



# Proyecto final de Ingeniería Electrónica

Herramienta multifunción para la empresa  
Spectro

**Autores:** Barrachina, José Agustín  
Schober, Federico Thomas  
Viotti Bozzini, Augusto

**Tutores:** Nemirovsky, Nicolás  
Orchessi, Walter  
Pingitore, Ricardo  
Ugarte, Alejandro

**Fecha:** 12/10/2018

## Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestras familias, parejas y amigos por todo el apoyo a lo largo no sólo de la tesis sino de nuestra carrera.

A los profesores de diseño que nos enseñaron los temas pertinentes para el trabajo y corrigieron. Principalmente a Walter Orchessi quien fue nuestro director y guía a lo largo del proyecto y nos ayudó enormemente.

# Índice (Contenidos)

Agradecimientos	2
Índice (Contenidos)	3
Acrónimos y definiciones	6
Resumen	7
1. Introducción	8
1.1 Descripción de la empresa contratante	8
1.2 Contexto del Proyecto (Desafíos a superar por Spectro)	8
2. Objetivos	10
2.1 Finalidad del Proyecto	10
2.2 Planteamiento del Problema a Resolver	10
2.3 Alcance	10
3. Definición de Producto	12
3.1 Requerimientos de Cliente	13
3.2 Diagrama Funcional de Interfaces	14
3.3 Especificaciones	15
3.3.1 Especificaciones Funcionales	15
3.3.2 Especificaciones de Interfaz	16
3.3.3 Especificaciones de Performance	19
3.3.4 Especificaciones de Implementación	20
3.3.5 Especificaciones de Servicio (RAMS)	20
4. Plan de validación	22
4.1 General	22
4.3 Interfaz Ambiente	26
4.4 Batería	29
4.5 NFC	31
4.6 Módulo de comunicación inalámbrica (NRF)	33
5. Análisis de factibilidad	35
5.1 Factibilidad Tecnológica	35
5.1.1 Esquema modular	35
5.1.2 Propuesta de diseño y elección de alternativas	35
5.1.2.1 Alimentación:	35
5.1.2.2 Microcontrolador/procesador:	37
5.1.2.3 Lector ID:	38
5.1.2.4 Enlace:	38
5.1.2.5 Interfaz IN/OUT:	38
5.1.3 DFMEA	39

5.2 Factibilidad Económica	1
5.2.1 Introducción y explicación del plan de negocios	1
5.2.1.1 Modelo de negocio inicial	1
5.2.1.1 Modelo de negocio propuesto	1
5.2.2 Cálculo del precio del desarrollo	1
5.3 Factibilidad Temporal	3
5.3.1 Introducción	3
5.3.2 Listado de tareas	3
5.3.2.1 Planteo de problema a resolver	3
5.3.2.2 Planificación y programación	4
5.3.2.3 Ejecución	4
5.3.2.5 Cierre	5
5.4 Factibilidad Legal	6
6. Ingeniería en Detalle	7
6.1 Hardware	7
6.1.1 Diagrama de Bloques	8
6.1.2 Análisis en detalle de cada uno de los módulos	9
6.1.2.1 Microprocesador	9
6.1.2.2 Módulo ESP	11
6.1.2.3 Módulo de Comunicaciones	11
6.1.2.4 Display	11
6.1.2.5 Teclado	11
6.1.2.6 Batería Recargable	12
6.1.2.7 Módulo NFC	13
6.2 Software	14
6.2.1 Diagrama de estados	14
6.2.2 Descripción de Subrutinas	15
Estado 1: Idle.	15
Estado 2: Medición de calidad de enlace	15
Estado 3: Lectura NFC	15
6.2.3 Testeo de Software	16
Estado 1: Idle.	16
Estado 2: Medición de calidad de enlace	16
Estado 3: Lectura NFC	16
7. Construcción del prototipo y diseño final	17
7.1 Descripción de los módulos	17
7.2 Diseño final	17
7.2.1 Módulo ESP	19

7.3 Bill of Materials	20
7.3.1 Rangos de temperatura según hojas de datos	20
8. Matriz de Trazabilidad	21
8.1 Cálculo del MTBF	26
Anexo A) Diagramas de Gantt y Pert	28
Anexo B) Documento constitutivo sociedad de hecho	30
Anexo C) Manual de Usuario.	32
1. Información General	32
2. Ámbito de uso de la herramienta y contingencias	32
3. Menú	32
3.1 Funcionalidad “Lector ID Único”	33
3.2 Funcionalidad “Verificación calidad de Enlace”	34
3.2.1 Tecla B, Modo Master:	34
3.2.2 Tecla C, Modo Slave:	35
3.3 Batería	35
Anexo D) Manual de Mantenimiento y Servicio	36
A) Programación	36
B) Errores de inicialización del dispositivo:	36
C) Errores comunes	37
Anexo E) Esquemático diseño final	37
Referencias	38

## Acrónimos y definiciones

Acrónimo	Descripción
<b>HW</b>	Hardware
<b>NFC</b>	Near Field Communication
<b>PCB</b>	Circuito Impreso ( <i>Printed Circuit Board</i> )
<b>I+D</b>	<i>Investigación y Desarrollo</i>
<b>TBD</b>	<i>To Be Determined</i>
<b>BLE</b>	<i>Bluetooth Low Energy</i>
<b>App</b>	Aplicación celular
<b>MAC</b>	MAC Address, media access control address
<b>μC</b>	Microcontrolador (ver definiciones)
<b>μP</b>	Microprocesador (ver definiciones)
<b>API</b>	Interfaz de programación de aplicación (por sus siglas en inglés, Application Programming Interface)

Tabla 4.1: Acrónimos

Acrónimo	Descripción
Microcontrolador	<p>Un microcontrolador difiere de un microprocesador, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de circuitos integrados externos de apoyo. La idea es que el circuito integrado se coloque en el dispositivo, enganchado a la fuente de energía y de información que necesite. Un microprocesador tradicional no permitiría hacer esto, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips. Hay que agregarle los módulos de entrada y salida (puertos) y la memoria para almacenamiento de información.</p>
Microprocesador	<p>Es el circuito integrado central más complejo de un sistema informático; a modo de ilustración, se le suele llamar por analogía el «cerebro» de una computadora.</p> <p>Se encarga de ejecutar los programas, desde el sistema operativo hasta las aplicaciones de usuario; sólo ejecuta instrucciones programadas el lenguaje de bajo nivel, realizando operaciones aritméticas y lógicas simples, tales como sumar, restar, multiplicar, dividir, las lógicas binarias y accesos a memoria.</p> <p>Puede contener una o más unidades centrales de procesamiento (CPU) constituidas,</p>

	esencialmente, por registros, una unidad de control, una unidad aritmético lógica (ALU) y una unidad de punto flotante (llamada antiguamente «coprocesador matemático»).
Dashboard	Interfaz gráfica de usuario, que permite a éste administrar e interactuar con el software
Gateway	Dispositivo que actúa como interfaz de conexión entre dispositivos
Ethernet	Estándar de redes para comunicación. En la jerga, se utiliza también para referirse a la conexión de red por cable RJ-45

Tabla 4.2: Definiciones

## Resumen

En el siguiente trabajo se presenta un diseño de una herramienta para la empresa Spectro en el marco de tesis final de la carrera de ingeniería electrónica del ITBA por parte de tres alumnos de la carrera.

En el informe se detalla todo el diseño de la herramienta desde los requerimientos y especificaciones propios de la herramienta con su plan de validación acorde. Se realiza un análisis de factibilidad legal, económica y tecnológica en donde se incluyen los análisis de fallas y diagrama de tiempos del proyecto. Se describe con detalle toda la ingeniería en el hardware y software de la herramienta y se realizan las pruebas del plan de validación sobre un prototipo construido por los alumnos. También se describe el diseño de la placa final.

Para el trabajo se armó un prototipo de la herramienta a fin de mostrar que el diseño funciona como se debe y que cumple con los requerimientos y las especificaciones. El mismo consta de una herramienta con batería propia que es capaz de medir la calidad de enlace del protocolo utilizado por la empresa y leer tags NFC. También posee módulos WiFi y Bluetooth que si bien no se implementaron en software, se encuentran en la placa para una implementación futura de dichas funcionalidades. También se prevé este caso (implementación de versiones futuras) utilizando un teclado matricial el cual posee más entradas de las necesaria.

Una vez concluido el prototipo se realizaron las pruebas de validación con el fin de verificar que el prototipo cumpliera precisamente con las especificaciones enunciadas dando resultados satisfactorios en todos los casos. Se puede afirmar por lo tanto que la herramienta cumple con los requisitos impuestos.

## 1. Introducción

El presente documento trata sobre el desarrollo de una herramienta multiuso para la empresa Spectro. La herramienta deberá medir la calidad de un enlace de comunicaciones específico de la empresa, así como también ser capaz de leer un campo NFC para identificación de los dispositivos de la compañía.

Para comprender el propósito de la realización de la herramienta y la necesidad que suple la misma, se describe brevemente a la empresa contratante y la solución provisora que aplicaron para subsanar la necesidad planteada al momento de la contratación.

### 1.1 Descripción de la empresa contratante

Spectro es una empresa start-up nacida en noviembre del 2015 que brinda analíticas e información de alto valor agregado acerca del comportamiento de los consumidores en espacios comerciales. La tecnología de Spectro permite sensor y digitalizar el recorrido de los visitantes, en tiempo real y con gran precisión, para conocer, gestionar y optimizar de manera eficaz las operaciones de negocio.

Para ello, Spectro sensa el espectro radioeléctrico en busca de señales emitidas por cualquier dispositivo inteligente. Los datos son enviados a la nube para generar métricas e indicadores tales como conteo de personas, tiempo medio de permanencia y recurrencia. Estas analíticas pueden consultarse en un dashboard personalizado o vía API.

El estudio del espectro se lleva a cabo gracias a dos dispositivos electrónicos desarrollados íntegramente por la empresa, los cuales funcionan en una arquitectura Maestro-Esclavo. Estos dispositivos, identificados unívocamente mediante un código de 16 caracteres hexadecimales, se ubican estratégicamente en el espacio comercial, funcionando como una red de adquisición de datos; ello implica que ningún dispositivo funciona de manera individual.

Los sensores (Esclavo) colectan la información y la envían de forma inalámbrica a los Gateways (Maestro), los cuales envían la información a la nube a través de una conexión Ethernet.

### 1.2 Contexto del Proyecto (Desafíos a superar por Spectro)

La instalación y puesta a punto del servicio en un nuevo espacio comercial representa un proyecto por sí mismo, y es el equipo de Operaciones de la empresa quien lleva adelante su planificación, ejecución y cierre.

En el caso de las pequeñas tiendas el proyecto es pequeño y su duración no es mayor a una semana. Es en las grandes superficies el proyecto toma una importante magnitud (tanto en costos como en tiempos), pudiendo tomar entre 3 y 4 meses debido a la necesidad de ejecutar una obra de cableado eléctrico y de red que involucra –en términos generales- la instalación de un promedio de 250 tomacorrientes en puntos cuidadosamente determinados.

Cualquiera sea el caso, el proceso de puesta en marcha del servicio es el siguiente:

Una vez que el interesado se convierte en cliente dispara la primer etapa del proceso, que consiste en un **relevamiento presencial** del espacio comercial a sensar. En el relevamiento se evalúan una serie de variables que definen la ubicación de los dispositivos. Para evitar una instalación incorrecta que perjudique la calidad del servicio, es necesario garantizar que los dispositivos puedan comunicarse inalámbricamente entre sí; caso contrario, las métricas obtenidas al procesar la información se verían degradadas. Los dispositivos, por la forma en que han sido diseñados, no son capaces de realizar esta validación hasta en tanto no sean instalados de forma permanente. Actualmente, el personal de Spectro valida la ubicación de los dispositivos gracias a una precaria herramienta desarrollada como una solución provisoria hasta en tanto cuenten con un desarrollo escalable.

Luego de definir y validar la ubicación de los dispositivos, se procede a **instalarlos**. El mayor desafío de esta etapa es validar que cada dispositivo sea colocado en el lugar asignado, ya que en caso de haber un error en la distribución de los dispositivos, la calidad del servicio se vería degradada. Para ello, es necesario que el personal de instalación cuente con una herramienta que le permita obtener el identificador único de cada



dispositivo cuando sea necesario, ya que hoy en día el personal de Spectro utiliza sus propios celulares para realizar esta tarea.

Una vez finalizada la instalación, se procede a **calibrar la red**. Para ello se definen puntos críticos del espacio comercial y se emiten señales (similares a las que se medirán una vez que el sistema se encuentre operativo).

Por necesidades de mantenimiento o actualización, el personal de la empresa podría requerir el identificador único del dispositivo en cualquier momento de la vida útil del dispositivo.

## 2. Objetivos

### 2.1 Finalidad del Proyecto

La ejecución del proyecto permitirá a Spectro contar con un dispositivo que integre múltiples herramientas necesarias para la correcta planificación y ejecución de sus proyectos de instalación y puesta en marcha del sistema, reemplazando las herramientas que utilizan actualmente y unificándolas en una única herramienta desarrollada a medida de sus necesidades. En particular, el Departamento de Operaciones de la empresa contará con una única herramienta para suplir sus necesidades de trabajo en campo, permitiendo optimizar tiempos y costos de trabajo al simplificar algunas de las etapas de sus procesos.

### 2.2 Planteamiento del Problema a Resolver

En lo que respecta a la interacción de los dispositivos de Spectro con el espacio donde serán instalados, o el personal que los instalará, se presentan dos problemas que enfrenta la empresa.

1. **Identificación de los dispositivos mediante lectura NFC**, hoy realizada mediante el uso de un teléfono celular. La solución no es viable en el largo plazo por su costo de escala y, teniendo en cuenta el entorno donde se utilizará, su fragilidad.
2. **Validación in-situ de comunicación entre dispositivos de Spectro**. Actualmente se realiza con una herramienta de carácter provisorio. La solución actual utiliza por la empresa contratante no es escalable por su costo, además de no contar con todas las funcionalidades que el Departamento de Operaciones necesita.

Estos dos problemas convergen en un único problema de mayor envergadura: la empresa no cuenta con herramientas necesarias para realizar su trabajo de forma óptima ni escalable. Para hacer más clara la necesidad de la empresa, se exhibe la siguiente tabla:

Funcionalidad del dispositivo	Cómo se resuelve hoy
<b>Identificación de dispositivo</b>	El técnico que realiza la instalación debe poseer un celular que posea un lector NFC y su correspondiente aplicación móvil. El problema aquí radica en la utilización de un dispositivo por parte del técnico que no ha sido diseñado para ser utilizado en ese entorno.
<b>Validación de comunicación entre dispositivos de Spectro</b>	Como se mencionó anteriormente, Spectro posee una herramienta provisorio que no es escalable. Quien realice la instalación debe poseer los siguientes materiales: Freedom K-64 kinetis Evaluation Board; teclado y display hecho para la placa de evaluación, con su respectivo módulo de Wi-Fi; batería portátil; cable de alimentación. No sólo no es escalable sino que quien utiliza dicho dispositivo debe tener el conocimiento necesario para interconectar dichos módulos.

Tabla 7.2: Problema a Resolver

### 2.3 Alcance

Las funcionalidades básicas del dispositivo serán dos:

1. Poder reconocer dispositivos fabricados por Spectro (CLI-01).

2. Verificación de la comunicación entre dos dispositivos (CLI-02).

De mutuo acuerdo con la empresa, se determinaron las siguientes condiciones:

- No se realizará la fabricación a gran escala del dispositivo; sólo se venderá el prototipo funcionando y la documentación necesaria para fabricarlo, incluyendo el diseño escalable.
- La visualización de los datos tomados en el dispositivo no será transmitida en tiempo real a una base de datos/dispositivo móvil de la compañía.
- No se diseñará el cargador para la herramienta; se diseñará para utilizar un cargador 5V estándar. Tampoco se creará un estuche para transportar el dispositivo.
- Pese a que no se encuadra dentro del alcance ni la necesidad planteada, se incluirá por pedido de la empresa:
  - Módulo de emisión en banda bluetooth
  - Módulo de emisión y lectura en banda Wi-Fi

Ambos módulos se incluirán en el desarrollo final y no en el prototipo, ya que su incorporación al diseño tiene como objeto posterior desarrollo por parte de la empresa contratante.

### 3. Definición de Producto

Al ser un producto pedido que sea compatible con el HW de la empresa se realizaron varios encuentros con el departamento de I+D (Investigación y Desarrollo) de la misma. Sin embargo, no todos los requerimientos surgen específicamente de las reuniones con el cliente y debido a ello, se definen aquí los distintos orígenes para los requerimientos:

- 1) **Cliente:** Requerimientos explícitos del cliente. Es importante hacer una leve distinción:
  - a) Cliente-Func: hace referencia a la funcionalidad del dispositivo.
  - b) Cliente-Esp: es una especificación, debido a que la empresa contratante solicita que se incorpore de manera explícita un componente o funcionalidad. A fines prácticos, es un requerimiento que amerita distinción por su formulación.
- 2) **Legal:** Requerimiento que se basa en aspectos legales.

