102P	Cap. electrol. 1000µf - 10V - SMD
C2	C1206C106Z4VACTU	Cap. 10µf - 16V - 20% - SMD 1206
D1	NRVBS14HE	Diodo schottky 1A - 40V
IC1	SRN5040TA-470K	Inductor 47µf - 1A - SMD
IC2	A7530	CMOS - PMF - convertidor DC-DC

Title: **Lector RFID - Elevador**

Size	Number	Revision
A4	1.2	1

Date:	Sheet of
2/8/2021	4

File:	Drawn By:
E:\Facultad\...Elevador.SchDoc	Fernandez Ismael M.

A

B

C

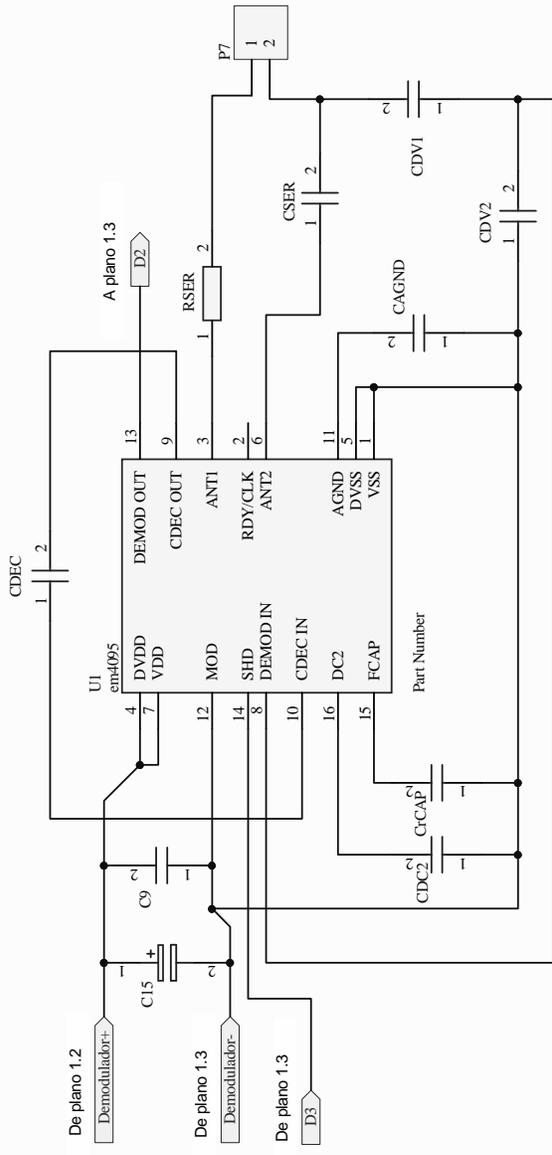
D

A

B

C

D



Designación	Código de fabricante	Especificaciones
CDEC	C3216C0G1H104J160AE	Cap. cerámico 0,1uF - 50V - 5% - SMD 1206
C9	C3216C0G1H104J160AE	Cap. cerámico 0,1uF - 50V - 5% - SMD 1206
CSER	GRM31BTU2H332JW31L	Cap. cerámico 3,3nF - 500V - 5% - SMD 1206
CAGND	C3216C0G1H104J160AE	Cap. cerámico 0,1uF - 50V - 5% - SMD 1206
CDC2	C3216C0G1H103J060AA	Cap. cerámico 10nF - 50V - SMD 1206
CrCAP	C3216C0G1H103J060AA	Cap. cerámico 10nF - 50V - SMD 1206
CDV1	VJ1206A220XEAC	Cap. cerámico 22pF - 500V - 5% - SMD 1206
CDV2	CGJ5H4XR2H102K115AA	Cap. cerámico 1nF - 500V - 5% - SMD 1206
C15	EEE-1AA102P	Cap. electrolítico 1000uF - 10V - SMD 1206
P7	10118650-406007LF	Pin line macho - 1 x 2 - 2.54mm
RSER	CRGH1206F15R	Resistor 15 ohms - 0.5W - 1% - SMD 1206
U1	EM4095	Integrado estación base 100kHz-150kHz

Lector RFID - Demodulador

Title	Size	Number	Revision
	A4	1.4	1
Date:	12/8/2021	Sheet of	
File:	E:\Facultad\...Demodulador.SchDoc	Drawn By:	Fernandez Ismael M.

Apéndice B - Código del firmware

En las siguientes páginas del presente apéndice se expone la transcripción del código instalado en el microcontrolador que compone al lector RFID.

```

////////// Bibliotecas externas //////////
#include <avr/sleep.h> //necesaria para "dormir"
#include <avr/power.h> //necesaria para "dormir"
#include <SoftwareSerial.h> //necesaria para crear puerto serie virtual
#include "U8glib.h" //maneja display OLED

////////// Definición de pines //////////
#define perifericos 7
#define buzzer 8
#define SHD 3
#define D_OUT 2

////////// Selección OLED y puerto serie //////////
U8GLIB_SSD1306_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_DEV_0 | U8G_I2C_OPT_NO_ACK | U8G_I2C_OPT_FAST);
//selección OLED
SoftwareSerial mySerial(5, 6); //configuro puerto serie virtual para bluetooth

//////////Defino variables//////////
volatile unsigned long cuenta = 0;
volatile bool bits[256];
volatile bool ID[38];
volatile int i,l,r,s,n;
volatile int nlectura = 0;
unsigned int pais = 0;
String lectura;
String tag;
volatile unsigned int cuenta1 = 0;
//////////Setup//////////
void setup()
{
  pinMode(perifericos,OUTPUT); //defino como salida
  digitalWrite(perifericos,HIGH); //encender periféricos
  pinMode(buzzer, OUTPUT); //defino como salida
  digitalWrite(buzzer, LOW); //apagar buzzer
  pinMode(D_OUT,INPUT); //defino como entrada
  pinMode(SHD, OUTPUT); //defino como salida
  digitalWrite(SHD, HIGH); //deshabilito demodulador
  //Configuro y habilito interrupción de TIMER 2//////////
  SREG = (SREG & 0b01111111); //Desabilito interrupciones
  TIMSK2 = TIMSK2|0b00000001; //Habilito la interrupcion por desbordamiento
  TCCR2B = 0b00000111; //Configuro preescala para que FT2 sea de 7812.5Hz
  SREG = (SREG & 0b01111111) | 0b10000000; //Habilito interrupciones
  //////////
  tag = "";
  Serial.begin(9600); //configuro puerto serie a 9600 baudios
  mySerial.begin(9600); //configuro puerto serie virtual a 9600 baudios
  mostrarDisplay ("Leyendo", " "); //muestro Leyendo en el display
  beep(100); //emito sonido por 100 milisegundos
}
//////////Loop//////////
void loop()
{
  attachInterrupt (digitalPinToInterrupt(D_OUT),isr,CHANGE); //habilito interrupcion externa por cambio en pin2
  for (i=0;i<256;i++) bits[i]=0; //coloco en 0 todos los componentes del array bits
  digitalWrite(SHD,LOW); //habilito el demodulador
  cuenta = micros();
  l = 0;
  while(l<512) //durante 512 interrupciones externas
  {
  }
}