### 3.1 Requerimientos de Cliente

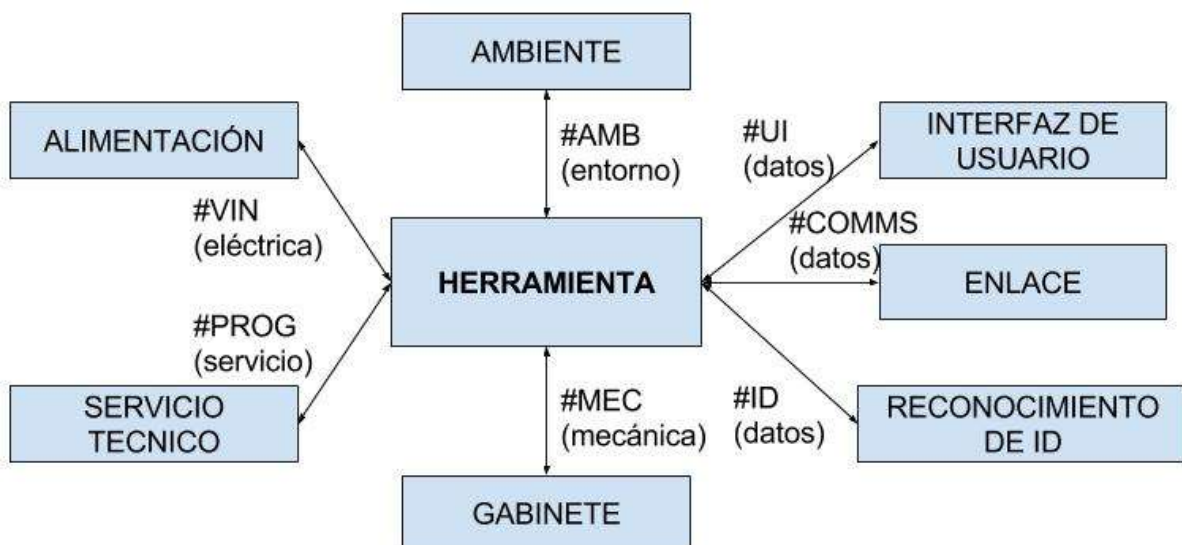
ID	Descripción	Origen
REQ-ID	Tiene que ser capaz de leer el identificador único de cada dispositivo de Spectro	Cliente-Func
REQ-COMS-01	Tiene que ser capaz de establecer un enlace de comunicación inalámbrico con el mismo protocolo que utilizan los dispositivos de Spectro para comunicarse, tanto en su modo Master como Slave.	Cliente-Func
REQ-COMS-02	Tiene que ser capaz de verificar la calidad del enlace de comunicación inalámbrico punto a punto al conectarse con una herramienta de idéntico funcionamiento.	Cliente-Func
REQ-BAT-01	La autonomía del dispositivo debe ser de al menos una hora.	Cliente-Esp
REQ-BAT-02	Tiene poder alimentarse de forma externa	Cliente-Esp
REQ-BAT-03	Tiene que poder mostrar al operador el estado actual de carga de la batería	Cliente-Esp
REQ-BAT-04	El dispositivo tiene que poder apagarse y prenderse mediante una interfaz manual	Cliente-Esp
REQ-ON-OFF	El dispositivo tiene que indicar si el mismo se encuentra encendido.	Cliente-Esp
REQ-RES-DLY	Tiene que mostrar el resultado de la medición (en cualquiera de sus funcionalidades) en no más de 5 segundos	Cliente-Func
REQ-FUN-VIS	El operador tiene que poder visualizar el modo en uso en todo momento.	Cliente-Func
REQ-FUN-SEL-01	Tiene que facilitar al operador la selección del modo de uso.	Cliente-Func
REQ-FUN-SEL-02	Tiene que tener un teclado para navegación e ingreso de datos.	Cliente-Esp
REQ-LIFE-TIME	El tiempo a la falla tiene que ser mayor a la vida útil del dispositivo.	Cliente-Esp
REQ-OPS-01	Tiene funcionar en el entorno normal de operación de los dispositivos de Spectro	Cliente-Func
REQ-REPAIR	El tiempo medio a la falla deber ser mayor a la vida útil estimada	Cliente-Esp
REQ-FALL	Tiene que poder resistir al menos una caída desde un metro de altura a un piso liso de cerámica	Cliente-Esp
REQ-EMI	Los niveles de potencia de emisión en la banda de ISM utilizada tienen	Tácito

	que adecuarse a la norma Argentina.	
REQ-INTERFERENCE-01	No tiene que interferir con la comunicación de otros dispositivos de Spectro, ni alterar el normal funcionamiento de otros dispositivos que funcionen en el mismo entorno	Ciente-Esp
REQ-INTERFERENCE-02	No tiene que ser interferida por otros dispositivos de Spectro.	Ciente-Esp
REQ-PRICE	El costo de fabricación de la herramienta debe ser menor a USD \$200,00	Ciente-Esp
REQ-PORT-01	El producto deberá ser portátil, en tamaño y peso.	Ciente-Esp
REQ-PORT-02	Tiene que ser portátil.	Ciente-Esp
REQ-BLE	El hardware debe ser tal que permita implementar a futuro una funcionalidad de emisión de paquetes bluetooth	Ciente-Esp
REQ-PROG-01	Debe poseer el hardware necesario para permitir la re-programación del dispositivo, de forma tal que pueda ser utilizado para desarrollos posteriores por parte de la empresa contratante.	Ciente-Esp
REQ-ESP	El hardware debe ser tal que permita implementar a futuro una funcionalidad de emisión y lectura de paquetes en toda la banda WiFi 2.4GHz, mediante el mismo módulo que utilizan los dispositivos de Spectro actualmente	Ciente-Esp

Tabla 8.1: Requerimientos

### 3.2 Diagrama Funcional de Interfaces

De manera de tener una idea general del dispositivo final, se realizó un diagrama para simplificar los distintos módulos e interfaces que posee el mismo.



### 3.3 Especificaciones

Leyenda para Especificaciones	
Aplicabilidad	Validación
<b>DP:</b> Dispositivo, Prototipo	<b>I:</b> Inspección Visual
<b>DF:</b> Dispositivo, Producto Final con carcasa.	<b>D:</b> Documentación de Diseño
	<b>S:</b> Simulación
	<b>T:</b> Test

Tabla 8.2: Leyenda de uso en especificaciones

#### 3.3.1 Especificaciones Funcionales

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
ESP-FUN-NFC	El producto tiene que poder leer tags NFC de identificador único de Spectro.	REQ-ID	DP,DF T
ESP-FUN-WiFi	El producto tiene que poder comunicarse en la banda entre 2.4 Ghz y 2.4835 Ghz.	REQ-COMS-1, REQ-COMS-2	DP,DF D
ESP-FUN-PROT	El dispositivo tiene que utilizar el protocolo "Enhanced Shockburst" TM - Nordic Semiconductor [27]	REQ-COMS-1, REQ-COMS-2	DP,DF D

ESP-FUN-PAQ	El dispositivo tiene que verificar la calidad de la señal Wi-Fi enviando/recibiendo 32 paquetes de longitud máxima en el protocolo utilizado.	REQ-COMS-1, REQ-COMS-2	DP,DF T
ESP-FUN-RAT	La calidad de la señal resultará de la cantidad de paquetes recibidos correctamente respecto a la cantidad de paquetes enviados.	REQ-COMS-1, REQ-COMS-2	DP,DF S
ESP-FUN-TIME	El resultado de la medición de la calidad de enlace tiene que mostrarse al operador mediante alguna interfaz en no más de 4.5 segundos.	REQ-RES-DLY	DP,DF T
ESP-FUN-SEL	El dispositivo tiene que permitir la selección de la modalidad de funcionamiento sin restricciones de navegación, permitiendo navegar de un modo a otro de forma directa.	REQ-FUN-SEL-01	DP,DF T

Tabla 8.3: Especificaciones Funcionales

### 3.3.2 Especificaciones de Interfaz

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
ESP-ID-DIST	Tiene que poder realizar la medición NFC del identificador único del dispositivo de Spectro, a una distancia de hasta 1 cm.	REQ-NFC	DP,DF T

Tabla 8.4: Especificaciones de Interfaz de Reconocimiento de ID

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
----	-------------	--------	--------------------------



ESP-UI-01	El resultado de la evaluación de calidad de señal tiene que poder verse en todos los dispositivos utilizados para medir dicha señal.	REQ-COMS-02	DP,DF I
ESP-UI-02	El dispositivo tiene mostrar todos caracteres NFC del ID único de Spectro, sin necesidad de navegar por el display para su lectura	REQ-ID	DP,DF T
ESP-UI-03	El dispositivo tiene que informar al operador en todo momento si está en el modo de lectura de tag NFC o en modo de medición del enlace.	REQ-FUN-VIS REQ-FUN-SEL-01	DP,DF T
ESP-UI-04	Tiene que poder visualizarse cuando la iluminación ambiente sea superior a 500 lux.	REQ-FUN-VIS REQ-ON-OFF REQ-OPS-01	DP,DF T
ESP-UI-ONOFF	El dispositivo tiene que indicar el estado de encendido o apagado.	REQ-ON-OFF	DP,DF I

Tabla 8.5: Especificaciones de Interfaz de Usuario

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
ESP-ENL-01	Tiene que ignorar paquetes que no hayan sido enviados hacia el dispositivo pero recibidos por la antena.	REQ-INTERFERENCE-01	DP,DF T
ESP-ENL-02	La composición de los paquetes enviados por la herramienta debe ser tal que los dispositivos de Spectro ignoren dicho paquete.	y REQ-INTERFERENCE-02	DP,DF T

Tabla 8.6: Especificaciones de Interfaz de Enlace

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
----	-------------	--------	--------------------------

ESP-GAB-ORI	Debe poder operar, sin degradación de performance, sin importar su orientación en el espacio.	REQ-OPS-01	DP,DF T
ESP-GAB-PESO	El peso total del dispositivo debe ser menor a 2kg.	REQ-PORT-01 y 02	DP,DF T
ESP-GAB-IP	El dispositivo debe cumplir con un grado de protección IP30.	REQ-OPS-01	DP,DF T
ESP-GAB-FALL	El dispositivo deberá resistir al menos una caída desde un metro y veinte centímetros de altura a un piso de cerámica	REQ-FALL	DP,DF T
ESP-GAB-SIZE	Las dimensiones del dispositivo no deberán superar los 20cm de alto x 10cm de ancho x 5cm de profundidad.	REQ-PORT-01 y 02	DP,DF I

Tabla 8.6: Especificaciones de Interfaz de Gabinete

Las especificaciones de Interfaz de Ambiente descritas a continuación surgen de las condiciones normales de operación de los dispositivos de Spectro.

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
ESP-AMB-01	El dispositivo tendrá que poder operar normalmente cuando la presión atmosférica sea de: 100 kPa < Presión atm < 104 kPa.	REQ-OPS-01	DP,DF D
ESP-AMB-02	El dispositivo tendrá que poder operar normalmente cuando la temperatura ambiente sea: 2 °C < T ambiente < 38 °C	REQ-OPS-01	DP,DF D
ESP-AMB-03	El dispositivo tendrá que poder operar normalmente cuando la humedad sea: 0 % < RH < 100%	REQ-OPS-01	DP,DF D
ESP-AMB-04	El dispositivo no tendrá que sufrir daños cuando, estando desenergizado, la presión atmosférica sea de: 99 kPa < Presión atm < 105 kPa	REQ-OPS-01	DP,DF D

ESP-AMB-05	El dispositivo no tendrá que sufrir daños cuando, estando desenergizado, la temperatura ambiente sea: $1\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{ambiente}} < 38\text{ }^{\circ}\text{C}$	REQ-OPS-01	DP,DF D
ESP-AMB-06	El dispositivo no tendrá que sufrir daños cuando, estando desenergizado, la humedad sea: $0\% < RH < 100\%$	REQ-OPS-01	DP,DF D
ESP-AMB-VIB	El dispositivo tendrá que poder operar con vibraciones como máximo de 2 Hz (persona caminando).	REQ-OPS-01	DP,DF T
ESP-AMB-EMI	Para no tener emisiones dañinas para la salud, tiene que cumplir con la norma impuesta por la ENACOM 202/95 en un entorno controlado.	REQ-EMI	DP,DF T

Tabla 8.6: Especificaciones de Interfaz de Ambiente

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
ESP-ALI	La batería deberá poder operar normalmente cuando la temperatura ambiente sea: $0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{ambiente}} < 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ Se especifica un rango mayor por cuestiones de seguridad.	REQ-OPS-01	DP,DF D
ESP-BAT-01	La autonomía del dispositivo debe de ser de al menos una hora en el modo de máximo consumo.	REQ-BAT-01	DP,DF T
ESP-BAT-02	El dispositivo deberá poseer una entrada de alimentación que permita alimentar a la batería de forma externa, incluso durante su uso.	REQ-BAT-02	DP,DF T
ESP-BAT-IM	El dispositivo deberá ofrecer una interfaz manual para encender y apagar la herramienta.	REQ-BAT-04	DP,DF I

Tabla 8.6: Especificaciones de Interfaz de Alimentación

### 3.3.3 Especificaciones de Performance

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
ESP-PER-NFC	La medición del ID de NFC tiene que ser correcta en, al menos, el 97% de los intentos de medición.	REQ-ID	DP,DF T
ESP-PER-EN	La medición de calidad del enlace mostrada en el display debe tener un error menor o igual al 7,5% respecto a la calidad real del enlace.	REQ-COMS-01 y 02	DP,DF T
ESP-PER-BAT	El error de la medición de la batería debe ser menor al 20% (valor absoluto) del valor de carga real	REQ-BAT-03	DP,DF T

Tabla 8.7: Especificaciones de Performance

### 3.3.4 Especificaciones de Implementación

Para ver las especificaciones de operación y transporte, referirse a la tabla de especificaciones de ambiente.

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-COS-01	El costo de las partes que conforman el producto no deberá ser superior a U\$S100	REQ-PRICE	DP,DF D
IMP-ESP	Se deberá adicionar un módulo de hardware que permita emitir paquetes en toda la banda WiFi de 2.4GHz.	REQ-ESP	DP,DF D
IMP-BLE	Se deberá adicionar un módulo que posibilite la emisión paquetes bluetooth.	REQ-BLE	DP,DF D

Tabla 8.12: Especificaciones de costos y módulos.

### 3.3.5 Especificaciones de Servicio (RAMS)

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-CON-01	El hardware del producto deberá tener un MTBF igual al MTTF de al menos un año.	REQ-LIFE-TIME y REQ-REPAIR	DP,DF D
RAM-CON-02	El MTBF del producto deberá ser menor a 5 horas.	REQ-LIFE-TIME y	DP,DF D

		REQ-REPAIR	
--	--	------------	--

Tabla 8.13: Especificaciones de Confiabilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-DIS-01	El equipo deberá tener una disponibilidad no menor al 99% a lo largo del total de la vida útil (exceptuando hardware)	REQ-LIFE-TIME , REQ-REPAIR y REQ-FALL	DP,DF D

Tabla 8.14: Especificaciones de Disponibilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-MAN-01	Si el equipo no puede establecer una comunicación con ningún otro dispositivo, tiene que indicarlo.	REQ-FUN-VIS	DP,DF T
RAM-MAN-02	Si el equipo no detecta un tag NFC, tiene que indicarlo en todo momento.	REQ-FUN-VIS	DP,DF T
RAM-MAN-03	En caso de utilizar SW o FW, deberá ser posible para técnicos calificados realizar actualizaciones del mismo.	REQ-PROG-01	DP,DF D
RAM-MAN-04	En caso de utilizar SW o FW, no deberá ser posible para el usuario acceder al mismo.	REQ-PROG-01	DP,DF D
RAM-MAN-05	El equipo deberá contener la siguiente documentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Manual de Usuario</li> <li>· Manual de Mantenimiento y Servicio</li> </ul>	Cliente	DP,DF D

Tabla 8.15: Especificaciones de Mantenibilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-SEG-01	La máxima temperatura que podrá tener la carcasa será de 45°C, o 10°C por encima de la temperatura ambiente, la que sea mayor.	REQ-OPS-01	DP,DF D

RAM-SEG-02	Luego de desenergizado, el equipo no tiene que tener tensiones peligrosas por más de 20ms.	Normativas vigentes	DP,DF T
RAM-SEG-03	Si en algún lugar (accesible o no) hay tensiones peligrosas, tendrá que haber un cartel que lo advierta.	Normativas vigentes	DP,DF D
RAM-SEG-04	No puede ser posible para una persona realizarse ningún tipo de corte por contacto con el equipo.	Normativas vigentes	DP,DF I

Tabla 8.16: Especificaciones de Seguridad

## 4. Plan de validación

A continuación se detallan planes de validación. Su diseño fue previo al diseño final del prototipo y por supuesto su validación. Para los resultados de dichas pruebas referirse a la matriz de trazabilidad se la sección 8.

En todas las pruebas no destructivas, se considera un criterio de aceptación necesario y no suficiente que el dispositivo no sea dañado por la misma.

### 4.1 General

Test ID	TEST-UI-04
Objetivo	ESP-UI-04
Banco de Prueba	Se debe poseer el display final que utilizará la herramienta. Se probará la herramienta en una habitación o espacio con una iluminación mayor a 700 lux.
Precondiciones	
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Escribir un mensaje sobre el display en el modo de mejor visualización posible (por ejemplo, si el display tiene forma de ser iluminado, iluminarlo).</li> <li>2. Colocar una luz de 700 lux directamente sobre el display</li> <li>3. Verificar legibilidad del mensaje</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Se considera que la prueba fue exitosa si se es posible leer el mensaje del display sin inconvenientes.
Postcondiciones	
Comentarios	Para determinar el nivel de iluminación del lugar se recomienda referirse a [10]

Test ID	TEST-FUN-TIME
Objetivo	ESP-FUN-TIME
Banco de Prueba	Cronómetro. La herramienta debe poseer el teclado matricial según indica ESP-UI-IN.
Precondiciones	TEST-UI-04. TEST-UI-03.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccionar un cambio de funcionalidad en la herramienta encendiendo el cronómetro al mismo tiempo.</li> <li>2. Detener el cronómetro apenas se pueda observar que el display marque el modo seleccionado de uso</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Se considera aprobada la prueba si el valor marcado por el cronómetro no supera los 3,5 segundos
Postcondiciones	
Comentarios	Probablemente el tiempo entre la selección de modo y la muestra en pantalla del display sea muy inferior al tiempo de reacción del ser humano. Sin embargo, si tal es el caso, el cronómetro marcará un valor muy superior al tiempo real y dará una cota de seguridad excesiva.

Test ID	TEST-SEG-01
Objetivo	ESP-SEG-01
Banco de Prueba	Se debe realizar el test en un ambiente cuya temperatura es menor a 30°C. Integrado LM35 conectado a tensión entre 4 V y 20 V (por practicidad se recomienda utilizar la tensión de alimentación del arduino). El integrado debe colocarse dentro de la carcasa del dispositivo alejada de las paredes y cerca del ATmega. Multímetro con un error inferior a 10 mV. Colocar el multímetro para medir la salida de tensión Vout del integrado LM35.
Precondiciones	TEST-FUN-PAQ
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Marcar el valor que indica el multímetro.</li> <li>2. Encender el dispositivo y colocarlo en modo de transmisión de paquetes.</li> <li>3. Esperar 30 minutos a que el dispositivo tome temperatura.</li> <li>4. Medir la lectura del multímetro.</li> </ol> Repetir para el modo de lectura NFC
Criterio de Aceptación	Se aceptará el test si las mediciones del multímetro no poseen una diferencia mayor a 500 mV.
Postcondiciones	
Comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La precisión del integrado LM35 es mayor al grado centígrado. Se considera entonces que el error de la medición es provocado únicamente por el multímetro.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>La temperatura para el integrado conectado como se pide se mide según 10mV/°C por lo que la diferencia de 500 mV implica un error de 5°C. Que es la mitad de la requerida por ESP-SEG-01 (que desea 10°C de diferencia como máximo).</li> </ul>
--	--

Test ID	TEST-GAB-ORI
Objetivo	ESP-GAB-ORI
Banco de Prueba	Se construye un dispositivo que mantiene a nuestro dispositivo a 2 metros de altura del piso. La misma permite girar con respecto a su base 360° en pasos de 10°.
Precondiciones	TEST-FUN-PAQ
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>Colocar una herramienta en modo Slave</li> <li>Colocar la segunda herramienta sobre el dispositivo</li> <li>Poner la segunda herramienta en modo Master</li> <li>Colocar el dispositivo en posición vertical a una distancia menor a 1 metro de la herramienta Slave</li> <li>Girar el dispositivo en pasos de 10° hasta completar la vuelta completa. Verificando a cada paso que se marque el 100% en el ratio cuando el dispositivo esté fijo en una orientación.</li> </ol> <p>Repetir paso 5 para el modo de lectura NFC</p>
Criterio de Aceptación	Se aprobará el test si en todas las posiciones probadas se obtuvo un resultado del 100%.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-GAB-PESO
Objetivo	ESP-GAB-PESO
Banco de Prueba	Balanza calibrada con un error máximo de 100 gramos.
Precondiciones	Todos los módulos de hardware deben estar colocados y dentro de la carcasa.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>Apoyar el dispositivo en una balanza para verificar el peso.</li> <li>Anotar el valor observado en la balanza luego de 1 minuto de haber apoyado la misma.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	El peso observado en la balanza debe ser menor a 1.70 kg.
Postcondiciones	
Comentarios	



Test ID	TEST-GAB-SIZE
Objetivo	ESP-GAB-SIZE
Banco de Prueba	Cinta métrica
Precondiciones	
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apoyar el dispositivo sobre una mesa.</li> <li>2. Medir el alto de la herramienta.</li> <li>3. Medir el ancho de la herramienta.</li> <li>4. Medir el espesor de la herramienta.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Ninguno de los tamaños medidos deben ser menores a 20 cm de alto x 10 cm de ancho x 5 cm de espesor.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-GAB-FALL
Objetivo	ESP-GAB-FALL
Banco de Prueba	Habitación con piso liso de cerámica Cinta métrica
Precondiciones	
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tirar la herramienta a una altura de 1,3 metros (Soltando la herramienta sin otorgarle aceleración adicional) de forma que caiga de frente con el display hacia abajo.</li> <li>2. Repetir el paso 1 haciendo que caiga tanto con el canto izquierdo y derecho, con el vértice (a 45°) inferior derecho e izquierdo y la parte posterior de la herramienta.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	No debe presentar rajaduras el display y debe poder seguir funcionando en todas sus modalidades.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-AMB-VIB
Objetivo	ESP-AMB-VIB
Banco de Prueba	Cámara de vibraciones.
Precondiciones	TEST-PER-EN

Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar los dispositivos en la cámara a una distancia menor a 50 cm sin ningún objeto que pueda causar interferencia entre ellos.</li> <li>2. Vibrar a más de 2 Hz el dispositivo transmisor.</li> <li>3. Verificar que no varíe el valor leído de calidad de enlace durante 10 segundos.</li> </ol> <p>Repetir para el modo de lectura NFC</p>
Criterio de Aceptación	Se aceptará la prueba si la herramienta continúa comunicándose manteniendo un error menor o igual al 5%.
Postcondiciones	
Comentarios	Existen varios estándares que pueden utilizarse en reemplazo a la prueba aquí descrita. Por ejemplo el test ASTM D3580 - 95 [23], ASTM D4728 - 17 [24], AD-A284 433 [25]. Las dos últimas citas corresponden a tests mucho más restrictivos pero que aseguran un transporte seguro incluso bajo fuertes vibraciones.

### 4.3 Interfaz Ambiente

Las pruebas que se listan a continuación se diseñaron para ser probadas con cámaras de temperatura, presión y humedad. Se debe conseguir una cámara que pueda simular todas las condiciones y realizar todas las pruebas en conjunto.

Test ID	TEST-AMB-01
Objetivo	ESP-AMB-01
Banco de Prueba	Cámara de test de temperatura con un rango que incluya el rango de presiones de 100 kPa a 105 kPa. Cámara que permita registrar las mediciones
Precondiciones	TEST-FUN-PAQ
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar los dispositivos encendidos y en la funcionalidad de medición de calidad de enlace a comunicarse entre sí.</li> <li>2. Asegurar que la temperatura de la cámara esté entre 10 y 25°C.</li> <li>3. Colocar la presión de la cámara en 105kPa.</li> <li>4. Esperar 2 horas luego de que la temperatura de la cámara haya llegado a los 105kPa.</li> <li>5. Verificar mediciones en tiempo real por cámara</li> <li>6. Repetir pasos 2, 3 y 4 pero para 100kPa.</li> </ol> <p>Repetir para el modo de lectura NFC</p>
Criterio de Aceptación	La prueba se considera exitosa si no se observan cambios en el tiempo del resultado de la medición de calidad de enlace.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-AMB-02
Objetivo	ESP-AMB-02
Banco de Prueba	Se debe conseguir una cámara de test de temperatura con un rango que incluya el rango de temperaturas de 0°C a 40°C. Cámara que registre las mediciones
Precondiciones	TEST-FUN-PAQ
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar los dispositivos encendidos y en la funcionalidad de medición de calidad de enlace a comunicarse entre sí.</li> <li>2. Colocar la temperatura de la cámara en 40°C.</li> <li>3. Esperar 2 horas luego de que la temperatura de la cámara haya llegado a los 40°C.</li> <li>4. Verificar las mediciones en tiempo real mediante cámara</li> <li>5. Repetir pasos 2, 3 y 4 pero para 0°C.</li> </ol> <p>Repetir para el modo de lectura NFC</p>
Criterio de Aceptación	La prueba se considera exitosa si no se observan cambios en el tiempo del resultado de la medición de calidad de enlace.
Postcondiciones	
Comentarios	No se debe variar la temperatura de 40 a 0°C con mucha velocidad puesto que podría causar un daño en la herramienta.

Test ID	TEST-AMB-03
Objetivo	ESP-AMB-03
Banco de Prueba	Se debe conseguir una cámara de test de humedad con un rango que incluya el rango de porcentaje de humedad de 0 a 95%. Cámara que registre las mediciones
Precondiciones	TEST-FUN-PAQ
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar los dispositivos encendidos y en la funcionalidad de medición de calidad de enlace a comunicarse entre sí.</li> <li>2. Asegurar que la temperatura de la cámara esté entre 10 y 25°C.</li> <li>3. Colocar la humedad de la cámara en 95%.</li> <li>4. Esperar 2 horas luego de que la temperatura de la cámara haya llegado a los 95%.</li> <li>5. Verificar por cámara las mediciones en tiempo real</li> <li>6. Repetir pasos 2, 3 y 4 pero para 0%.</li> </ol> <p>Repetir para el modo de lectura NFC</p>
Criterio de Aceptación	La prueba se considera exitosa si no se observan cambios en el tiempo del resultado de la medición de calidad de enlace.

Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-AMB-04
Objetivo	ESP-AMB-04
Banco de Prueba	Se debe conseguir una cámara de test de presión con un rango que incluya el rango de presiones de 100 kPa a 105 kPa..
Precondiciones	
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar la herramienta apagada.</li> <li>2. Colocar la temperatura de la cámara en 105 kPa.</li> <li>3. Esperar 2 horas luego de que la temperatura de la cámara haya llegado a los 105 kPa.</li> <li>4. Repetir pasos 2 y 3 pero para 100kPa.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Se considerará aprobada la prueba si la herramienta no presenta ningún daño y sigue operando con normalidad.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-AMB-05
Objetivo	ESP-AMB-05
Banco de Prueba	Se debe conseguir una cámara de test de temperatura con un rango que incluya el rango de temperaturas de -1°C a 40°C.
Precondiciones	
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar la herramienta apagada.</li> <li>2. Colocar la temperatura de la cámara en 40°C.</li> <li>3. Esperar 2 horas luego de que la temperatura de la cámara haya llegado a los 40°C.</li> <li>4. Repetir pasos 2 y 3 pero para -1°C.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Se considerará aprobada la prueba si la herramienta no presenta ningún daño y sigue operando con normalidad.
Postcondiciones	
Comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>● No se debe variar la temperatura de 40 a -1°C con mucha velocidad puesto que podría causar un daño en la herramienta.</li> <li>● Si se realiza el TEST-AMB-02 con -1°C en lugar de 0°C podrá considerarse aprobado el TEST-AMB-05 sin necesidad de realizar ésta</li> </ul>

	prueba.
--	---------

Test ID	TEST-AMB-06
Objetivo	ESP-AMB-06
Banco de Prueba	Se debe conseguir una cámara de test de humedad con un rango que incluya el rango de porcentaje de humedad de 0 a 98%.
Precondiciones	
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar el dispositivo apagado sobre la cámara.</li> <li>2. Asegurar que la temperatura de la cámara esté entre 10 y 25°C.</li> <li>3. Colocar la humedad de la cámara en 98%.</li> <li>4. Esperar 2 horas luego de que la temperatura de la cámara haya llegado a los 98%.</li> <li>5. Repetir pasos 2, 3 y 4 pero para 0%.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Se considerará aprobada la prueba si la herramienta no presenta ningún daño y sigue operando con normalidad.
Postcondiciones	
Comentarios	Si se realiza el test TEST-AMB-03 a 98% en lugar de 95% y se aprueba el test se podrá considerar que la herramienta cumple con ESP-AM-06 y la prueba aquí descrita no será necesaria.

#### 4.4 Batería

Test ID	TEST-BAT-03
Objetivo	ESP-PER-BAT
Banco de Prueba	Cargar la batería al 100% con la herramienta apagada <sup>1</sup> .
Precondiciones	TEST-BAT-02
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encender la herramienta colocarla en modo de transmisión NRF y marcar la hora en la cual se encendió</li> <li>2. Seleccionar modo de operación de medición de calidad del enlace</li> <li>3. Anotar periódicamente el valor de la carga que marque la herramienta en intervalos de 20 minutos hasta que la batería se descargue por completo y por lo tanto se apague la herramienta</li> <li>4. Anotar el horario en el cual se apagó la herramienta</li> <li>5. Trazar la curva de descarga obtenida y compararla con una curva lineal formada entre el punto de carga completa y descarga.</li> </ol>

<sup>1</sup> La misma será indicada cuando se encienda un LED azul en el módulo TP4056. Al momento del diseño del test no se sabía sobre el uso de dicho módulo y por eso no se especificó.

Criterio de Aceptación	Se considera aceptada la prueba si el error entre ambas curvas no es superior al 15% en ningún intervalo de tiempo.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-BAT-02
Objetivo	REQ-BAT-02
Banco de Prueba	Se necesita una toma corriente y un cargador propio de la batería.
Precondiciones	La herramienta debe tener una carga entre el 30 y 80%
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Enchufar el cargador a la herramienta con la misma encendida</li> <li>2. Colocar la herramienta en modo de conexión inalámbrica</li> <li>3. Esperar a que el valor que indica la batería cambie dos veces seguidas en la misma dirección</li> </ol> Repetir para el modo de lectura NFC
Criterio de Aceptación	Se considera que la prueba fue exitosa si los cambios en el valor de la batería fueron positivos.
Postcondiciones	
Comentarios	El test se asegura que al estar la herramienta en operación, la carga proveniente del cargador sea suficiente para cargar la batería interna.

Test ID	TEST-BAT-01
Objetivo	REQ-BAT-01
Banco de Prueba	Cronómetro Se debe poseer dos dispositivos de Spectro comunicándose en modo NRF.
Precondiciones	La prueba debe hacerse con el prototipo final con todas sus funcionalidades implementadas y en funcionamiento. Asegurarse que la temperatura ambiente sea superior a 25°C
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cargar la batería hasta que la pantalla muestre una carga del 100%</li> <li>2. Encender el cronómetro y encender la herramienta.</li> <li>3. Colocar la herramienta en modo de comunicación inalámbrica estableciendo conexión con otra herramienta de idéntico funcionamiento</li> <li>4. Esperar hasta que la batería se descargue por completo apagando la herramienta.</li> </ol> Repetir para el modo de lectura NFC
Criterio de Aceptación	Se considera que la prueba fue exitosa si la herramienta supera las 2 horas de duración.

Postcondiciones	
Comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>La condición del mínimo de temperatura ambiente supone que una batería posee una menor vida útil a mayor temperatura. Cuanto mayor sea la temperatura ambiente se podrá decir con mayor grado de seguridad que la herramienta cumple con el requerimiento propuesto. En caso de que la temperatura ambiente supere la temperatura máxima de trabajo de la herramienta (ESP-ALI) y no se logre cumplir la condición de aceptación no se podrá concluir que la herramienta no cumple con el requerimiento. Por el contrario, si la misma cumple aun trabajando a dicha temperatura, se dirá que la misma pasó satisfactoriamente la prueba.</li> </ul>

#### 4.5 NFC

Test ID	TEST-FUN-NFC
Objetivo	Verificar que se cumpla ESP-FUN-NFC.
Banco de Prueba	Se deberá conseguir un dispositivo con un TAG NFC conocido. Obtener un gabinete extra del mismo material y grosor que el que se utilizará como el gabinete de la herramienta
Precondiciones	
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>Cubrir el lector NFC con el gabinete en caso de no estar integrado.</li> <li>Colocar el dispositivo de Spectro verificando que se obtenga una lectura del TAG</li> <li>Verificar que el TAG coincida con el TAG conocido</li> </ol>
Criterio de Aceptación	La prueba se considerará exitosa si se pudo leer el TAG y si el mismo es el correcto.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-ID-DIST
Objetivo	Verificar cumplimiento de ESP-ID-DIST
Banco de Prueba	Se deberá conseguir un dispositivo con un TAG NFC. Obtener un gabinete extra del mismo material y grosor que el que se utilizará como el gabinete de la herramienta. Micrómetro.
Precondiciones	TEST-FUN-NFC
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>Cubrir el lector NFC con el gabinete en caso de no estar integrado.</li> <li>Colocar el micrómetro de forma perpendicular a la placa NFC de forma de poder medir cómodamente la distancia</li> <li>Acercar lentamente el dispositivo de Spectro verificando hasta que se obtenga la lectura NFC.</li> </ol>

	4. Registrar a la distancia que marca la regla
Criterio de Aceptación	Se considera la prueba si se logra leer el TAG NFC del dispositivo a una distancia superior a 1.5 cm
Postcondiciones	
Comentarios	Se recomienda que dos personas realicen la prueba para ayudar a mantener la regla en posición.