```

```

digitalWrite(SHD, HIGH); //deshabilito el demodulador
detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(D_OUT)); //deshabilito interrupcion externa
i = 0; r = 0;
while(i<256 && r<1)
{
  if (bits[i] == 1 && bits[i+1] == 0 && bits[i+2] == 0 && bits[i+3] == 0 //Busco cabecera
  && bits[i+4] == 0 && bits[i+5] == 0 && bits[i+6] == 0 && bits[i+7] == 0
  && bits[i+8] == 0 && bits[i+9] == 0 && bits[i+10] == 0)
  {r = i + 11;}else{i++;}
  if (r > 0 &&
(bits[r]&bits[r+9]&bits[r+18]&bits[r+27]&bits[r+36]&bits[r+45]&bits[r+54]&bits[r+63]&bits[r+72]
&bits[r+81]&bits[r+90])== true){ //verifico unos de inicio de bits e interpreto ID y pais
  for(n=r;n<8+r;n++) {ID[n-r] = bits[n+1];}
  for(n=8+r+r;n<16+r;n++){ID[n-r] = bits[n+2];}
  for(n=16+r;n<24+r;n++){ID[n-r] = bits[n+3];}
  for(n=24+r;n<32+r;n++){ID[n-r] = bits[n+4];}
  for(n=32+r;n<38+r;n++){ID[n-r] = bits[n+5];}
  for(s=0;s<2;s++) {bitWrite(pais ,s,bits[r+43+s]);}
  for(s=2;s<10;s++) {bitWrite(pais ,s,bits[r+44+s]);}
  if(crc() && nlectura<1){
    lectura = String(mostrar_codigo(ID));
    nlectura++;
  }
  if(crc() && nlectura>0){
    if (lectura = String(mostrar_codigo(ID)))
      {nlectura++;} else {lectura = String(mostrar_codigo(ID)); nlectura = 0;}
  }

  if( nlectura > 2 && tag != lectura) //Si realiza 2 lecturas iguales de la etiqueta
  {Serial.println(String(lectura)); //imprime lectura por puerto serie
  mySerial.print(String(lectura)); //imprime lectura por bluetooth
  mostrarDisplay ("Codigo", String(lectura)); //imprime lectura en display
  beep(150); // emite pitido
  tag = String(lectura) ;
  nlectura=0;
  cuenta1 = 0;}

}

if( cuenta1 > 2699) //duermo el dispositivo si no hay actividad por minuti y medio
{
  clearOLED (); //limpio display
  delay(70);
  digitalWrite(perifericos, LOW); //apago periféricos
  cuenta1 = 0;
  enterSleep(); //duermo microcontrolador
}
}
////////////////////Función isr////////////////////////////////////
void isr()
{
  if ( (micros() - cuenta) < 200 & (micros() - cuenta) >80){cuenta = micros();l++;} //identifico bit 0

  if ( (micros() - cuenta) > 200){cuenta = micros(); l = l + 2; bits[l/2] = 1;} //identifico bit 1
}
////////////////////FUNCIÓN mostrar_codigo////////////////////////////////////
String mostrar_codigo(bool id[38]) //funcio que pasa id de binario a decimal por "double dabble"
{
  unsigned int IDD[3] = {0,0,0};

```

```

for (i=0;i<37;i++){
  IDD[2]=IDD[2]<<1; bitWrite(IDD[2],0,bitRead(IDD[1],15));
  IDD[1]=IDD[1]<<1; bitWrite(IDD[1],0,bitRead(IDD[0],15));
  IDD[0]=IDD[0]<<1; bitWrite(IDD[0],0,id[37]);
  for (l=0;l<37;l++){id[37-l]=id[36-l];}
  for (n=0;n<3;n++){
    if((IDD[n]&0x000f)>0x0004) {IDD[n]=IDD[n]+0x0003;}
    if((IDD[n]&0x00f0)>0x0040) {IDD[n]=IDD[n]+0x0030;}
    if((IDD[n]&0x0f00)>0x0400) {IDD[n]=IDD[n]+0x0300;}
    if((IDD[n]&0xf000)>0x4000) {IDD[n]=IDD[n]+0x3000;}
  }
}
IDD[2]=IDD[2]<<1; bitWrite(IDD[2],0,bitRead(IDD[1],15));
IDD[1]=IDD[1]<<1; bitWrite(IDD[1],0,bitRead(IDD[0],15));
IDD[0]=IDD[0]<<1; bitWrite(IDD[0],0,id[37]);
return (String(pais)+

String((IDD[2]&0xf000)>>12)+String((IDD[2]&0xf00)>>8)+String((IDD[2]&0xf0)>>4)+String(IDD[2]&0x
000f)+

String((IDD[1]&0xf000)>>12)+String((IDD[1]&0xf00)>>8)+String((IDD[1]&0xf0)>>4)+String(IDD[1]&0x
000f)+

String((IDD[0]&0xf000)>>12)+String((IDD[0]&0xf00)>>8)+String((IDD[0]&0xf0)>>4)+String(IDD[0]&0x
000f));
}
/////////////////////////////////////////FUNCIÓN crc/////////////////////////////////////////
bool crc () //funcion que aplica CRC a la trama
{
  int t;
  bool resto;
  bool res [17];
  bool trama [80];
  bool poli[] = {1,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1};
  for(n=r;n<8+r;n++){trama[n-r] = bits[n+1];}
  for(n=8+r;n<16+r;n++){trama[n-r] = bits[n+2];}
  for(n=16+r;n<24+r;n++){trama[n-r] = bits[n+3];}
  for(n=24+r;n<32+r;n++){trama[n-r] = bits[n+4];}
  for(n=32+r;n<38+r;n++){trama[n-r] = bits[n+5];}
  for (n=38+r;n<40+r;n++) trama[n-r] = bits[n+5];
  for (n=40+r;n<48+r;n++) trama[n-r] = bits[n+6];
  for (n=48+r;n<56+r;n++) trama[n-r] = bits[n+7];
  for (n=56+r;n<64+r;n++) trama[n-r] = bits[n+8];
  for (n=64+r;n<72+r;n++) trama[n-r] = bits[n+9];
  for (n=72+r;n<80+r;n++) trama[n-r] = bits[n+10];
  for (n=0;n<17;n++) res[n] = trama[n];
  n=0;t=0;
  while (n<63 && t<63){
    while (res[0] == 0){
      for (s=0;s<16;s++){res[s] = res[s + 1];}
      res[16] = trama[n+17];
      n++;
    }
    for(s=0;s<17;s++) {res[s] = res[s] ^ poli[s];}
    t++;
  }
  if ((res[0]|res[1]|res[2]|res[3]|res[4]|res[5]|res[6]|res[7]|res[8]|res[9]|res[10]|res[11]|res[12]|res[13]|res[14]|res[15]|
res[16]) == false) return true;
  else return false;
}