Test ID	TEST-PER-NFC
Objetivo	ESP-PER-NFC
Banco de Prueba	Se deberá conseguir un dispositivo final de Spectro con un TAG NFC conocido incluyendo no solo la placa sino también el gabinete.
Precondiciones	TEST-FUN-NFC
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar el dispositivo de Spectro frente al lector NFC.</li> <li>2. Obtener la lectura del TAG y verificar si la misma es correcta o no. Anotar dicho resultado.</li> <li>3. Repetir los pasos 1 y 2 500<sup>2</sup> veces</li> </ol>
Criterio de Aceptación	La prueba se considerará exitosa si no se obtuvieron más de 5 mediciones erróneas.
Postcondiciones	
Comentarios	<p>Para el cálculo se utiliza de teoría “estimación de proporciones”. Se deseó utilizar una certeza del 99%. Como la estimación sólo contempla una cota superior (no importa asegurar que el error es mayor a cierto valor sino sólo asegurar que es menor a tal otro valor), se utiliza un valor de Z de 2,33.</p> <p>Suponiendo un valor de error del 1%, se dimensionó la cantidad de iteraciones necesarias para asegurar con la certeza del 99% que el error sea menor al 3%. Para estas aproximaciones se recomienda un valor de Np mayor o igual a 5 (donde N es la cantidad de iteraciones y p es la proporción que se supuso del 1%). Para que dicho valor se cumpla se deberá utilizar un valor de iteraciones de 500 veces. Dando un error inferior al 1,04%.</p> <p>Por dicho motivo, se concluye que si el valor obtenido de la proporción es del 1% (máximo 5 errores en 500 mediciones), entonces se podrá asegurar con un 99% de certeza que el error de la herramienta es inferior al 2,04%.</p>

Test ID	TEST-UI-02
Objetivo	ESP-UI-02
Banco de Prueba	Dispositivo de Spectro con tag NFC funcionando correctamente

<sup>2</sup> Para poder realizar un número tan elevado de reiteraciones se realizó un código que lea el mismo tag automáticamente de forma que solo hizo falta acercar el elemento a medir y mantenerlo por unos segundos para que el programa arroje el resultado.



Precondiciones	TEST-FUN-ID
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar el dispositivo a medir sobre el lector NFC de la herramienta</li> <li>2. Verificar que se realice la medición</li> </ol>
Criterio de Aceptación	El display deberá mostrar el resultado como indica la especificación ESP-UI-02.
Postcondiciones	
Comentarios	

#### 4.6 Módulo de comunicación inalámbrica (NRF)

Test ID	TEST-ENL-01
Objetivo	ESP-ENL-01
Banco de Prueba	Se debe poseer una herramienta con el modo NRF RX ya implementado. Se debe tener un ambiente con al menos 3 dispositivos de Spectro comunicándose (1 Master y al menos 2 slave).
Precondiciones	TEST-FUN-PAQ
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar la herramienta en el centro del triángulo que forman los dispositivos de Spectro.</li> <li>2. Colocar la herramienta en modo RX.</li> <li>3. Esperar 1 minuto observando el resultado.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Se considerará que el test fue exitoso si la herramienta no captó ningún mensaje y por lo tanto no mostró en pantalla ningún resultado.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-ENL-02
Objetivo	ESP-ENL-02
Banco de Prueba	Se debe poseer una herramienta con el modo NRF TX ya implementado. Se debe tener un ambiente con un dispositivo de Spectro en modo Slave recibiendo paquetes.
Precondiciones	El dispositivo Spectro debe estar enviando mensajes recibidos a la base de datos para poder verificar la recepción de los mismos. TEST-FUN-PAQ
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encender e inicializar la herramienta en modo NRF_TX.</li> <li>2. Verificar que el dispositivo esté como máximo a un metro de distancia del de Spectro.</li> </ol>

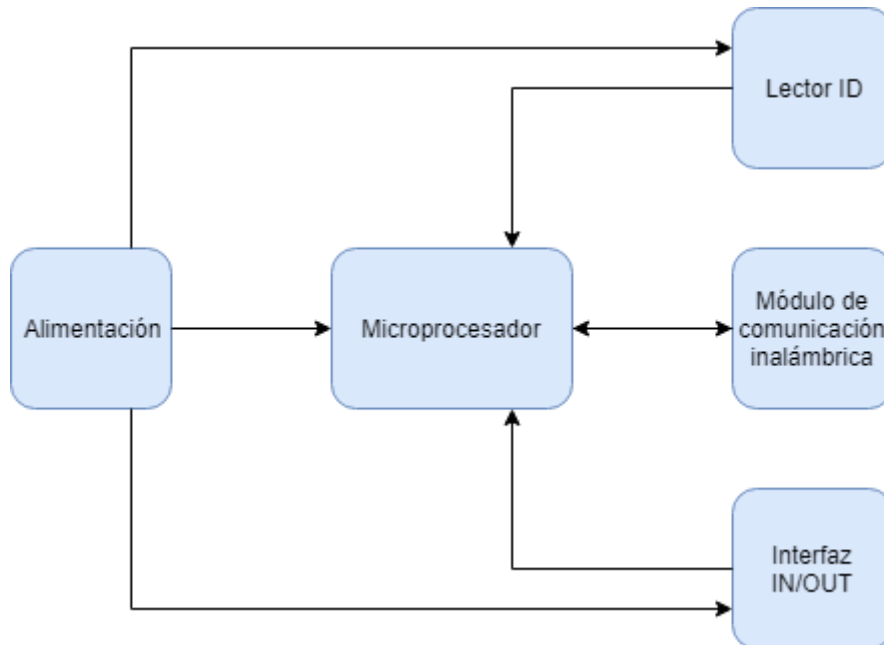
	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Verificar en pantalla de la base de datos si entró algún mensaje con el texto "1234567890123456789012345678901".</li> <li>4. Repetir punto 3 durante 1 hora.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	En la hora entera no haber recibido ni un mensaje con el texto mencionado.
Postcondiciones	
Comentarios	

Test ID	TEST-PER-EN
Objetivo	ESP-PER-EN
Banco de Prueba	
Precondiciones	TEST-FUN-PAQ; TEST-FUN-RAT; TEST-UI-01 Ambiente libre de objetos con un espacio de 1 metro cuadrado sin interferencias. 1 metro para medir la distancia. Dos personas que sostengan las herramientas.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encender ambas herramientas.</li> <li>2. Colocarlas a 50 cm de distancia entre sí.</li> <li>3. Colocar una herramienta en modo transmisor y otra en modo receptor.</li> <li>4. Apuntar y orientar los dispositivos cada uno al otro para que las antenas no tengan ninguna interferencia.</li> <li>5. Verificar el valor de la calidad de enlace.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	El valor observado de calidad de enlace no debe nunca ser menor a 95% durante 15 minutos.
Postcondiciones	
Comentarios	Con el módulo NRF24L01, el protocolo "Enhanced Shockburst" TM - Nordic Semiconductor [27] y con las retransmisiones que pide Spectro se asegura que si no existe algún cuerpo que pueda hacer interferencia, a 50cm no debería hacer pérdida de paquetes.

## 5. Análisis de factibilidad

### 5.1 Factibilidad Tecnológica

#### 5.1.1 Esquema modular



#### 5.1.2 Propuesta de diseño y elección de alternativas

Se buscará una propuesta de diseño eligiendo finalmente de las alternativas puestas sobre la mesa, la mejor para el diseño con respecto a los criterios que se definirán en cada sección.

##### 5.1.2.1 Alimentación:

Es importante destacar que por el requerimiento REQ-BAT-02, además de una batería, la herramienta debe ser capaz de cargarse mediante una fuente externa.

La fuente a través de la cual se cargará al dispositivo es independiente de la forma en que dicha carga llegará a la herramienta, y es la interfaz de carga la que resulta importante a la hora de considerar la tecnología. En ese sentido, se optó por un terminal de carga micro USB, que permite utilizar cargadores estándar, Power Banks, u otros medios que utilicen ésta interfaz.

Para la alimentación se consideraron diversas tecnologías.

1. Batería de Litio (Li-Ion)
2. Batería de Níquel-Cadmio (NiCd)
3. Batería de Níquel-Metalhidruro

Las baterías alcalinas no fueron consideradas por no ser recargables y por lo tanto, no cumplir requerimientos.

Las baterías de Níquel-Cadmio son baterías recargables que oscilan en una vida útil de 1000 a 1500 ciclos. La misma ofrece una baja vida útil en comparación a otras tecnologías y además sufre del efecto memoria.

El cadmio por su parte es un elemento muy tóxico y contaminante por lo cual su uso fue prohibido en muchas implementaciones por la Unión Europea en el 2004.

Las baterías de Níquel e Hidruro Metálico poseen muchas ventajas frente a las baterías de Níquel-Cadmio entre las cuales se incluye el precio (son más baratas), más amigables para el medio ambiente, dos o

tres veces más de capacidad de carga que la pila de NiCd para un mismo tamaño y peso y un menor efecto memoria.

Producto de todas estas ventajas, las baterías de NiCd no serán consideradas y en su lugar se considerará únicamente las baterías de Ni-MH. Teniendo éste tema en cuenta se prosiguió a comparar las baterías de Li-Ion y Ni-Cd de forma exhaustiva haciendo la siguiente tabla.

	Ni-MH	Li-Ion
Energía Específica	60–120 W·h/kg	100–265 W·h/kg <sup>12</sup> (0.36–0.95 MJ/kg)
Densidad Energética	140–300 W·h/L	250–730 W·h/L <sup>2</sup> (0.90–2.23 MJ/L)
Potencia Específica	250–1,000 W/kg	~250~340 W/kg
Energía/Precio consumidor	2.75 W·h/US\$	2.5 W·h/US\$
Durabilidad (Ciclos)	500-2000	400-1200

Teniendo en cuenta la tabla anterior entre otros factores/referencias [2], se listaron las distintas ventajas y desventajas de cada una de las dos opciones:

Ventajas de Ni-HM frente a las baterías de Li-Ion:

- Compatibilidad: Su forma y tamaño están más estandarizadas.
- Menor actividad: El Ion es un material muy activo que puede reaccionar fácilmente y generar mucho calor. Por dicho motivo suele haber circuitos que verifique la carga y temperatura de la batería de Li-Ion.
- Puede ser descargada completamente.

Ventajas de Li-Ion frente a las baterías de Ni-HM:

- Las baterías de Li-Ion son de menor tamaño y más livianas para misma capacidad de carga.
- Menor efecto memoria.
- Más densidad de energía (mayor carga por gramo).
- Más energía por precio.
- Posibilidad de cargar la batería mientras se usa mediante una batería externa PowerBank. Como ya se mencionó, la herramienta podrá ser utilizada conectada a una batería externa PowerBank. Tal como se pueden ver en dispositivos móviles, es posible cargar la batería mientras se sigue utilizando la herramienta al conectarla a dicho dispositivo. Las baterías de Ni-HM por el contrario, deben ser cuidadas de recalentamiento por carga y cargadas a corriente constante por lo cual no podrán ser cargadas mientras se usan. [1]

Se realizó entonces una tabla de doble entrada para comparar ambas opciones y elegir una opción:

	Li-Ion	Ni-HM
Efecto Memoria	20	10
Recarga mientras se usa	200	0
Relación Energía/Precio	250	200

Tamaño y Peso	100	80
Compatibilidad	10	20
Reactividad/Actividad	0	150
Descarga Total	0	50
Densidad Energética	200	100
<b>Total</b>	<b>780</b>	<b>610</b>

De donde se concluye que se usará una batería Li-Ion para la alimentación de la herramienta con la posibilidad de alimentar el dispositivo externamente mediante un conector micro USB.

#### 5.1.2.2 Microcontrolador/procesador:

Para el sistema central se consideraron distintas opciones como microprocesador o herramienta de cálculo y control para el mismo. Las opciones fueron:

1. Microprocesador
2. FPGA
3. Raspberry Pi
4. Arduino

En cuanto al microcontrolador, los integrantes del equipo poseen conocimiento y experiencia en el uso de una Kinetis FRDM, lo cual tuvo peso a la hora de elegir el microcontrolador. Además el bajo costo de la FRDM frente a otros productos NXP hace de ésta una buena opción a considerar frente a otros microprocesadores.

Algo similar ocurre con la FPGA en la cual se eligió utilizar la marca Altera de INTEL ya que un integrante del equipo posee amplio conocimiento sobre dichas placas, en particular la placa DE2 de Altera, por lo que amerita tenerla en consideración.

Por su simplicidad de uso, y amplia documentación disponible, se consideró la posibilidad de utilizar una placa de desarrollo Arduino. Es importante comprender que los Arduino utilizan microprocesadores, sin embargo la distinción proviene de la forma diferente de realizar desarrollos. La gran mayoría de los fabricantes de módulos específicos de hardware proveen código y librerías específicas para usarlos con tecnología Arduino.

Se buscaron precios en [3] y [4] para poder comparar de forma estimativa los precios de cada una de las opciones. Los precios están en pesos argentinos (\$) y datan de la fecha del 12/05/2017. Los precios son aproximaciones según las ofertas del mercado.

El rango de precios de distintos modelos de Raspberry Pi oscila entre \$550 a \$3000. Para los Arduino, oscila entre \$200 (Arduino UNO) a \$1600 (Arduino TIAN). Para un microcontrolador Kinetis el precio varía entre \$240 (FRDM KLO2Z-ND) a \$500 (FRDM KL82Z-ND). Finalmente, para placas FPGA, los precios oscilan entre \$900 (MAX 10) a precios completamente fuera de consideración.

Se buscaron luego algunos precios específicos sobre ciertos productos :

- Raspberry Pi 3: \$1000
- DE0-Nano Development board: \$1500
- Arduino UNO: \$200
- Kinetis FRDM-KL25Z: \$260

Es muy importante aclarar que los últimos dos son los precios más bajos y comparables entre sí. Cada uno de estos microprocesadores son de gama media dentro de tanto Arduino como Kinetis.

La FPGA fue rápidamente descartada por motivos económicos. Sus precios eran muy superiores a las otras tecnologías, y las prestaciones de una FPGA exceden considerablemente a las necesidades del desarrollo.

La Raspberry Pi posee mucho mayor consumo energético que las dos opciones restantes. Mientras que un microprocesador o un arduino consumen una decena de mA como máximo según la operación. Una Raspberry Pi consume centenas de mA o incluso llega a los Amperes de consumo. Incluso cuando el mismo no está haciendo trabajo. Esto ocurre por la forma en la que trabaja la Raspberry Pi, posee un sistema operativo y trabaja de forma genérica y no de forma dedicada a la aplicación. Su sistema genérico es en este caso una desventaja y se decide por lo tanto descartarlo como opción ya que dicho consumo atenta contra el requerimiento REQ-BAT-01 de duración mínima comprometiendo más el diseño de la batería.

Finalmente, ninguno de los integrantes posee conocimiento alguno sobre Arduino. Sin embargo la curva de aprendizaje y las facilidades que provee la comunidad de Arduino y los fabricantes de hardware, esta opción no será descartada por el momento. Mientras que por el otro lado, los integrantes del equipo poseen experiencia sobre la Kinetis FRDM. En la sección ingeniería en detalle se comparan los microcontroladores utilizados por ambas placas de evaluación

#### 5.1.2.3 Lector ID:

A partir de la especificación FUN-NFC queda establecido que se deberá usar un lector NFC para la lectura del ID de los productos de espectro al cumplir con el requerimiento REQ-ID.

Entre las opciones del módulo NFC puede considerarse el módulo PN532 de Philips, PN533, PN544 de NXP, PN7120, etc. Sin embargo la elección del módulo en sí se hará más adelante en Ingeniería de Detalle.

#### 5.1.2.4 Enlace:

Para la elección del enlace se debió tomar en consideración que el mismo debe implementar el protocolo Enhanced Shockburst TM - Nordic Semiconductor como se establece en las especificaciones (ESP-FUN-PROT). Por dicho motivo la tecnología a utilizar serán enlaces WiFi que implementen ya el protocolo en cuestión pudiendo comunicarse en la banda entre 2.4 Ghz y 2.4835 Ghz (ESP-FUN-WiFi).

Como ejemplo, el módulo NRF24L01+ ya aplica el protocolo necesario en la banda requerida. Siendo además el mismo módulo que utilizan los dispositivos de Spectro con lo cual se sabe que la implementación es factible.

Por especificaciones queda determinado que la comunicación deberá ser por WiFi por lo que otras soluciones como Bluetooth, infrarrojo, etc. quedan totalmente descartadas y solo se usarán módulos WiFi que puedan cumplir con las especificaciones nombradas en esta sección y además cumpla con las normas vigentes de emisión (ESP-AMB-EMI). Además deberá cumplir con ESP-ENL-01 y ESP-ENL-02.

Todo módulo WiFi que cumpla con las especificaciones nombradas puede ser usado. Tal es el caso por ejemplo del módulo mencionado NRF24L01+.

#### 5.1.2.5 Interfaz IN/OUT:

En esta sección se consideraron tanto los aspectos de entrada de datos por parte del usuario como de salida de datos para mostrar los resultados de las mediciones.

Debe considerarse primero una opción que involucra ambos aspectos simultáneamente. La opción de una pantalla táctil se descarta ya que sus prestaciones son excesivamente mayores a las necesarias, por lo que su elevado costo no se justifica.

Los resultados se mostrarán de forma escrita mediante un display o pantalla. No se comunicarán de forma sonora. Para esta parte serán analizadas las funcionalidades ESP-UI-XX.

Se podría utilizar una serie de leds para mostrar el estado de la batería pero habría que colocar demasiados leds para cumplir con la especificación de ESP-PER-BAT lo cual resultaría impráctico. Se decidirá entonces utilizar una pantalla para incluir en ella todos los datos a mostrar mediante la misma interfaz.

En el caso del display, es necesario mostrar el estado de la batería (especificación ESP-PER-BAT) para lo cual necesitará 3 caracteres; y tres caracteres más para especificar qué es lo que se muestra. En modo lectura NFC necesitará poder mostrar los 16 caracteres del ID NFC (ESP-UI-03). En modo de verificación de calidad de señal será menos limitado y podrá mostrar el resultado usando el mínimo impuesto por el modo NFC. Finalmente el mismo deberá mostrar el modo de uso de la herramienta (REQ-FUN-VIS). Teniendo en cuenta éstos datos se establece un mínimo de caracteres a mostrar por el display de 16x2 caracteres.