```

```

////////////////////////////////// FUNCION ISR del TIMER2 ////////////////////////////////////
ISR(TIMER2_OVF_vect){ //ISR de interrupción externa
    cuenta1++;
}
////////////////////////////////// FUNCION enterSleep ////////////////////////////////////
void enterSleep(void){
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
    sleep_enable();
    sleep_mode();
}
////////////////////////////////// FUNCION BUZZER ////////////////////////////////////
void beep (double tiempo) //emite pitido durante tiempo
{
    digitalWrite(buzzer, HIGH); // poner el Pin en HIGH
    delay(tiempo); // esperar "tiempo" segundos
    digitalWrite(buzzer, LOW);
}
////////////////////////////////// FUNCION DISPLAY ////////////////////////////////////
void mostrarDisplay (String titulo,String codigo) //muestra en dos líneas titulo y codigo en display
{
    u8g.firstPage();
    do {
        u8g.setPrintPos(35, 30);
        u8g.print(titulo);
        draw();
        u8g.setPrintPos(0, 50);
        u8g.print(codigo);
        draw();
    } while( u8g.nextPage() );

}
void draw(void) { //función de configuración del display
    u8g.setFont(u8g_font_unifont);
}
////////////////////////////////// BORRAR DISPLAY ////////////////////////////////////
void clearOLED () {
    u8g.firstPage ();
    do {
    } while (u8g.nextPage ());
}
}

```

Apéndice C - Código SQL para generar la base de datos

En las siguientes páginas de este apéndice se transcribe el script, en lenguaje SQL, generador de las tablas y procedimientos almacenados que conforman la estructura de la base de datos que interactúa con la aplicación de usuario diseñada en el presente trabajo.

```

USE [master]
GO
/***** Object: Database [DB_A55DFE_rfid]  Script Date: 14/7/2020 20:31:41 *****/
CREATE DATABASE [DB_A55DFE_rfid]
CONTAINMENT = NONE
ON PRIMARY
( NAME = N'DB_A55DFE_rfid_Data', FILENAME = N'H:\Program Files\Microsoft SQL
Server\MSSQL14.MSSQLSERVER\MSSQL\DATA\DB_A55DFE_rfid_DATA.mdf' , SIZE =
8192KB , MAXSIZE = 1024000KB , FILEGROWTH = 10%)
LOG ON
( NAME = N'DB_A55DFE_rfid_Log', FILENAME = N'H:\Program Files\Microsoft SQL
Server\MSSQL14.MSSQLSERVER\MSSQL\DATA\DB_A55DFE_rfid_Log.LDF' , SIZE =
3072KB , MAXSIZE = 2048GB , FILEGROWTH = 10%)
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET COMPATIBILITY_LEVEL = 140
GO
IF (1 = FULLTEXTSERVICEPROPERTY('IsFullTextInstalled'))
begin
EXEC [DB_A55DFE_rfid].[dbo].[sp_fulltext_database] @action = 'enable'
end
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET ANSI_NULL_DEFAULT OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET ANSI_NULLS OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET ANSI_WARNINGS OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET ARITHABORT OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET AUTO_CLOSE OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET AUTO_SHRINK OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET AUTO_UPDATE_STATISTICS ON
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET CURSOR_CLOSE_ON_COMMIT OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET CURSOR_DEFAULT GLOBAL
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET CONCAT_NULL_YIELDS_NULL OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET NUMERIC_ROUNDABORT OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET QUOTED_IDENTIFIER OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET RECURSIVE_TRIGGERS OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET ENABLE_BROKER
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET AUTO_UPDATE_STATISTICS_ASYNC OFF

```

```

GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET DATE_CORRELATION_OPTIMIZATION OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET TRUSTWORTHY OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET ALLOW_SNAPSHOT_ISOLATION OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET PARAMETERIZATION SIMPLE
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET READ_COMMITTED_SNAPSHOT OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET HONOR_BROKER_PRIORITY OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET RECOVERY SIMPLE
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET MULTI_USER
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET PAGE_VERIFY CHECKSUM
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET DB_CHAINING OFF
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET FILESTREAM( NON_TRANSACTED_ACCESS
= OFF )
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET TARGET_RECOVERY_TIME = 60 SECONDS
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET DELAYED_DURABILITY = DISABLED
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET QUERY_STORE = OFF
GO
USE [DB_A55DFE_rfid]
GO
/***** Object: Table [dbo].[Animal]   Script Date: 14/7/2020 20:31:50 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[Animal](
    [id_animal] [int] IDENTITY(1,1) NOT FOR REPLICATION NOT NULL,
    [rfid_animal] [varchar](16) NOT NULL,
    [nombre_animal] [varchar](30) NULL,
    [fechaDeNac_animal] [date] NULL,
    [especie_Animal] [varchar](15) NULL,
    [raza_animal] [varchar](30) NULL,
    [color_animal] [varchar](20) NULL,
    [foto_animal] [image] NULL,
    [nota_animal] [varchar](200) NULL,
    [dni_titular] [varchar](8) NULL,
    [fechaAntirrabica] [date] NULL,
    [fechaDesparacitado] [date] NULL,
    [castrado] [bit] NULL,
    [sexo] [varchar](10) NULL,