Es importante que por motivos de operación, la pantalla debe tener alguna forma de iluminarse para poder observar el resultado en situaciones con luminosidad reducida (ESP-UI-04). Dicho aspecto favorecerá a una pantalla con backlight sobre un display LCD de segmentos ya que no necesitará de un LED adicional para la iluminación de la misma.

Un display gráfico provee una mayor experiencia de usuario que un display alfanumérico. Sin embargo el segundo es más sencillo de implementar y puede ser considerado como una opción cuando se desea hacer desarrollo en el menor tiempo posible.

Un display LCD posee un precio mucho más competitivo frente a displays OLED por lo cual se eligirá dicha tecnología.

En lo que respecta a la interfaz de ingreso de datos, según la especificación ESP-UI-IN queda prácticamente determinado la utilización de un teclado como método de control. No se utilizarán comandos por voz ya que en el ambiente de una construcción resulta impráctico por contaminación sonora. Además el uso de otros métodos como Joysticks dificulta la operación e implementación. Por dicho motivo en éste caso el ingreso de datos queda definido como un teclado de 4x4 y no habrá otras soluciones a considerar.

En el caso de ingresos de datos ya quedó determinado en la sección anterior que se usará un teclado 4x4 por ESP-UI-IN.

Para la lectura de datos se eligió usar un display alfanumérico con backlight. Se usará una pantalla LCD de una resolución mínima de 16x2 y un posibilidad de alumbrarla con BackLight para situaciones con baja luz.

### 5.1.3 DFMEA

Para poder analizar la tabla presentada en el siguiente inciso, resulta de gran importancia comprender cuales son los criterios tomados para el análisis de la DFMEA.

Criterios FMEA		
Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad
1 Insignificante	1 Muy poco frecuente	1 Completa
10 Muy Grave	10 Muy frecuente	10 Mínima

Ilustración 5.1: Criterios de puntuación de DFMEA

Por otro lado, deben analizarse también cuales son los valores que serán aceptados para tomar riesgos en el proyecto. Para ello, se decidió:

Niveles de aceptación	
Aceptable	RPN < 30
Bajas hasta razonablemente práctico	30 < RPN < 100
No aceptable	RPNA > 100

Ilustración 5.2: Criterios de aceptación.

Ha habido cambios realizados en el desarrollo del proyecto que se exhibirán a continuación. No hubo una reunión formal de DFMEA sino que fueron cambios que se fueron planteando al proyecto en el transcurso del trabajo.





#	Función	Modo de Falla	Efecto de Falla	Causa de Falla	Severidad	Ocurrencia	Detección	RPN	Acción realizada
1	Medición de calidad de enlace.	No se mide fielmente y correctamente la calidad del enlace	La herramienta predecirá incorrectamente si un dispositivo de la empresa puede o no instalarse en un lugar específico.	Utilización de un protocolo genérico y distinto al que usa Spectro.	8	10	3	240	Se utilizará exactamente el mismo protocolo y módulo que usan las herramientas actuales de la compañía (dando origen a una nueva falla, posible interferencia).
2	Display	Display puede romperse con una caída de un metro (requerimiento)	No se cumple el requerimiento REQ-RES-DLY.	El display tentativo a utilizar es demasiado grande (64x2), aumentando el peso del aparato y la probabilidad de ruptura.	8	6	1	48	Utilización de display de 2x16 como máximo.
3	Lector ID (NFC)	N/A	Incumplimiento de especificación de diseño ESP-UI-02.	El tag NFC posee cantidad diferente a 16 caracteres.	8	5	1	40	El display mostrará con marquesina un valor mayor a 16 caracteres.
4	El dispositivo debe indicar si está encendido (REQ-ON-OFF)	No se observa la luz de encendido.	No se puede conocer de forma rápida si el dispositivo está ON u OFF (pero puede verse el display).	Falla en el LED tanto de conexión como de quemado.	2	3	1	6	N/A
5	Uso de la batería	La batería se cortocircuita o falla, causando un incendio de la misma y de la herramienta.	Daños al operador de la misma al utilizarlo (al cargar la batería)	Mal diseño del circuito cargador/ de batería.	10	3	5	150	Utilizar circuitos ampliamente usados para el cargado y un fusible
6	Emisiones electromagnéticas	El equipo envía una potencia elevada, incumpliendo	Incumplimiento tanto de requerimiento como de norma	La potencia enviadas	3	6	9	162	Utilizar módulos de baja potencia, diseñar PCB adecuadamente

		REQ-EMI y ESP-AMB-EMI.	argentina.	elevada y en términos de EMI, insuficiente blindaje o PCB inadecuado.					o utilizar módulos especificados, siguiendo norma 202/95.
7	Funcionalidad de medición de calidad de enlace en ambiente con otros dispositivos de Spectro.	Interferencia entre los dispositivos de Spectro y el de la herramienta.	Falla en la medición de la calidad de enlace.	Por fidelidad de medición de la calidad de enlace, se usa lo más fielmente posible lo mismo que usa Spectro .	8	10	3	240	Se utilizará la misma banda, el mismo protocolo, y el mismo módulo, pero se utilizará un campo de "Address" único para la herramienta (eliminando el problema de interferencia).
8	Display	N/A	No puede leerse la pantalla por la luz exterior. El usuario puede llegar a realizar una lectura errónea por la visualización mala del display.	El display no posee luz suficiente que permita leer el resultado.	3	6	2	36	Se implementa que el display posea Backlight. La limitación aquí es utilizar un display que no consuma mucha potencia.
9	Utilización remota de la herramienta (sin cargador, con batería).	N/A	No se puede utilizar en un ambiente sin tomas de tensión instaladas (necesita cargador por muy poca autonomía). La batería no cumple REQ-BAT-01.	Desgaste de vida útil. Imposibilidad de cambio de la batería.	8	7	3	168	Diseñar el módulo de batería para que sea de fácil reemplazo en caso de deterioro de la misma. Batería intercambiable.
10	Lectura de datos	Display dañado parcial o totalmente	Imposibilidad de leer datos (parcial o total)	Incorrecto uso y cuidado de la herramienta	6	6	1	36	Diseño de gabinete para protección
11	Lectura de datos	N/A	Calidad de visualización degradada	Amplia variedad de escenarios de uso	5	2	1	10	N/A, por manual de usuario se indica que el uso es solamente en el ámbito de

									trabajo de Spectro
12	Carga de batería	N/A	Imposibilidad de cargar el dispositivo	Conector roto por desgaste mecánico	8	6	3	144	Elección de un componente de buena calidad para prevenir el desgaste mecánico, acompañado de una soldadura de buena calidad.
13	Carga de batería	N/A	Imposibilidad de cargar el dispositivo	Mal funcionamiento del módulo de carga	6	3	10	180	Agregado de un LED que indique cuando el dispositivo está cargando correctamente.
14	Carga de batería	Excesivo tiempo de carga de la batería.	Disminución significativa de la vida útil de la batería.	Falta de conocimiento del tiempo de carga de la batería por parte del operario.	3	8	6	144	Manual de usuario para comprensión de cantidad de tiempo en el cual puede cargarse la batería.
15	Teclado	No se puede ingresar datos por teclado	Imposibilidad de navegar funcionalidades	Desgaste por uso de uno o varios botones	6	4	9	216	Usando un teclado matricial comprado (primera opción) al romperse era imposible detectar cuál era la tecla y modificarlo. La acción tomada es utilizar pulsadores específicos.
16	Teclado	No se puede ingresar datos por teclado	Imposibilidad de navegar funcionalidades. No se puede utilizar el equipo.	Caída de altura mayor a la especificada	6	3	1	18	N/A
17	Funcionamiento general de la herramienta	Cortocircuito interno	La herramienta deja de funcionar	Ingreso de líquido en el gabinete	8	5	1	40	Se diseñará el gabinete teniendo en cuenta que el mismo contemple la posibilidad de una lluvia leve.

										En el manual de usuario habrá una advertencia de no usar la herramienta bajo lluvias.
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

En términos de DFMEA, el análisis para el diseño está finalizado. Sin embargo, se realizó un análisis de riesgos de retraso en el tiempo y problemas con el cliente, de manera de evitarlos y mejorar la relación con los mismos, con el objetivo futuro de realizar nuevos desarrollos para la misma así como también analizar los errores que comete nuestra empresa en el proceso de desarrollo.

#	Función	Modo de Falla	Efecto de Falla	Causa de Falla	Severidad	Ocurrencia	Detección	RP N	Acción realizada
1	Medición de potencia de WiFi y alocaón de MAC.	No se entiende la necesidad a suplir.	Atraso en tiempo del proyecto.	El cliente no tiene en claro para qué necesita dicha funcionalidad.	10	10	2	200	Se pidió reunión con cliente para eliminar la funcionalidad
2	Requerimientos del cliente.	No se cumplen los requerimientos .	Problemas con el cliente sobre la especificidad de funcionamiento en distintos ambientes.	Poca especificidad de los requerimientos .	10	7	5	350	Llamado con el cliente para conversar ciertos puntos del documento de requerimientos.
3	Alcance del proyecto	No se sabe cuál es el alcance del proyecto.	Atraso del proyecto y potenciales problemas con cliente	Alcance del proyecto no definido correctamente.	10	10	1	100	Se pidió reunión con cliente para definir alcance del proyecto
4	Especificaciones	No se comprende bien cuál es el requerimiento al cual una especificación responde.	Perdidas de tiempo en comprender el documento realizado	Los nombres de los requerimientos y especificaciones son poco claros y poco concisos.	3	6	1	18	Si bien no es necesario, se modificaron los nombres de las especificaciones.
5	Planeamiento temporal del proyecto	No se cumple el planeamiento a tiempo por falta de recursos.	El planeamiento del proyecto carece de sentido y desorienta a la planeación a futuro.	En la planeación no se tuvo en cuenta las horas trabajadas por semana ni la cantidad de personas en el proyecto.	3	10	4	120	En la reunión, se planeó la asignación de recursos, obteniendo nuevos GANTT y PERT.

Ilustración 5.6: Enseñanzas a futuro para la empresa formada a partir del proyecto.





## 5.2 Factibilidad Económica

### 5.2.1 Introducción y explicación del plan de negocios

Se creará una empresa (la sociedad, legalmente hablando, y su conformación, se discutirá en la sección de factibilidad legal) “*Hardware Factory*”, es decir, una empresa de desarrollo de hardware. La misma recibirá pedidos de clientes y desarrollará el Hardware específico solicitado por la empresa, adaptando cada diseño y modelo de ventas de los productos diseñados al tipo de cliente que se presente.

Como estrategia a futuro de la compañía se propone que toda la información necesaria para la creación y/o réplica de los desarrollos, sea propiedad de la empresa. Es decir, la *Hardware Factory* creada conservará y explotará los PCB Gerber Files, los circuitos y software específico desarrollado para el proyecto, independientemente de cual sea el contrato final con la empresa contratante. Sin embargo, el desarrollo del proyecto no será pagado por nuestra compañía sino por Spectro.

El plan de negocios original tenido en mente consistía en cobrar simplemente la inversión inicial y nuestra empresa cobraría sólo un 10% de más por el costo de cada una de las unidades fabricadas. Los frutos de dicho plan son muy escasos y ni siquiera teniendo en cuenta el intangible de poseer el conocimiento de la fabricación de un producto del estilo del pedido hubiese tornado el proyecto factible.

Son dos los planes de negocio pensados para este proyecto.

#### 5.2.1.1 Modelo de negocio inicial

Este modelo consiste en cobrar al cliente una porción del precio total del desarrollo a modo de inversión inicial, de forma que nuestra empresa pueda solventar los costos de desarrollo. El monto restante se prorratearía entre las primeras N unidades a fabricar para el cliente. Una vez que el cliente abone la totalidad del proyecto, el resto de las unidades se cobrarán al precio unitario real.

El problema de este modelo radica en la extensión de tiempo en la que nuestra empresa percibirá la ganancia, considerando que el cliente manifestó (y nuestra empresa comprobó gracias a que uno de sus miembros ha trabajado en Spectro) que su necesidad de fabricación se reduce a aproximadamente 20 unidades en los próximos dos años. Podría negociarse por contrato un mínimo de unidades a adquirir en determinado tiempo, pero eso complicaría la posibilidad de cerrar el negocio con el cliente.

#### 5.2.1.1 Modelo de negocio propuesto

Se propone un modelo en que Spectro contrate a nuestra empresa para realizar el desarrollo, y se otorgue el derecho de fabricación a la empresa contratante (no así la propiedad intelectual). De esta forma, el precio a pagar por Spectro consiste en el costo de desarrollo más el margen de ganancia esperado por nuestra empresa.

Este modelo resulta adecuado considerando que es un desarrollo de alto grado de especialización, acotado mercado de uso (Spectro únicamente), e incertidumbre de volumen de producción. Al no vernos lo suficientemente beneficiados por los derechos de fabricación, hemos optado por obtener el beneficio económico de forma inmediata lo que permite tener dinero en caja para invertir en futuros desarrollos.

### 5.2.2 Cálculo del precio del desarrollo

Para tener una estimación adecuada del precio del desarrollo que se le presentará al cliente hay dos aspectos a mencionar, que son:

1. El costo que tiene en recursos para la empresa el desarrollo
2. El margen de ganancia que se le desea sacar al proyecto

En primera instancia se procedió a estimar el costo del desarrollo. En el caso del costo de los recursos humanos, se trabajó en conjunto con el análisis realizado en la factibilidad temporal para poder obtener la cantidad de horas hombre del desarrollo, en donde se considera que uno de los tres miembros del equipo actúa como Project Manager. El detalle de la estimación de horas de trabajo se detalla en la sección Factibilidad Temporal:

- Cantidad de horas de PM: 126 horas
- Cantidad de horas de ING: 1301 horas

Para calcular el valor de las horas hombre se tomó un valor promedio de sueldo que recibe un Project Manager y las horas de trabajo dedicadas al proyecto. Lo mismo sucede en el caso del Ingeniero.

Caso 1) Es importante aclarar que en este caso, para los sueldos de un Project Manager se posee un proporcional concorde a los años de experiencia en el sector. En promedio y mensualmente un Project Manager posee un sueldo mensual estimado de:

39.567\$ Pesos Argentinos<sup>3</sup>

Por lo tanto, considerando ocho horas de trabajo diarias y cuatro semanas al mes:

**Hora Hombre PM**=Salario mensual/(5 días por semana \* 8 horas por día \* 4 semanas por mes)=247.29 \$ por hora.

Caso 2) Se realizó el mismo proceso para un ingeniero Jr. cuyo sueldo mensual estimado es de:

28.531 \$ Pesos Argentinos.

**Hora Hombre Ing**=178.32 \$ por hora.

El costo total en horas hombre es entonces:

Costo total horas hombre=Hora Hombre PM \* 126 + Hora Hombre Ing \* 1301= 263152.8 \$ Pesos Argentinos.

Se estima que un tercio del salario de un empleado consiste en aportes jubilatorios, obra social, e impuestos generales; que es lo mismo que decir que el costo de un empleado es un 50% mayor al que percibe el mismo. Por ende, el costo real de horas hombre es:

Costo real = Costo total horas hombre \* 1.5 = 394729.2 \$ Pesos Argentinos.

Se debieron estimar cuales son los demás costos propios del proyecto.

- Materiales a utilizar. Con este esquema nos referimos a las unidades o herramientas físicas que se utilizarán en la creación del dispositivo final. Incluye displays, teclados, kits de desarrollo de microprocesadores, prototipado, manufactura, etc.

Si bien es imposible estimar los costos de materiales y prototipado previo a la ingeniería de detalle, se puede estimar:

- Kits de desarrollo para microprocesador / fpga / sistema utilizado: con un precio unitario aproximado de 50 dólares. Se requieren al menos dos para generar una comunicación entre dos de los dispositivos.
- Costo de teclados, displays, módulos y demás elementos ya pedidos por requerimientos que se utilizarán para desarrollar y probar las distintas características, con la ayuda de los módulos con kits de desarrollo. Los costos de cada uno de ellos puede no son elevados en sí mismos pero son numerosos los pedidos que deben hacerse.
- Por lo general, los elementos no serán comprados en Argentina por disponibilidad, por ende se debe agregar aquí el costo de envío.
- Realización de la carcasa del prototipo.
- Fabricación y manufactura del prototipo final de prueba.

En total y estimativamente, los costos rondarán los 900 U\$D.

Los instrumentos, licencias de software, equipos y servicios (agua, luz internet, etc) se consideran costos hundidos de la empresa, y no se incluyen en el costo del proyecto en sí.

El costo total del desarrollo estimado es de:

---

<sup>3</sup> (La información fue calculada mediante el uso del sitio [www.lovedmondays.com.ar](http://www.lovedmondays.com.ar))



Costo Total=Costo Real Horas Hombre + Costos extra calculados.

Cabe aclarar que el precio del dólar se toma al tipo de cambio actual, que es de 17.96 pesos por U\$D.

Costo Total=410893\$ Pesos Argentinos=22878.2 U\$D.

Para un margen bruto del 50%, el valor del desarrollo es de:

**Valor del desarrollo = 34317 U\$D**

## 5.3 Factibilidad Temporal

### 5.3.1 Introducción

Para simplificar el análisis de factibilidad temporal se optó por un enfoque “top-down”, desglosando las etapas del proyecto de forma genérica y luego, detallando cada una de ellas.