```

```

CONSTRAINT [PK__Animal__1967CD2FDD5B1EB8] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_animal] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY] TEXTIMAGE_ON [PRIMARY]
GO
/***** Object: Table [dbo].[Historial]  Script Date: 14/7/2020 20:31:52 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[Historial](
    [id_historial] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [fecha_historial] [date] NULL,
    [nota_historial] [varchar](200) NULL,
    [id_veterinario] [int] NULL,
    [rfid_animal] [varchar](15) NOT NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_historial] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO
/***** Object: Table [dbo].[Titular]  Script Date: 14/7/2020 20:31:52 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[Titular](
    [id_titular] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [apellido_titular] [varchar](20) NULL,
    [nombre_titular] [varchar](30) NULL,
    [dni_titular] [varchar](8) NOT NULL,
    [domicilio_titular] [varchar](30) NULL,
    [telefono_titular] [varchar](15) NULL,
    [email_titular] [varchar](30) NULL,
    [foto_titular] [image] NULL,
CONSTRAINT [PK__Titular__4E1CC016C5080E02] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_titular] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY] TEXTIMAGE_ON [PRIMARY]
GO
/***** Object: Table [dbo].[Veterinario]  Script Date: 14/7/2020 20:31:52 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[Veterinario](

```

```

[id_veterinario] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
[usuario_veterinario] [varchar](20) NULL,
[contraseña_veterinario] [varchar](10) NULL,
[apellido_veterinario] [varchar](20) NULL,
[nombre_veterinario] [varchar](30) NULL,
[matricula_veterinario] [varchar](10) NULL,
[domicilio_veterinario] [varchar](30) NULL,
[telefono_veterinario] [varchar](15) NULL,
[email_veterinario] [varchar](30) NULL,
[autorizado] [bit] NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
[id_veterinario] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO
ALTER TABLE [dbo].[Historial] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_Historial_Veterinario] FOREIGN KEY([id_veterinario])
REFERENCES [dbo].[Veterinario] ([id_veterinario])
GO
ALTER TABLE [dbo].[Historial] CHECK CONSTRAINT [FK_Historial_Veterinario]
GO
/***** Object: StoredProcedure [dbo].[SP_EliminarAnimal] Script Date: 14/7/2020 20:31:52
*****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
create proc [dbo].[SP_EliminarAnimal]
@rfid_animal as varchar(12)
As
delete from Animal where rfid_animal = @rfid_animal
GO
/***** Object: StoredProcedure [dbo].[spEditarAnimal] Script Date: 14/7/2020 20:31:52
*****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE PROCEDURE [dbo].[spEditarAnimal]

@rfidAnimal varchar (15),
@nombreAnimal varchar (30),
@fechaDeNacAnimal date,
@especieAnimal varchar (15),
@razaAnimal varchar (30),
@colorAnimal varchar (20),
@fotoAnimal image,
@notaAnimal varchar (200),
@dniTitular varchar (8),
@fechaAntirrabica date,

```

```

@fechaDesparacitado date,
@castrado bit,
@sexo varchar(10)
As
begin
update Animal set rfid_animal = @rfidAnimal
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set nombre_animal = @nombreAnimal
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set fechaDeNac_animal = @fechaDeNacAnimal
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set especie_animal = @especieAnimal
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set raza_animal = @razaAnimal
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set color_animal = @colorAnimal
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set foto_animal = @fotoAnimal
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set nota_animal = @notaAnimal
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set fechaAntirrabica = @fechaAntirrabica
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set fechaDesparacitado = @fechaDesparacitado
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set castrado = @castrado
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set sexo = @sexo
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
update Animal set dni_titular = @dniTitular
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
end
return
GO
/***** Object: StoredProcedure [dbo].[spEditarTitular]  Script Date: 14/7/2020 20:31:52
*****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE PROCEDURE [dbo].[spEditarTitular]

@apellidoTitular varchar (20),
@nombreTitular varchar (30),
@dniTitular varchar (8),
@domicilioTitular varchar (30),
@telefonoTitular varchar (15),
@emailTitular varchar (30),
@fotoTitular image
As
begin
update Titular set apellido_titular = @apellidoTitular

```

```

where dni_titular = @dniTitular
update Titular set nombre_titular = @nombreTitular
where dni_titular = @dniTitular
update Titular set domicilio_titular = @domicilioTitular
where dni_titular = @dniTitular
update Titular set telefono_titular = @telefonoTitular
where dni_titular = @dniTitular
update Titular set email_titular = @emailTitular
where dni_titular = @dniTitular
update Titular set foto_titular = @fotoTitular
where dni_titular = @dniTitular
end
return
GO
/***** Object: StoredProcedure [dbo].[spInsertarAnimal]  Script Date: 14/7/2020 20:31:52
*****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE proc [dbo].[spInsertarAnimal]
@rfidAnimal varchar (15),
@nombreAnimal varchar (30),
@fechaDeNacAnimal date,
@especieAnimal varchar (15),
@razaAnimal varchar (30),
@colorAnimal varchar (20),
@fotoAnimal image,
@notaAnimal varchar (200),
@dniTitular varchar (8),
@fechaAntirrabica date,
@fechaDesparacitado date,
@castrado bit,
@sexo varchar(10)
As
begin
insert into Animal values (@rfidAnimal, @nombreAnimal, @fechaDeNacAnimal,
@especieAnimal, @razaAnimal,@colorAnimal,
@fotoAnimal, @notaAnimal,
@dniTitular,@fechaAntirrabica,@fechaDesparacitado,@castrado,@sexo)
end
return
GO
/***** Object: StoredProcedure [dbo].[spInsertarHistorial]  Script Date: 14/7/2020 20:31:52
*****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE proc [dbo].[spInsertarHistorial]
@notaHistorial varchar (200),
@idVeterinario int,

```

```
@rfIdAnimal varchar(15),
@fechaAntirrabica date,
@fechaDesparacitado date,
@castrado bit
As
begin
insert into Historial values (GETDATE(), @notaHistorial, @idVeterinario, @rfIdAnimal)
update Animal set fechaAntirrabica = @fechaAntirrabica
update Animal set fechaDesparacitado = @fechaDesparacitado
update Animal set castrado = @castrado
WHERE rfid_animal = @rfidAnimal
end
return
GO
```

```
/****** Object: StoredProcedure [dbo].[spInsertarTitular] Script Date: 14/7/2020 20:31:52
*****/
```

```
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
```

```
create proc [dbo].[spInsertarTitular]
@apellidoTitular varchar (20),
@nombreTitular varchar (30),
@dniTitular varchar (8),
@domicilioTitular varchar (30),
@telefonoTitular varchar (15),
@emailTitular varchar (30),
@fotoTitular image
As
begin
insert into Titular values (@apellidoTitular, @nombreTitular, @dniTitular, @domicilioTitular,
@telefonoTitular,@emailTitular, @fotoTitular)
end
return
GO
```

```
/****** Object: StoredProcedure [dbo].[spInsertarVeterinario] Script Date: 14/7/2020 20:31:52
*****/
```

```
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
create proc [dbo].[spInsertarVeterinario]
@usuarioVeterinario varchar (20),
@contraseñaVeterinario varchar (10),
@apellidoVeterinario varchar(20),
@nombreVeterinario varchar (30),
@matriculaVeterinario varchar (10),
@domicilioVeterinario varchar (30),
@telefonoVeterinario varchar(15),
@emailVeterinario varchar (30),
@autorizado bit
As
```

```
begin
insert into Veterinario values (@usuarioVeterinario, @contraseñaVeterinario, @apellidoVeterinario,
@nombreVeterinario,
@matriculaVeterinario,@domicilioVeterinario,@telefonoVeterinario, @emailVeterinario,
@autorizado)
end
return
GO
USE [master]
GO
ALTER DATABASE [DB_A55DFE_rfid] SET READ_WRITE
GO
```