No obstante, existe cierto riesgo en plantear las tareas con mucho nivel de detalle. Al comienzo del proyecto es incluso más sencillo estimar un conjunto de tareas como una única tarea genérica. Además resulta lógico: hay tareas que no pueden conocerse hasta en tanto no se avance en la planificación del proyecto.

### 5.3.2 Listado de tareas

Desde un punto de vista macroscópico, el proyecto se divide en las siguientes etapas:

Etapa	Descripción
Planteo del problema a resolver	Entender la necesidad del cliente y determinar el alcance del proyecto
Planificación y programación	Estimar y organizar el esfuerzo necesario para resolver el problema planteado, con foco en la optimización en el uso de los recursos.
Ejecución	Como su nombre lo indica, ejecutar el esfuerzo planificado en la etapa anterior. Esta etapa considerado el diseño del dispositivo propiamente dicho
Cierre	Presentación de resultados y lecciones aprendidas.

Por supuesto, esta visión es demasiado global como para poder realizar una planificación del proyecto. No obstante, permite focalizar en cada etapa y analizar cuando comienza y termina la misma. A continuación se presenta el listado de tareas para el proyecto, con su duración estimada (en horas), los recursos humanos necesarios para ejecutarlas, y la precedencia de las mismas.

#### 5.3.2.1 Planteo de problema a resolver

#	Tarea	Tarea secundaria	RRHH principal	RRHH soporte	Horas (tarea)	Precedencia	Horas hombre PM	Horas Hombre Ing
---	-------	------------------	----------------	--------------	---------------	-------------	-----------------	------------------

1.1	Entender necesidad	-	PM	Ing x1	8	-	8	8
1.2	Determinar Alcance	-	PM	-	8	1.1	8	0
1.3.1	Determinar requerimientos	Planteo de requerimientos preliminar	PM	Ing x2	16	1.1	16	32
1.3.2		Validación con cliente	PM	-	8	1.3.1	8	0
1.4.1	Determinar especificaciones	Diagrama de interfaces	Ing x2	-	8	1.3	0	0
1.4.2		Especificaciones de diseño	Ing x2	-	24	1.4.1	0	0
1.5	Revisión	-	PM	Ing x2	8	1.4	8	16

### 5.3.2.2 Planificación y programación

#	Tarea	Tarea secundaria	RRHH principal	RRHH soporte	Horas (tarea)	Precedencia	Horas hombre PM	Horas Hombre Ing
2.1	Definición de objetivos	-	PM	-	4	1.2	4	0
2.2	Determinación de tareas	-	PM	Ing. x2	8	1.5	8	4
2.3	Organización de tareas	-	PM	-	4	2.2	4	0
2.4	Asignación de recursos	-	PM	-	2	2.3	2	0
2.5	Revisión	-	PM	Ing. x2	4	2.4	4	8

### 5.3.2.3 Ejecución

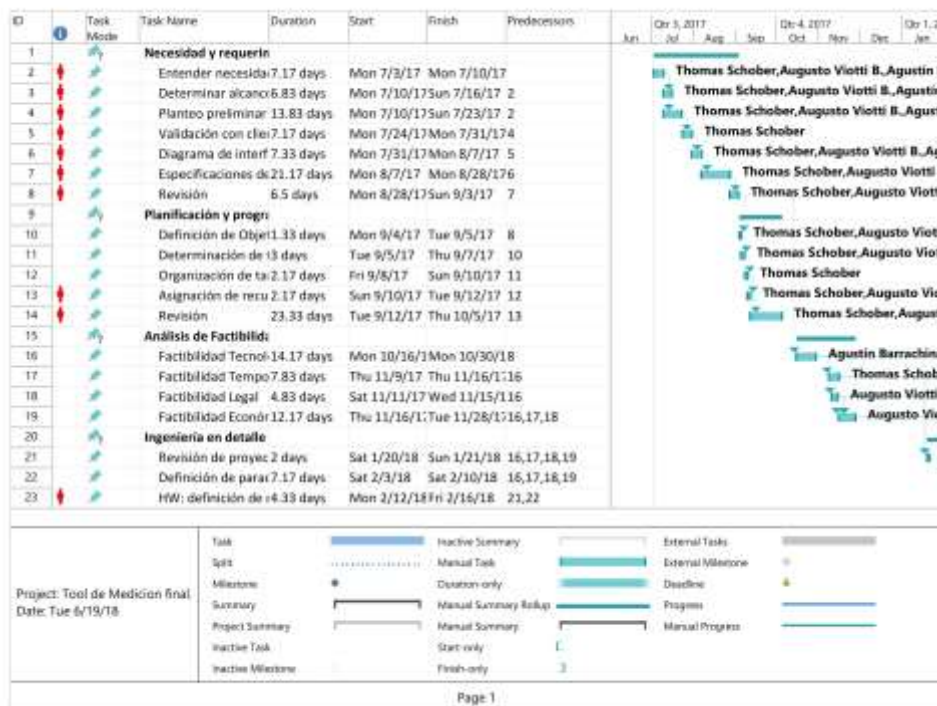
#	Tarea	Tarea secundaria	RRHH principal	RRHH soporte	Horas (tarea)	Precedencia	Horas hombre PM	Horas Hombre Ing
3.1.1	Análisis de factibilidad	Factibilidad tecnológica	Ing x2	-	24	2.5	0	0
3.1.2		Factibilidad económica	PM	Ing x1	24	3.1.1	24	4
3.1.3		Factibilidad legal	Ing x1	-	16	3.1.1	0	16

3.1.4		Factibilidad temporal	PM	Ing x1	8	3.1.1 & 3.1.2 & 3.1.3	8	2
3.2	Revisión de proyecto	-	PM	Ing x2	8	3.1	8	16
3.3	Definir paradigmas y técnicas; y establecer y unificar criterios	-	Ing x1	Ing x1	16	3.2	0	32
3.4	HW: Definición de módulos	-	Ing x1	Ing x1	24	3.3	0	48
3.5	HW: Análisis y elección de componentes	-	Ing x1	Ing x1	40	3.4	0	80
3.6	HW: Cálculo de elementos circuitales	-	Ing x1	Ing x1	24	3.6	0	48
3.7	HW: Diseño de banco de pruebas	-	Ing x1	Ing x1	40	3.4	0	80
3.8	SW: Definición de módulos	-	Ing x1	Ing x1	16	3.3	0	32
3.9	SW: Desarrollo de diagramas de estados y flujogramas	-	Ing x1	Ing x1	24	3.8	0	48
3.10	SW: Análisis de complejidad	-	Ing x1	Ing x1	16	3.9	0	32
3.11	SW: Diseño de banco de pruebas	-	Ing x1	Ing x1	32	3.8	0	64
3.12	Diseño y programación de algoritmos	-	Ing x1	Ing x1	76	3.10	0	152
3.13.1	Construcción del prototipo	Diseño de esquemáticos y PCB	Ing x1	Ing x1	80	3.6	0	80
3.13.2		Compra de insumos	PM	Ing x1	48	3.13.1	8	4
3.13.3		Manufactura	PM	-	80	3.13.2	0	0
3.14	Prueba de prototipo	-	Ing x2	PM	32	3.13.3 & 3.12	4	64
3.15.1	Revisión de proyecto	Validación con cliente	PM	Ing x1	8	3.14	8	8
3.15.2		Revisión de objetivos y cumplimiento	PM	Ing x2	8	3.15.1	8	4

### 5.3.2.5 Cierre

#	Tarea	Tarea secundaria	RRHH principal	RRHH soporte	Horas (tarea)	Precedencia	Horas hombre PM	Horas Hombre Ing
4.1	Presentación de resultados	-	PM	Ing x2	4	3.15	4	8
4.2	Capacitación cliente	-	Ing x1	Ing x1	6	3.15	0	12
4.3	Atención post venta (short term)	-	PM	Ing x1	16	4.1 & 4.2	8	8

### 5.3.3 Diagramas de Gantt y Pert



ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Q1 2017	Q2 2017	Q3 2017	Q4 2017	Q1 2018	
							Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
24	↑	HW: Análisis y elec	28.5 days	Fri 2/16/18	Fri 3/16/18	23						
25	↑	HW: cálculo de elec	9 days	Fri 3/16/18	Sat 3/24/18	24						
26	↑	HW: diseño de ban	31.5 days	Mon 3/26/18	Thu 4/26/18	23						
27	↑	SW: Definición de r6	days	Tue 4/24/18	Sun 4/29/18							
28	↑	SW: desarrollo de c22	33 days	Mon 4/30/18	Tue 5/22/18	27						
29	↑	SW: diseño de ban	30.83 days	Sun 5/20/18	Tue 6/19/18	27						
30	↑	Diseño y programa	27.33 days	Mon 5/21/18	Sun 6/17/18	28						
31	↑	<b>Construcción del prot</b>										
32	↑	Diseño de esquem	21.5 days	Fri 3/23/18	Fri 4/13/18	24FF						
33	↑	Diseño de PCB	7.33 days	Fri 4/13/18	Fri 4/20/18	32,25FF						
34	↑	Manufactura del pi	22.17 days	Sun 4/22/18	Mon 5/14/18	33						
35	↑	<b>Pruebas de prototipo</b>										
36	↑	Pruebas de prototi	23.17 days	Mon 6/18/18	Wed 7/11/18	34,26,29,30						

Project: Tool de Medicion final. Date: Tue 6/19/18	Task		Inactive Summary		External Task
	Split		Manual Task		External Milestone
	Milestone		Duration-only		Deadline
	Summary		Manual Summary Rollup		Progress
	Project Summary		Manual Summary		Manual Progress
	Inactive Task		Start-only		
Inactive Milestone		Finish-only			

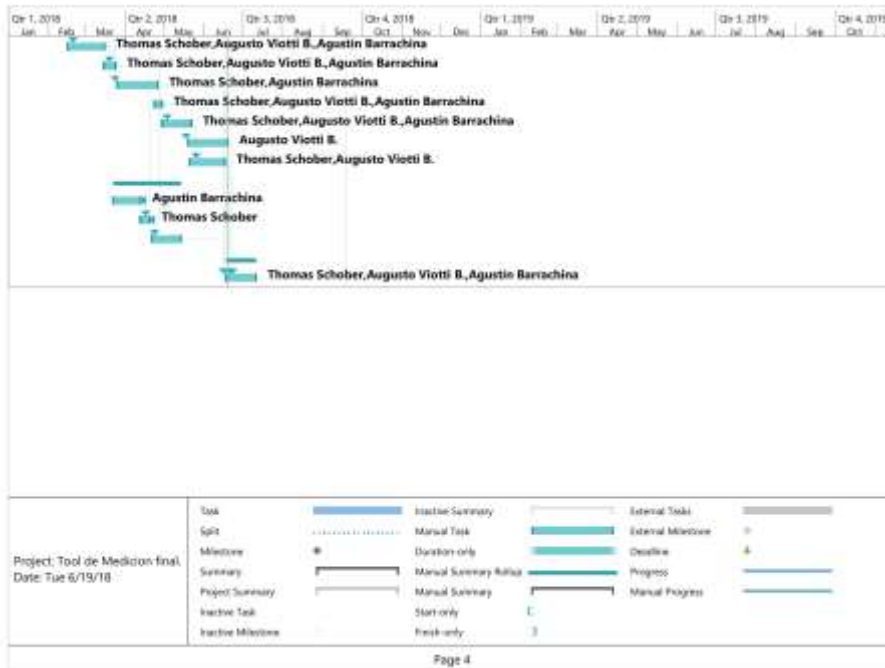
Page 2

Q1 2018	Q2 2018	Q3 2018	Q4 2018	Q1 2019	Q2 2019	Q3 2019	Q4 2019
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
<b>Agustin Barrachina</b> Agustin Barrachina L,Agustin Barrachina  ti B,Agustin Barrachina Viotti B,Agustin Barrachina to Viotti B,Agustin Barrachina  to Viotti B, to Viotti B,Agustin Barrachina  to Viotti B,Agustin Barrachina Augusto Viotti B,Agustin Barrachina  rrachina s Schober o Viotti B, to Viotti B,  Thomas Schober,Agusto Viotti B,Agustin Barrachina Thomas Schober,Agusto Viotti B,Agustin Barrachina Thomas Schober,Agusto Viotti B,Agustin Barrachina							

Project: Tool de Medicion final. Date: Tue 6/19/18	Task		Inactive Summary		External Task
	Split		Manual Task		External Milestone
	Milestone		Duration-only		Deadline
	Summary		Manual Summary Rollup		Progress
	Project Summary		Manual Summary		Manual Progress
	Inactive Task		Start-only		
Inactive Milestone		Finish-only			

Page 3



## 5.4 Factibilidad Legal

Como puntapié inicial se encarará la decisión sobre el tipo de sociedad que se creará para crear y dar vida a la empresa. Se analizan los siguientes tipos societarios:

1. Sociedad Anónima (SA)
2. Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL)
3. Sociedad por Acciones Simplificada (SAS)
4. Sociedad de Hecho (SH)

Las primeras tres opciones brindan a la empresa un factor de completa y suma importancia que la sociedad de hecho no brinda que es la protección del patrimonio del miembro de la sociedad. Uno de los aspectos y razones más importantes por la cual crear una de las primeras tres sociedades mencionadas es para que en caso de un perjuicio o algún problema que surja del manejo continuo en el día a día de la empresa no se deba responder con todo el patrimonio de los dueños de las empresas. Mientras que en la sociedad de hecho, todos los miembros son solidariamente responsables y responderán con todo su patrimonio. Surge entonces un tema a analizar aquí sobre qué leyes se aplican en el caso de un proyecto como el que se tiene en cuenta.

La Ley de Defensa al Consumidor es la ley que se encarga de proteger al elemento más débil en una cadena de producción, que es el consumidor. La pregunta en este caso es: ¿La empresa está obligada por medio de la LDC (Ley de Defensa al Consumidor)? Se presenta a continuación un extracto de la ley mencionada:

*“No están comprendidos en esta ley los servicios de profesionales liberales que requieran para su ejercicio título universitario y matrícula otorgada por colegios profesionales reconocidos oficialmente o autoridad facultada para ello, pero sí la publicidad que se haga de su ofrecimiento. Ante la presentación de denuncias, que no se vinculen con la publicidad de los servicios, presentadas por los usuarios y consumidores, la autoridad de aplicación de esta ley informará al denunciante sobre el ente que controle la respectiva matrícula a los efectos de su tramitación.” (Ley N° 24.240)*

Como se observa en el extracto anterior tomado directamente de la ley, la misma no es de aplicación para casos donde se prestan servicios o se venden productos profesionales. Por esto, la empresa tal como está conformada no es un sujeto obligado de dicha ley.

Sin embargo, la responsabilidad en caso de perjuicios también puede surgir de cómo se utilicen los productos de la empresa. Es de vital importancia dejar en constancia y muy en claro que la responsabilidad de operación es de quien opera la herramienta. La empresa no se hará cargo de que la herramienta se utilice de una manera en la que no fue intencionada.

Habiendo hecho aclaración de las responsabilidades delimitadas se vuelve a la elección de la sociedad. Las 3 distintas sociedades que se presentan (sin contar la SH) poseen ciertas ventajas y desventajas de su conformación. En primera instancia, como ya se mencionó, uno de los atractivos más grandes es crear una persona jurídica nueva con su respectivo patrimonio para aminorar (teóricamente ya que en la práctica son los jueces quienes poseen la última palabra con respecto a quién responde en caso de perjuicio) el costo monetario de un eventual problema. Esto es un gran punto a favor de estas tres sociedades.

Surgen ahora y pasan a explicarse las grandes desventajas que se tienen para este tipo de proyecto.

**SA:** En primera instancia su constitución es la más onerosa. Algo tentativo de dicha sociedad más allá de su costo elevado para generar su estatuto y así darle vida es que puede ser constituida por una sola persona (sociedad unipersonal). En el caso de la empresa para el proyecto, no lo será y por ende esto no es ninguna ventaja más que un aumento en costos. Deben existir en ella tres órganos que la gobiernen (asamblea de accionistas, directorio y consejo de vigilancia), lo cual se traduce en más costos y uso de uno de los recursos más importantes que se poseen, que es el tiempo. Es recomendada para negocios complejos y es por esto que se descarta esta solución.

**SRL:** De manera similar a la SA, la misma se genera por medio de un contrato social. Dicha conformación también requiere dinero pero en menores cantidades que la SA. En el caso de este proyecto, el riesgo no es lo suficientemente grande como para crear una SRL. Es importante a su vez comprender que crear dicha sociedad consume recursos tanto de dinero como de tiempo (para la continuación de la SRL debe llevarse constancia de todas las reuniones de los socios y decisiones de los mismos todo escrito en un libro de actas cuyo mantenimiento requiere mucho tiempo que es uno de los recursos cruciales en este proyecto y se decidió no invertirlo en cuestiones societarias).

**SAS:** Es un formato societario bastante reciente que tiene muchos aspectos superiores a las SA y SRL. Uno de ellos es el tiempo en el que puede llegar a formarse. Cabe aclarar que para la formación de la misma, se requiere (para conformarla por instrumento privado) de la firma de un juez, escribano, banco o autoridad competente. Más allá de que el proceso final de aceptación y conformación de la sociedad sea veloz, todo el proceso para cumplir con los requerimientos no lo es. Una ventaja es que tributa directamente con su número propio de CUIT ante la AFIP. Por último aspecto a analizar, se debe especificar (como en los otros dos casos anteriores) una razón u objeto para la sociedad, que la limita a realizar la actividad que esté en dicho campo del documento conformatorio (lo cual puede llegar a limitar a futuro el accionar de la empresa). Recapitulando, si bien se ofrecen muchas facilidades para que desde el momento en que se inicia el trámite para crear la SAS en cuestiones de tiempo (el CUIT se entrega 24 horas después del comienzo del trámite), para llegar a dicho momento con los papeles en forma, se requiere invertir recursos temporales que no se poseen para invertir en ello.