Apéndice D - Procedimiento para instalar el firmware via ICSP

La placa de desarrollo de Arduino Nano que conforma el prototipo posee un circuito integrado microcontrolador ATMEGA 328P-AU que contiene, al momento de adquirirlo, en su memoria un gestor de arranque (bootloader) que permite de manera fácil y amigable la carga de programas a su sistema a través del puerto serie interpretando los archivos con extensión .HEX y actuando sobre la memoria flash.

Al momento de adquirir un circuito integrado ATMEGA 328P-AU como el que se utiliza en el diseño del dispositivo final, este se ofrece sin el bootloader.

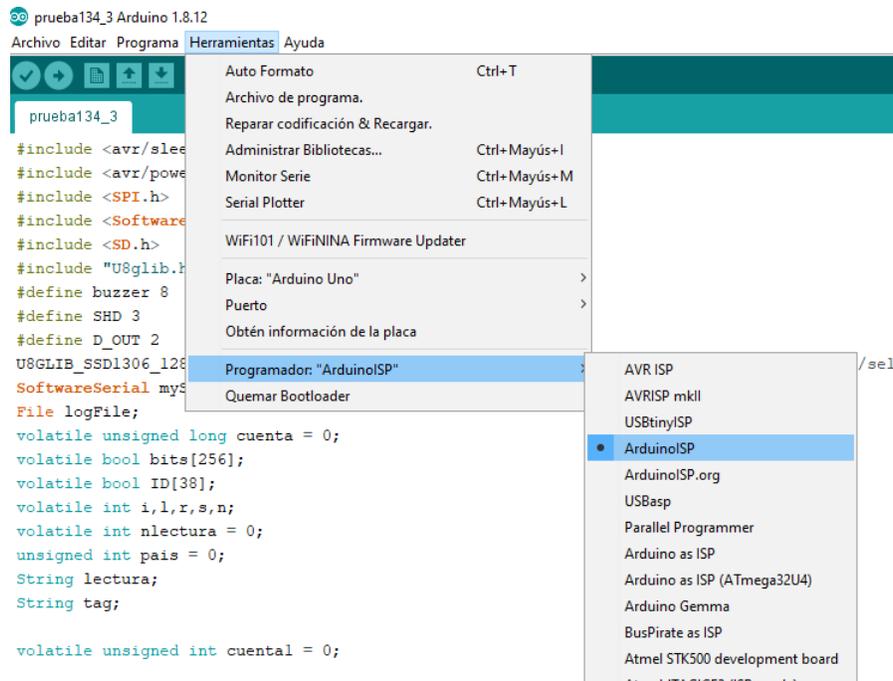


Figura 95: IDE Arduino - Implementación de programador ICSP.

Para hacer posible la carga del programa al dispositivo el diseño realizado en este trabajo integra en la Placa de Circuitos Impresos (PCB) conectores para Programación Serial en Circuito (ICSP) cuya conexión a un hardware apropiado (Programador) permite llevar a cabo el procedimiento con el microcontrolador ya instalado en la placa de circuitos por medio de comunicación por Interfaz Periférica Serial (SPI). Si bien existen variedad de programadores comerciales como lo son el Pololu USB AVR Programmer v2.1 [60] o el Tinsyine Fba_g509a0087632eb V2

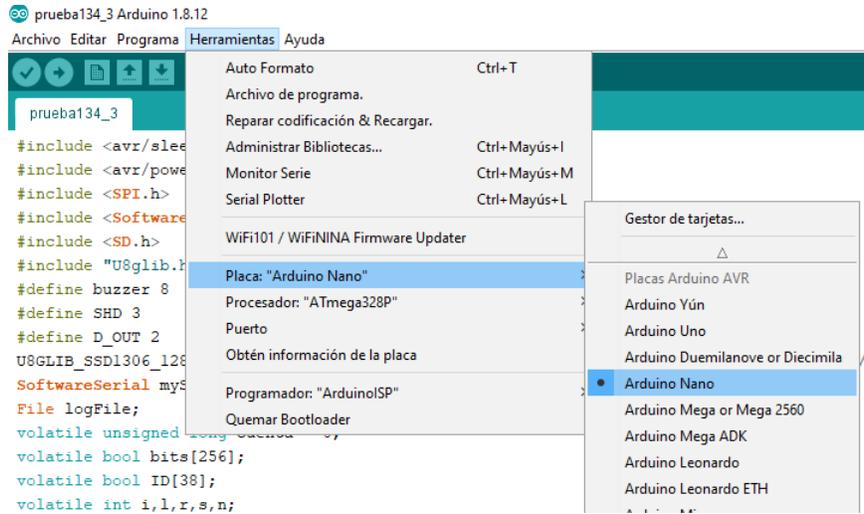


Figura 96: IDE Arduino - Programación ICSP.

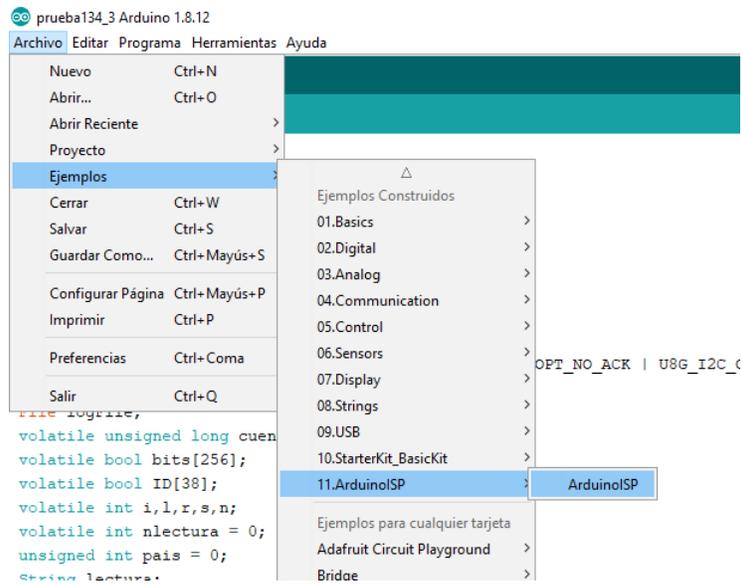


Figura 97: IDE Arduino - Programación ICSP.