Por descarte y conveniencia, la sociedad a conformar es la sociedad de hecho que se caracteriza por no tener instrumento constitutivo (si bien no es necesario, se exhibe en el anexo C) un documento que refleja la constitución simbólica de la sociedad). La sociedad tributará ante la AFIP un 35% de impuesto a las ganancias según lo que es dictaminado por ley.

Por último y desde otro punto de vista de lo analizado hasta el momento, con respecto a normativas aplicables al dispositivo a crear se encuentra la norma establecida como requisito. La misma es la norma 202/95 que es parte de las normas de inmisión que se deben cumplir en la Argentina para garantizar la salud de las personas. La norma menciona cuales son las potencias de inmisión máximas que debe haber en un ambiente para no dañar la salud del cuerpo humano. Para probarlo, la empresa a formar lo que hará es probar que se cumpla a norma en un recinto donde sin la presencia del dispositivo a desarrollar se la cumpla, y con el dispositivo funcionando también. Esto va de la mano con lo que se mencionó anteriormente que la responsabilidad de uso es de quien utiliza la herramienta y no caerá dicha responsabilidad sobre quien la creó. Es importante dejar estos parámetros en claro para concluir la factibilidad legal.

## 6. Ingeniería de Detalle

### 6.1 Hardware

En primera instancia, se procede a exhibir un diagrama en bloques de la arquitectura pensada para el proyecto. En él, se exhibirán todo lo necesario para comprender las interconexiones entre los bloques de HW provistas para el equipo. Teniendo una visión global para el hardware (similar a la provista en el diagrama de bloques de la sección de factibilidad tecnológica), se analizará luego cada una de las subsecciones detallando qué componentes de hardware serán utilizados para cada uno de los módulos.

#### 6.1.1 Diagrama de Bloques

El diagrama en bloques de interconexiones de Hardware se exhibe en la siguiente figura:

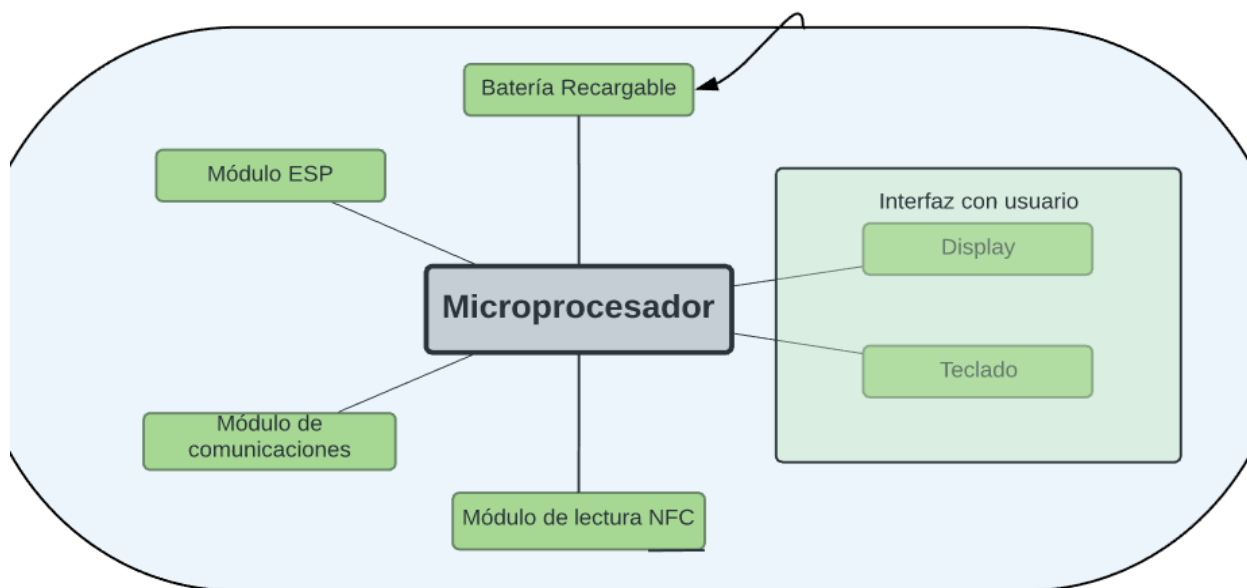


Figura 5.1: Diagrama en bloques del hardware.

En la figura anterior, se observa que el diseño posee una disposición de sistema centralizado, cuya centralización se basa en el microprocesador que se implemente. Cabe aclarar que la utilización de un microprocesador como así también muchos de los tipos de componentes (entendiéndose por tipo no el módulo de hardware específico a comprar, sino el tipo de hardware a comprar, dando como ejemplo teclado matricial) ya fueron analizados y elegidos en secciones anteriores. Se da la información del diagrama de bloques para poder analizar aquí aspectos macro de la interconexión.

Con respecto a la alimentación, se observa que la batería recargable es la encargada de brindar alimentación a todos aquellos módulos que así lo dispongan. Por ende, la tensión elegida para la batería recargable (la salida de la misma) será un factor limitante si no se desea hacer ninguna fuente que eleve la tensión. Esta decisión queda se analiza en el siguiente cuadro:

Análisis sobre agregar hardware específico para poseer tensiones diferentes en la placa	
PROS	CONTRAS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se pueden tener más libertad al elegir módulos específicos</li><li>• Menor tiempo de investigación de modelos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gasto de tiempo en diseño de circuito y banco de pruebas para un módulo específico de shifting de niveles.</li></ul>



con únicos valores de tensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasto de dinero en hardware extra</li> <li>• Agregado de complejidad al diseño de la placa</li> </ul>
-------------------------------	--

Teniendo en cuenta la tabla anterior y basados principalmente a los requerimientos de costos de parte del cliente, se procedió a no realizar el circuito mencionado.

Otro aspecto a tener en cuenta de este esquema es la interconexión entre el microprocesador con todos los demás módulos. Nótese que el color del mismo, es diferente, ya que en un nivel jerárquico el microprocesador se encuentra en un plano superior. Será el encargado en manejar cada uno de los módulos subyacentes, por lo que tendrá una interconexión a nivel de hardware con cada uno de los mismos.

### 6.1.2 Análisis en detalle de cada uno de los módulos

Para cada uno de los módulos que se exhibieron en el diagrama de bloques, se procederá a realizar un análisis sobre cuáles son los componentes que se utilizarán, procediendo también con una especificación cuantitativa sobre la razón de implementación de cada bloque.

#### 6.1.2.1 Microprocesador

En secciones anteriores, se analizó la utilización del microprocesador por sobre los demás componentes capaces de centralizar el control de toda la herramienta. Recae en esta sección la decisión final según un criterio que será definido a continuación. Como se mencionó anteriormente, las opciones recaen entre Arduino y Kinetis.

Existen gamas muy amplias de procesadores que pueden llegar a ser utilizados para esta aplicación, por lo cual se reducirá la búsqueda basado en tres aspectos clave, que son:

1. Precio.
2. Consumo.
3. Familiarización por parte de los diseñadores del proyecto.
4. Tiempo estimado de desarrollo.

Cada uno de todos estos aspectos se tendrá en cuenta para la elección específica de microprocesador a utilizar. En primera instancia, se elegirá la marca a utilizar, donde el factor determinante es el punto 3. Esta decisión se toma ya que dentro de las familias de componentes, las arquitecturas suelen ser similares y por ende si se utiliza la misma marca que la usada en la materia Laboratorio de Microprocesadores, el nivel de conocimiento del mismo será mucho mayor que con cualquier otro microcontrolador. Es importante aclarar que ninguno de los integrantes de este proyecto trabajó en su vida con otro microcontrolador que no sea de la familia NXP<sup>4</sup> y es por esto que se partirá de la base para búsqueda de microprocesadores los que pertenezcan al tipo mencionado.

Para la selección de la familia dentro de los microprocesadores, se exhibe la siguiente tabla a elección, agregando una columna además de los tres factores mencionados, que explica a qué se orienta cada uno de los micros.

Procesador	Precio	Consumo	Familiarización	Aplicación	Tiempo de desarrollo
Arduino Leonardo (ATmega32u4)	USD 3,75	Low-Power	Poca	Arduino no posee una aplicación específica. Es	Muy bajo debido a que la gran mayoría de los módulos

<sup>4</sup> Disponible en: <https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/arm-based-processors-and-mcus:ARM-ARCHITECTURE> y en <https://store.arduino.cc/usa/>

Arduino NANO (ATmega328)	USD 1,68 <sup>5</sup>	Very Low-Power	Poca	un dispositivo muy ampliamente usado por ser genérico.	son entregados junto a software de desarrollo en Arduino.
Arduino MEGA (ATmega2560)	USD 9,84	Low-Power	Poca		
Kinetis Cortex-M MCUs	USD 9,75 <sup>6</sup>	Low-Power (~31mA)	Alta	MCUs de bajo consumo de 32 bits. Comúnmente conocidos en el mercado como Arm Cortex M0+/M4/M7	Muy elevado. Los fabricantes no suelen diseñar sus módulos de HW pensando en estos procesadores. (a)
LPC Cortex-M MCUs	USD 2.8275 <sup>7</sup>	Low-Power	Nula	Pensado para aplicaciones de "Internet Of Things" por su facilidad de uso. (Bajo poder de procesamiento)	IDEM (a)
i.MX Applications Processors	N/A	N/A	N/A	Pensado para soluciones multimedia y aplicaciones de display.	IDEM (a)
QorIQ Layerscape Arm Processors	USD 25 (Promedio)	Low-Power	Nula	Orientado a comunicación. En caso de no existir módulos Wi-Fi para micros, sería una opción muy adecuada.	IDEM (a)
S32 Automotive Platform	N/A	N/A	N/A	MCUs para aplicaciones automotrices e industriales	IDEM (a)
MAC57D5xx	N/A	N/A	N/A	Multi-Core, optimizado para Clusters y manejo de Displays.	IDEM (a)

Tabla 5.1.2.1: Grafico Comparativo

<sup>5</sup> El precio de los arduinos están pensados para ser comprados en las cantidades pedidas por la empresa.

<sup>6</sup> El valor es un promedio de los valores en el mercado, en arduino

<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/>

<sup>7</sup> Basado en el módulo más apropiado de este estilo para la aplicación estudiada: LPC51U68JBD48

De todas las distintas opciones hay varias que quedan descartadas por las funcionalidades para las que fueron pensadas. Por otro lado, del lado de Arduino y conociendo los otros módulos necesarios para el desarrollo, quedan descartado el ATmega32u4 (Arduino NANO) y ATmega328 (Leonardo) ya que los mismos no poseen la cantidad de pines de I/O necesarios. Dentro de las que no fueron descartadas, se entiende que todos los factores son importantes. Sin embargo, el factor más determinante para la elección es el de **familiarización** con la tecnología a utilizar y **tiempo de desarrollo** de la misma, ya que todos los precios se adecúan dentro de los valores buscados para este componente y el consumo es pequeño (La importancia del consumo está en las especificaciones a cumplir de tiempos de autoabastecimiento). Con respecto a la familiarización, la tabla llevaría a estimar que la mejor elección son los microprocesadores que provee kinetis. Sin embargo, hay un aspecto importante que se está dejando de lado que es el de la curva de aprendizaje. Para arduino, si bien la familiarización es baja, la forma de programar el software es similar a C por lo que en este caso la familiarización es elevada. Teniendo los conocimientos de cómo utilizar un microprocesador, la curva de aprendizaje es muy pequeña. Por estas razones se basa la crucial decisión en el tiempo de desarrollo del programa de software principal. Por esto y todo lo descartado, se utiliza la elección final de:

### **ATmega2560 (Arduino MEGA)**

#### 6.1.2.2 Módulo ESP

Para esta sección no existen alternativas ya que por requerimientos está definido el tipo de dispositivo a utilizar. Se adjunta aquí a la subsección de módulo ESP, el modo bluetooth que deberá también ser agregado. Por ende, en base a los requerimientos del cliente, que son los [REQ-BLE](#) y [REQ-ESP](#) se agregaran los módulos:

- Nombre del módulo ESP: ESP-12E (contiene el IC ESP8266)
- Nombre del módulo BLE: BMD-200

#### 6.1.2.3 Módulo de Comunicaciones

Es importante, en primera instancia, analizar que para el módulo de comunicaciones (el cual se encargará de enviar y recibir los paquetes para evaluar la calidad del enlace) son muchísimos los módulos del mercado que nos permitirán realizar lo pedido. Se podría hacer un análisis en profundidad cómo se realizó con los microprocesadores pero hay algunos factores a destacar que se exhiben a continuación en orden de importancia:

1. Compatibilidad con Spectro
2. Facilidad de programación y familiarización con el módulo elegido.
3. Precio

Uno de los objetivos principales de la herramienta es la medición de la calidad de un enlace que represente de manera más fiel el entorno en el cual se utilizan los dispositivos de Spectro, por lo que se utilizará el módulo NRF24L01+, de forma que se mantenga la compatibilidad entre dispositivos.

#### 6.1.2.4 Display

Como se aclaró en la sección 4.1, se utilizará un display de 16x2 LCD con luz backlight. Se buscó displays con dichas características en la página DigiKey [4]. El display LLC 1447 de Adafruit Industries fue considerado como opción; no obstante, su baja disponibilidad en el mercado hizo que se optara por el display HD44780.

Este módulo, que normalmente opera a 5V puede operar también a 3.3v, lo que resulta ideal para poder alimentar el circuito integralmente con una única tensión.

Por otro lado, otros productos similares al elegido mostraron no estar tan bien documentados como el display 1528-2212-ND.

#### 6.1.2.5 Teclado

Las opciones en ésta área fueron más limitadas. Se busco un teclado numérico que tuviera al menos una dimensión de 4x4.

Se realizó entonces únicamente una búsqueda por precio y disponibilidad en el distribuidor y se eligió finalmente el teclado 96AB2-102-F de Grayhill inc.

Si bien el mismo no fue necesariamente el más económico, presentó una interfaz más amigable ya que en lugar de poseer los pulsadores convencionales, presentaba unos botones numerados más estéticos.

Para el prototipo se utilizarán pulsadores interconectados en forma matricial

#### 6.1.2.6 Batería Recargable

Se utilizará una batería típica de 3.7V de Li-Ion de 1 celda, con capacidad suficiente para alimentar el circuito. Se optó por esta tensión ya que es ampliamente utilizada en el mercado, lo que la hace atractiva por lo que la oferta de precios y simplicidad de reemplazo.

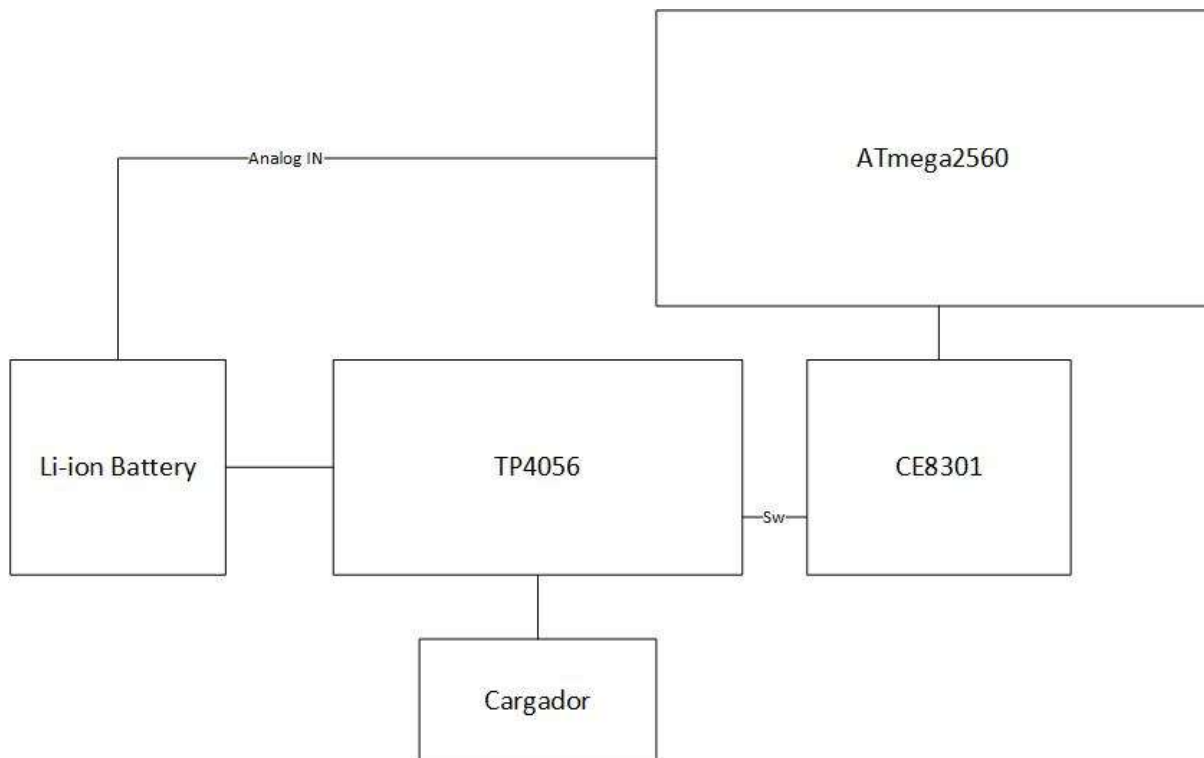
Para su carga, se optó por el circuito integrado TP4056 que es ampliamente utilizado en el mercado. Este módulo es capaz de entregar una corriente de carga de hasta 1000mA, la documentación [6] disponible es amplia y permite conectar la batería directamente desde un puerto microUSB. El módulo entrega una tensión de carga constante de 4.2V, y la mencionada corriente de carga es programable mediante un resistor. El circuito integrado TP4056 finaliza automáticamente el ciclo de carga, lo que resulta atractivo para el uso no controlado del dispositivo. Posee una protección por la cual desconecta automáticamente la batería al llegar a los 2.4V, tensión bajo la cual se considera que la batería recibe un daño que afectaría la vida útil de la misma.