Avr [61], en este apartado se presenta la opción práctica y relativamente económica de utilizar una placa de desarrollo Arduino Uno [62] como programador y el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino para llevar a cabo la instalación del firmware en el microcontrolador del dispositivo final.

Para construir un programador ICSP, con una placa de desarrollo Arduino Uno, solo basta con instalar con el IDE de Arduino el sketch que este contiene entre sus ejemplos de programas en el menú “Archivo - Ejemplos - ArduinoISP - ArduinoISP” (Figura 95) , a través de su conector micro USB por puerto serie. Para efectuar la programación al microcontrolador del PCB debe realizarse las conexiones entre el conector ICSP del PCB y el conector ICSP de la placa Arduino UNO haciendo coincidir los números de pines.

Una vez realizadas las conexiones se selecciona en el IDE “Herramientas - Placa: - Arduino Nano” (Figura 96) y “Herramientas - Programador: - ArduinoISP” (Figura 97) y se realiza la carga del sketch al microcontrolador del PCB a través de comunicación SPI y con la placa Arduino uno como programador.

Apéndice E - Modelado 3D

Si bien el presente trabajo no cuenta como objetivo la implementación física del dispositivo final, se consiguió realizar la impresión en 3 dimensiones tanto del gabinete diseñado como del modelo de la placa de circuitos impresos. La experiencia permitió cotejar la posición de los diferentes componentes, las dimensiones del dispositivo y su relación con las características prácticas y ergonómicas. Como material de impresión se utilizó filamento PLA de 1,75 mm de diámetro alimentando a una impresora de calidad hogareña marca Ender modelo 3. En la Figura 98 se puede observar el resultado de las impresiones en 3 dimensiones.

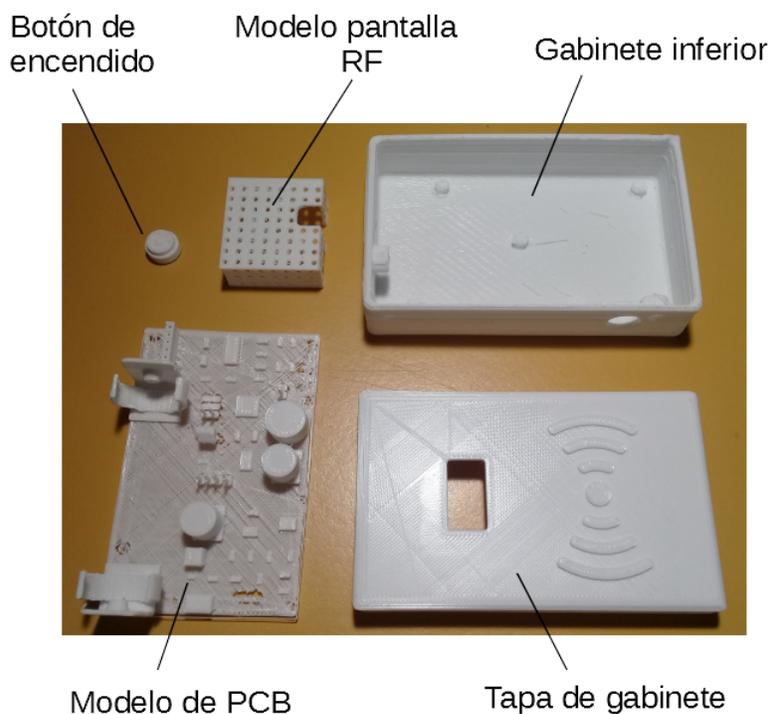


Figura 98: Modelos impresos en 3D.

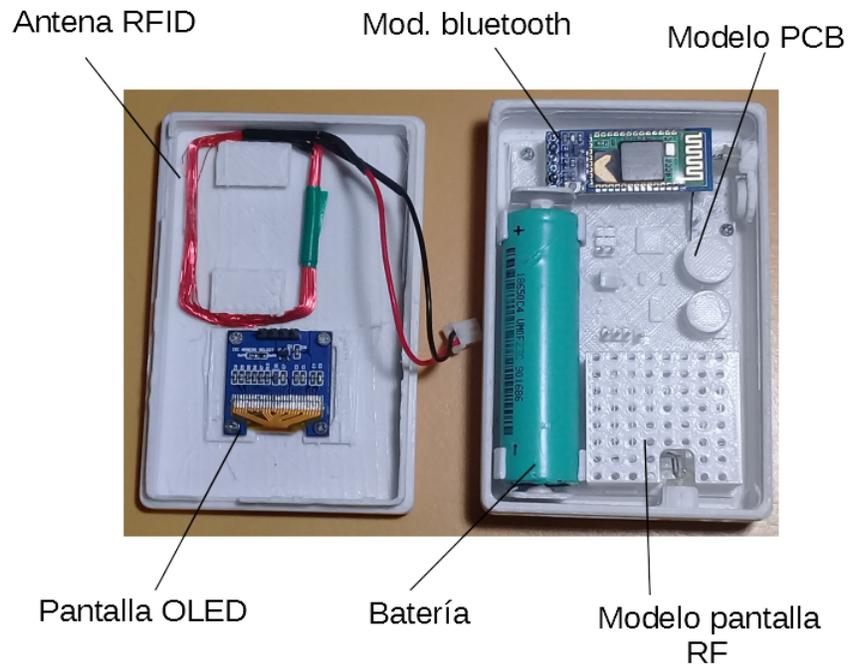


Figura 99: Vista interior del modelado 3D.



Figura 100: Vista del dispositivo final.

La Figura 99 muestra el interior del modelo del lector impreso en 3D y el montaje de los módulos que lo integran. Por último, en la Figura 100 se expone la apariencia del dispositivo final en su modelado 3D.

Referencias

- [1] ANDigital. Argentina aún debe trabajar la problemática de los perros callejeros. URL <http://andigital.com.ar/interes-general/item/70106-argentina-aun-debe-trabajar-la-problematika-de-los-perros-callejeros>, 2018. Último acceso 15-06-2020.
- [2] Colegio de Veterinarios de la Provincia de Buenos Aires. Adoptar: un compromiso social. URL <http://cvpba.org/noticias/institucionales/adoptar-compromiso-social/>. Último acceso 08-07-2020.
- [3] Colegio de Veterinarios de la Provincia de Buenos Aires. Colegio de veterinarios de la provincia de buenos aires. URL <http://cvpba.org/>, 2020. Último acceso 23-07-2020.
- [4] Vanesa López. Un problema sanitario, la superpoblación de perros y gatos no tiene freno y colapsó los refugios de animales. URL https://www.clarin.com/sociedad/superpoblacion-perros-gatos-freno-colapso-refugios-animales_0_M-wvrAOFB.html, 23-11-2018. Último acceso 15-06-2020.
- [5] Next Points. Tipos de tag rfid. URL <https://nextpoints.com/tipos-tag-rfid/>, 2018. Último acceso 16-06-2020.
- [6] International Organization for Standardization. Radio frequency identification for animals, code structure, iso 11784, 1996.
- [7] International Organization for Standardization. Radio frequency identification for animals, technical concepts, iso 11785, 1996.
- [8] International Organization for Standardization. The international standard for country codes and codes for their subdivisions, iso 3166, 1996.
- [9] Uyless D. Black. Redes de transmisión de datos y proceso distribuido, 1987. 1^{ra} edición, traducción de Eduardo Echave Sustaeta, Edición Diaz de Santos S. A. / A Prentice - Hall, pp. 208–209.
- [10] David J. Wetherall Andrew S. Tanenbaum. Redes de computadoras, 2008. 5^{ta} edición, Pearson, traducción al castellano, pp. 183–186,.

- [11] Br. Mario Rodolfo García Díaz Br. Joseling Vanessa Sánchez Centeno. Diseño e implementación de un bastón portable lector de etiquetas rfid para la identificación del ganado y el ingreso de datos en los sistemas de trazabilidad bobina que operan en nicaragua. URL <http://ribuni.uni.edu.ni/1572/1/91188.pdf>, 2017. Universidad Nacional De Ingeniería UNI-RUSB, pp. 64–71. Último acceso 17-06-2020.
- [12] Real Trace. Interpretación de los códigos de chips transpondedores inyectados a animales de compañía y caballos y nac. URL <http://www.realtrace.com/page-sp/regulacion>. Último acceso 16-06-2020.
- [13] Tecnolochip. Mini-microchip genérico iso 11784 / 85. <https://tecnolochip.com/producto/mini-microchip-generico-iso-11784-85/>, 2020. Último acceso 22-04-2021.
- [14] mis mascotas. Microchip - identificación para mascotas (caja x10) europa. <https://mismascotas.com.ar/tienda/identificacion/microchip-identificacion-para-mascotas-caja-x10-europa/>, 2021. Último acceso 22-04-2021.
- [15] LA 247 S.A. Caja 10 microchips inyectables – datamars. <https://tienda.chip247.com/producto/caja-10-microchips-inyectables-datamars/>, 2019. Último acceso 22-04-2021.
- [16] eBay. Etiqueta de identificación del animal doméstico mini microchip rfid animal perro gato chip fdx-b iso11784/5 chip implante. <https://www.ebay.com/itm/184593770039?hash=item2afaa56637:g:W24AAOSwOahe8bbs>, 2021. Último acceso 22-04-2021.
- [17] ICAR. Icar the global standar for livestock data. <https://www.icar.org/>, 2021. Último acceso 27-04-2021.
- [18] Faread Tecnologi Co. Faread trusted identification. URL <http://www.faread.com/>. Último acceso 16-06-2020.
- [19] Datamars. Datamars home. URL <https://datamars.com/>. Último acceso 08-07-2020.
- [20] Datamars Inc. Datamars. URL <http://www.datamars.com.ar/>. Último acceso 16-06-2020.

- [21] Lector para identificación para mascotas, escaner chip. URL https://es.aliexpress.com/item/4000105764661.html?spm=a219c.search0302.3.1.b9fd5fb57f1VKa&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=b889829a-d47b-4bce-9142-22bec39cdeb0&algo_expid=b889829a-d47b-4bce-9142-22bec39cdeb0-0. Último acceso 16-06-2020.
- [22] Lector scanner chips microchips mascotas perros canino. URL https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-769916627-lector-scanner-chips-microchips-mascotas-perros-canino-_JM#position=2&type=item&tracking_id=f6c5e1ce-e23c-461c-8ed7-f1b32fbc6a50. Último acceso 16-06-2020.
- [23] Amazon Inc. Amazon home. URL <https://www.amazon.com/-/es/>. Último acceso 08-07-2020.
- [24] EM MICROELECTRONIC MARIN SA. Read/write analog front end for 125 khz rfid basestation. URL https://www.emmicroelectronic.com/sites/default/files/products/datasheets/em4095_ds.pdf, 2013. Último acceso 16-06-2020.
- [25] EM MICROELECTRONIC. em microelectronics home. URL <https://www.emmicroelectronic.com/>. Último acceso 08-07-2020.
- [26] EM MICROELECTRONIC MARIN SA. Em4095 application note. URL <https://www.emmicroelectronic.com/sites/default/files/products/datasheets/an404.pdf>, 2002. Último acceso 16-06-2020.
- [27] ITead Studio. Hc-05 -bluetooth to serial port module. URL https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf, 2010. Último acceso 17-06-2020.
- [28] 330ohms. Bluetooth, clases y versiones desde v1.0 hasta v5.0. URL <https://blog.330ohms.com/2017/02/02/bluetooth-clases-y-versiones-desde-v1-0-hasta-v5-0/>, 2017. Último acceso 17-06-2020.
- [29] @njh. U8g2. URL <https://www.arduino-libraries.info/libraries/u8g2>. Último acceso 08-07-2020.

- [30] Fried/Ladyada. [adafruit/adafruit-gfx-library.](https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library) URL [https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library.](https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library) Último acceso 08-07-2020.
- [31] Fried/Ladyada. [Adafruitssd_1306.](https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306) URL [https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306.](https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306) Último acceso 08-07-2020.
- [32] Atmel. Atmega328p. URL http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf, 2015. Último acceso 17-06-2020.
- [33] Arduino.cl. Arduino nano. URL <https://arduino.cl/arduino-nano/>. Último acceso 17-06-2020.
- [34] Arduino. Software. URL <https://www.arduino.cc/en/main/software>. Último acceso 09-07-2020.
- [35] Firtec. Arduino modo sleep. URL <https://www.firtec.com.ar/cms/65-arduino-bajo-consumo>. Último acceso 09-07-2020.
- [36] avr libc. [¡avr / power.hç: Gestión de reducción de potencia.](https://www.nongnu.org/avr-libc/user-manual/group_avr_power.html) URL https://www.nongnu.org/avr-libc/user-manual/group_avr_power.html. Último acceso 09-07-2020.
- [37] Arduino. [Softwareserial library.](https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial) URL [https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial.](https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial) Último acceso 09-07-2020.
- [38] @njh. U8glib. URL <https://www.arduinolibraries.info/libraries/u8glib>. Último acceso 09-07-2020.
- [39] D.A Godse. Godse A.P.A.P. Godse. Digital techniques, 2008. 2^{ta} edición, Pune, pp. 4,.
- [40] Naylamp Mechatronics SAC. [Comandos st hc-05.](https://naylampmechatronics.com/blog/24-configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html) URL <https://naylampmechatronics.com/blog/24-configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html>. Último acceso 10-07-2020.

- [41] Alibaba.com. Bak 18650 de 2200 mah 3,7 v batería de litio de células li-ion batería de baterías recargables. URL <https://spanish.alibaba.com/product-detail/bak-18650-2200mah-3-7v-lithium-battery-cells-li-ion-battery-cell-rechargeable-batteries-1747361917.html>. Último acceso 08-07-2020.
- [42] NanJing Top Power ASIC Corp. Tp4056 1a standalone linear li-ion battery charger with thermal regulation in sop-8. URL <http://www.tp4056.com/d/tp4056.pdf>. Último acceso 17-06-2020.
- [43] Fortune Semiconductor Corporation. Datasheet dw01a. URL <http://www.tp4056.com/d/dw01a-fs.pdf>, 2009. Último acceso 17-06-2020.
- [44] Fortune Semiconductor Corporation. Datasheet fs8205a. URL https://www.ic-fortune.com/upload/Download/FS8205A-DS-17_EN.pdf, 2016. Último acceso 17-06-2020.
- [45] Ferretrónica. Convertidor dc-dc boost usb 5v - 600ma elevador voltaje. URL <https://ferretronica.com/products/convertidor-dc-dc-boost-usb-5v-600ma-elevador-voltaje>, 2020. Último acceso 17-06-2020.
- [46] AiT Semiconductor Inc. A7530. URL https://www.ait-ic.com/uploads//2017-11/29/_1511935705_oe35i9.pdf, 2017. Último acceso 17-06-2020.
- [47] UNI-T. Ut201+/ut202+/ut202a ac clamp meter user manual. [https://www.uni-trend.com/uploadfile/cloud/English %20manual/General %20Meters/UT201+UT202+UT202A+ %20English %20Manual.pdf](https://www.uni-trend.com/uploadfile/cloud/English%20manual/General%20Meters/UT201+UT202+UT202A+%20English%20Manual.pdf), 2021. Último acceso 24-07-2021.
- [48] Master Tools. Manual de instrucciones. http://www.master.com.mx/img/manuales/mpower/USER_MANUAL_MAS_SERIES_OK.pdf, 2021. Último acceso 24-07-2021.
- [49] Cika. Uni-t ut139a/b/c operating manual. https://cika.com.ar/soporte/Information/Multimetros/UT139x_Unit-T.pdf, 2021. Último acceso 4-08-2021.
- [50] Altium. Altium designer. URL <https://www.altium.com/es>. Último acceso 09-07-2020.

- [51] PCBWay. Capacidades pcb de pcbway. <https://www.pcbway.es/capabilities.html>, 2021. Último acceso 4-08-2021.
- [52] Microsoft. Visual studio 2019. URL <https://visualstudio.microsoft.com/es/vs/>, note = Último acceso 10-07-2020, 2020.
- [53] Microsoft. Download sql server management studio (ssms). URL <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/ssms/download-sql-server-management-studio-ssms?view=sql-server-ver15>, 2020. Último acceso 10-07-2020.
- [54] SmarterASP.NET. Superior asp.net hosting. URL <https://www.smarterasp.net/index>, 2020. Último acceso 10-07-2020.
- [55] Mouser Electronics. Mouser, distribuidor de componentes. URL <https://ar.mouser.com/>. Último acceso 08-07-2020.
- [56] Digikey Electronics. Digikey electronics, distribuidor de componentes electrónicos. URL <https://www.digikey.com/es>. Último acceso 08-07-2020.
- [57] MercadoLibre S R L. Mercado libre argentina. URL <https://www.mercadolibre.com.ar/>. Último acceso 08-07-2020.
- [58] Electro Instalador. País — cmo — personal contratado. <https://www.electroinstalador.com/pais/pais-cmo-personal-contratado-n956>, 2021. Último acceso 16-07-2021.
- [59] LATEX. The latex project. URL <https://www.latex-project.org/get/>, 2020. Último acceso 20-07-2020.
- [60] Pololu Corporation. Pololu usb avr programmer. URL <https://www.pololu.com/product/1300>, 2020. Último acceso 13-07-2020.
- [61] Amazon Inc. usbtinyisp v2 avr programador isp para arduino. URL <https://www.amazon.com/-/es/usbtinyisp-V2-AVR-Programador-para-Arduino/dp/B00N8EVQ30>, 2020. Último acceso 13-07-2020.
- [62] Ingeniería MCI Ltda. Arduino uno. URL <https://arduino.cl/arduino-uno/>, 2020. Último acceso 13-07-2020.

- [63] EM MICROELECTRONIC. 512 bit read/write multi-purpose contactless identification device. URL <https://www.emmicroelectronic.com/sites/default/files/products/datasheets/4205-4305-DS-01.pdf>. Último acceso 16-06-2020.
- [64] Albert Lozano-Nieto. Rfid design fundamentals and applications, 2010. CRC Press.
- [65] Dassault Systemes. Solidworks. URL <https://www.solidworks.com/es>. Último acceso 09-07-2020.
- [66] Mis mascotas. Mis mascotas - identifica a tu mascota con nuestra plataforma. URL <https://www.mismascotas.com.ar/>, 2020. Último acceso 23-07-2020.
- [67] Federación Cinológica Argentina. Federación cinológica argentina. URL <http://www.fca2000.org.ar/index.php/esp/>, 2020. Último acceso 23-07-2020.
- [68] Gobierno de Chile. Registro nacional de tenencia responsable de mascotas y animales de compañía. URL <https://registratumascota.cl/inicio.xhtml>, 2020. Último acceso 23-07-2020.
- [69] Europetnet. Europetnet. URL <https://www.europetnet.com/>, 2020. Último acceso 23-07-2020.
- [70] REIAC. Reiac red española de identificación de animales de compañía. URL <https://www.reiac.es/>, 2019. Último acceso 23-07-2020.
- [71] DATAMARS. Petmaxx.com. URL <http://www.petmaxx.com/>, 2019. Último acceso 23-07-2020.
- [72] SegurosVeterinarios.com. Registros de mascotas i. URL <https://www.seguros veterinarios.com/blog/registro-de-mascotas-reiac-red-espanola-identificacion-animales-compania/>, 2014. Último acceso 23-07-2020.