Sin embargo, la batería posee una carga de 3.7V nominal con un máximo de tensión de 4.2V. El arduino debería ser alimentado con 5V en todo momento incluso cuando la batería esté próxima a agotarse. Para tal finalidad se agregó un StepUp Booster DC-DC CE8301 [5] al cual se le ingresan con tensiones de 0.9V a 5V y devuelve una tensión de salida de 5V estable incluso cuando la misma está cerca de su corte en 2.4V.

Para medir el estado de la batería se ingresa la tensión de la misma a un pin analógico de Arduino. El mismo obtiene la tensión de entrada de dicho pin comparandola con una tensión de referencia de 5V interna que por lo tanto debe ser lo más fiable posible. Sabiendo que la batería corta en 2.4V y que su tensión máxima es de 4.2V se calcula el porcentaje de carga.

A continuación se muestra un diagrama de los módulos en cuestión. Puede observarse como la batería alimenta directamente al módulo TP4056 el cual se encarga de cortar el uso de la misma si se llega a 2.4V. El módulo TP4056 también cargará la batería y alimentará al Arduino si se le conecta un cargador mediante la entrada USB que posee. Por último el módulo CE8301 se encargará de generar la tensión de 5V estable para que el Arduino funcione sin inconvenientes.

La conexión de la batería al pin analógico del ATmega se utiliza únicamente para la medición de la carga de la batería. Un switch o botón que conecte el módulo TP4056 con el módulo CE8301 será utilizado como botón de encendido y apagado de la herramienta. Colocándolo en ese lugar se puede asegurar que el arduino no reciba tensión pero que la batería pueda cargarse con la herramienta apagada.



Calculo de duración de batería según los siguientes datos:

- La eficiencia del módulo CE8301 es superior al 85% [5].
- El consumo máximo del display (cuando tiene el backlight encendido) es de 25mA [16]
- El consumo típico del módulo ATmega 2560 es de 10mA con un máximo de 14mA [14]
- El consumo máximo del módulo Ble BMD 200 es de 6.3 mA [12]
- El consumo máximo del módulo ESP-12E es de 50 mA [13]
- El módulo NRF consume 7 mA o 12.6 mA según si esté en modo de recibir o enviar paquetes [9]
- El módulo NFC consume 25 mA [7]

A partir de los valores enumerados se calcula un consumo total de:

$$\frac{25 + 14 + 6,3 + 50 + 12,6 + 25}{0,85} = 157 \text{ mA}$$

Por la especificación ESP-BAT-01 la batería debería poder durar más de una hora. Para lo cual bastaría con una batería de 200 mAh (reales, es decir una vez que se haya corregido el valor nominal con los coeficientes de corrección de temperatura y otras variables).

#### 6.1.2.7 Módulo NFC

Existen dos estrategias para implementar el lector NFC que si bien son similares en funcionamiento, son muy distintos en cuanto al trabajo que requieren.

En primer lugar se podría conseguir directamente el integrado PN532 por ejemplo e integrarlo a la placa que se desea hacer. Agregándole al esquemático de la placa principal del producto. Para ello habría que estudiar las numerosas salidas y sus conexiones además de diseñar y colocar la antena requerida.

Sin embargo, como una segunda opción, existen diversas placas que contienen el módulo integrado con unos pines de salida que simplifican el uso del lector NFC. Además, el mismo ya viene con la antena integrada entre otras especificaciones.

Considerando estas dos opciones, incluir el integrado directamente a la placa supone cierta dificultad sumando mucho tiempo de trabajo, lo cual por los limitados recursos de lo que disponemos no sería muy satisfactorio. Usar el módulo con antena incluido puede afectar la integración y el tamaño del producto haciéndolo un poco más grande. De todas formas, ese defecto no es de mucha relevancia ya que aún con ese aumento de tamaño, el producto logrará cumplir las especificaciones de dimensiones y peso.

Fue difícil elegir la placa deseada. A pesar de una vasta documentación sobre el módulo NFC en sí [7]. Las placas que lo integran poseen poca o nula.

Existen placas que vende NXP que ya viene con todo el código necesario para hacerlo funcionar. Además existe por supuesto todo el código y drivers necesarios para correrlo fácilmente sobre nuestra placa. Tal es el caso por ejemplo del OM5577/PN7120SM. Sin embargo, su precio era muy superior a las demás opciones y en éste caso no se justificaría pagar dicha suma por el módulo ya que se deberá invertir repetidamente dicho valor por lo que no sería viable.

Se adquirió una placa con un módulo NFC PN532 RFID. Se eligió la misma porque fue de las pocas que venían con antena incluida. Lo cual reduce significativamente el tamaño (a la mitad aproximadamente). Además, según el datasheet, posee una distancia aproximada de entre 5 a 7 cm lo cual supera ampliamente las especificaciones propuestas. La tensión de alimentación también fue compatible con la tensión que alimentará nuestra placa por lo que no generó conflictos en ese tema.

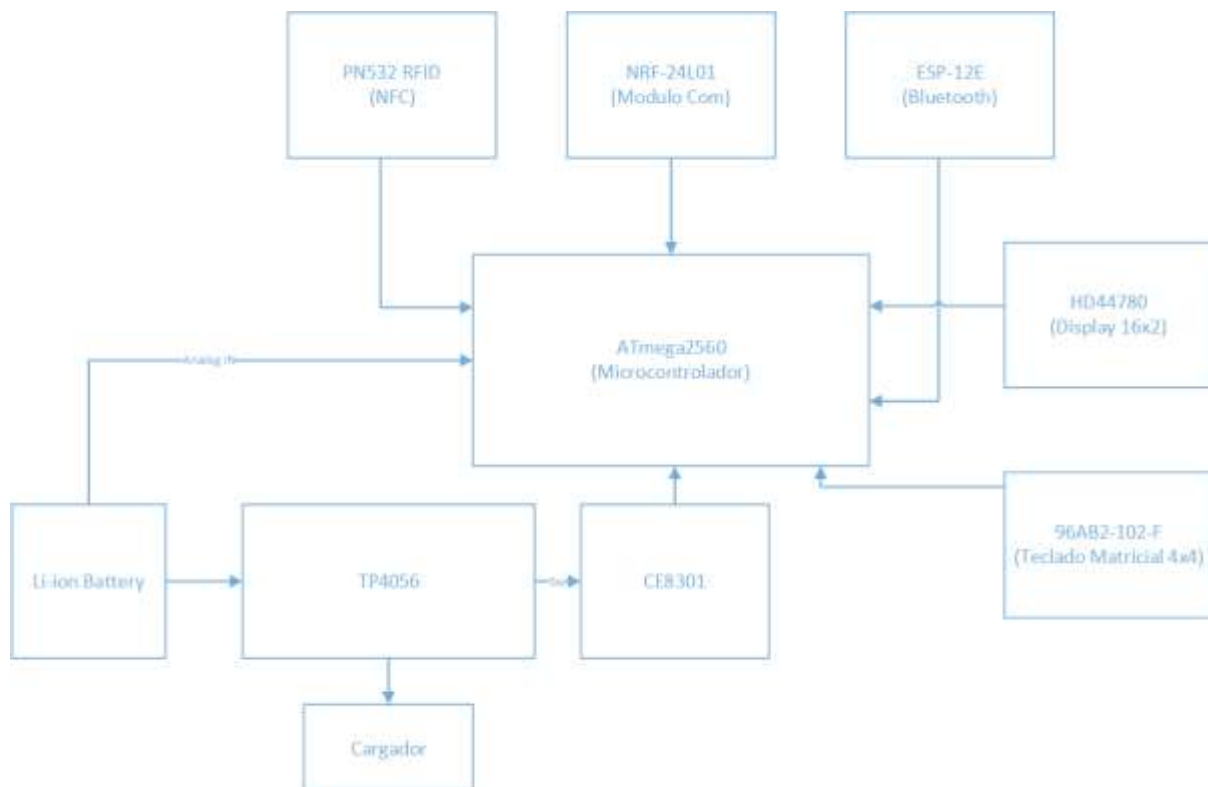
El módulo provisto, si bien posee documentación escasa, posee mucha más documentación que otros modelos siendo de los más populares. El código presente en GitHub mostró una comunidad muy activa de personas que contribuían al código y presentaban devolución de errores para corregir. Se corregía el código de los drivers al menos una vez por semana en los últimos dos años.

Efectivamente se probó algunos códigos en un Arduino Leonardo y se comprobó que el mismo andaba perfectamente. Al comprar el módulo vino incluido una tarjeta y un llavero los cuales poseían un TAG nfc. Con los mismos se comprobó que la distancia aproximaba a la especificada de 5 a 7 cm. El mismo solo se utilizó como una aproximación antes de la prueba descrita en la sección correspondiente los planes de integración y test del NFC.

La placa posee varios protocolos de comunicación: I2C o IIC, SPI y HSU. Se eligió utilizar el modo I2C ya que el mismo posee menor cantidad de señales que el modo SPI y el equipo de ingeniería tiene mayor experiencia en su uso.

### 6.1.3 Diagrama en bloques del prototipo

En la siguiente figura se muestra el diagrama en bloques final de la herramienta con los módulos seleccionados en ésta sección:

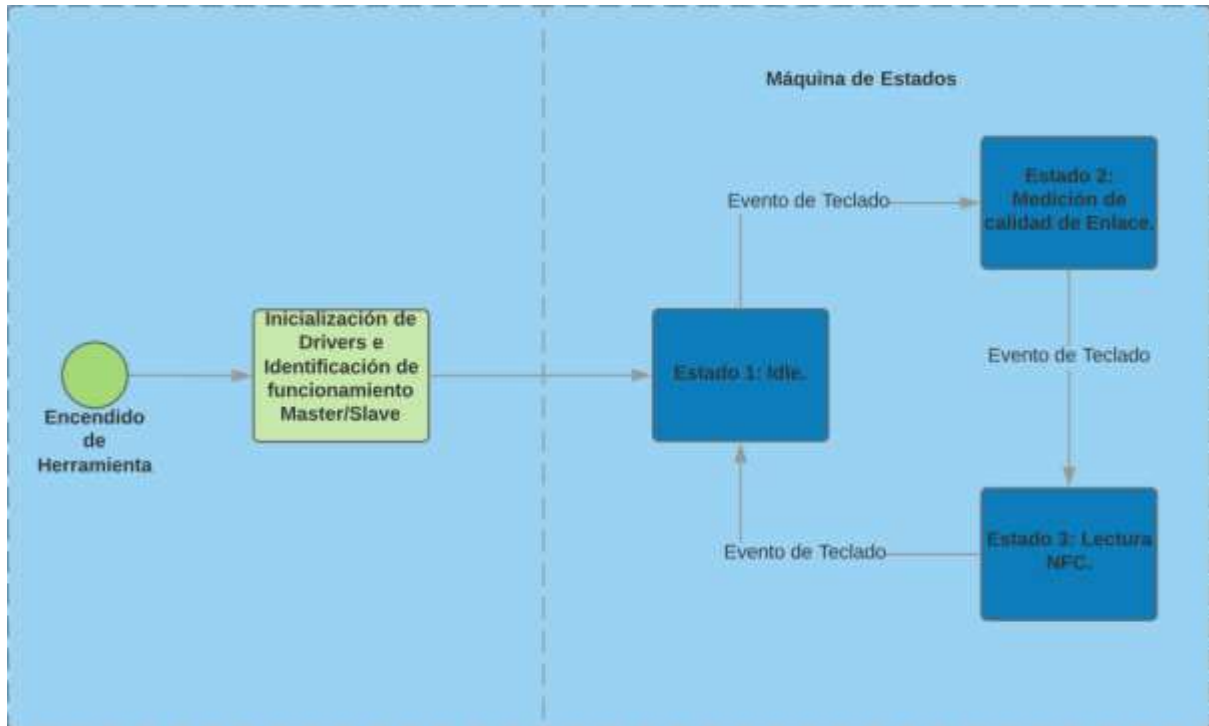


## 6.2 Software

En la sección presentada a continuación se realizará un análisis similar al de Hardware, analizando un esquema modular genérico del funcionamiento del Software y luego se analizará cada subsección por separado, observando la forma en la que se llevará a cabo lo exhibido.

### 6.2.1 Diagrama de estados

Se exhibe en la siguiente figura, una esquematización en diagrama de estados al programa a implementar:



Puede observarse del mismo que consta de dos partes principales, que son:

- Inicialización
- Máquina de Estados

Cada uno de estos dos puntos se desarrollará en su debido momento, pero amerita realizar una explicación de qué es lo que ocurre en cada ciclo. El ciclo de inicialización, como su nombre lo indica, inicializa los drivers y variables del programa a valores conocidos y necesarios para que la herramienta comience a operar. Una vez finalizada la secuencia de inicio, comienza el programa principal, que navegará entre los estados "Idle", "Medición de calidad de enlace" y "Lectura NFC" según lo opere el usuario.

```
void loop() {
  char keypressed = myKeypad.getKey(); // Entrada del teclado
  if (keypressed != NO_KEY) { // Tomo la tecla seleccionada
    [...]
    // Cambio state_machine si corresponde
  }
  switch(state_machine) {
    case IDLE_STATE:
      // Do nothing
      break;
    case NFC_READ:
      NFC_Mode();
      break;
  }
}
```

```
case NRF_TX:
    NRF_TX_Mode();
    break;
case NRF_RX:
    NRF_RX_Mode();
    break;
case EXTRA:
    // Future development (BLE)
    break;
}
}
```

En el cuadro anterior se muestra el pseudocódigo del programa principal de la herramienta luego de la inicialización. La misma tiene un funcionar muy sencillo en el cual primero toma algún evento del teclado para ver si necesita cambiar el estado de la herramienta y luego entra a una función correspondiente al estado actual.

Cabe observar que se realizó el código de forma que simplifique su escalabilidad, es decir, simplificar a Spectro la posibilidad de agregar nuevos estados o funcionalidades. Para ello habría que agregarle al *enum* al cual pertenece la variable 'state\_machine' el nuevo estado a agregar. Seleccionar que con el teclado se asigne dicho valor a la variable y finalmente en el loop *switch case* agregar la función del estado nuevo. De dicha forma podrá agregarse fácilmente por ejemplo la funcionalidad del módulo bluetooth.

## 6.2.2 Descripción de Subrutinas

### Estado 1: Idle.

Al finalizar la etapa de inicialización, se entrará en un estado cuya función será solamente verificar en qué modo de uso se encuentra la herramienta mostrando un mensaje acorde. Se programará de forma de que se puedan agregar más funcionalidades de forma sencilla al mismo código permitiendo sumar otras características a la herramienta en un futuro. Dicho estado por lo tanto presenta una etapa inicial pero no se encargará de cumplir ningún requerimiento de los nombrados en la sección de Requerimientos sino que simplemente se agrega por comodidad y prolijidad.

### Estado 2: Medición de calidad de enlace

La medición se realizará sabiendo la cantidad de paquetes que envía el protocolo, los cuales son 32 como indica ESP-FUN-PAQ. Se leerá la cantidad de paquetes recibidos que, sabiendo el valor de dichos paquetes, se sabrá si se obtuvieron correctamente. Se calculará el resultado obteniendo un ratio entre la cantidad de paquetes recibidos correctamente sobre la cantidad de paquetes enviados como indica la especificación ESP-FUN-RAT.

El Master se encargará de enviar los paquetes para que el Slave actuando como receptor, envíe los paquetes ACKs necesarios como para que el transmisor calcule la calidad de enlace mostrándola en modo de porcentaje sobre el display de la herramienta. Así hasta que el usuario decida cambiar de modos y quien fue Slave pase a ser Master y viceversa.

### Estado 3: Lectura NFC

El estado de lectura de NFC presentará un formato sencillo donde sólo verificará que el módulo reciba un mensaje NFC. De ser así se leerá el código NFC y se mostrará en pantalla dicho resultado. El resultado permanecerá en pantalla hasta que ocurra una nueva lectura NFC o hasta que se cumple el tiempo de muestra del TAG, tras el cual habrá que volver a colocar el objeto a medir.

## 6.2.3 Plan de pruebas del Software

### **Ingreso de datos**



Deberá prestarse especial atención al ingreso de datos incorrectos. Por ejemplo, si cierto botón que se usa para el estado 3, no posee funcionalidad para el estado 2, deberá asegurarse que presionar dicho botón no interfiera con el funcionamiento normal de la herramienta.

Para el test se realizó un programa que ingresa para cada estado, todas las entradas posibles de teclado, una por vez esperando 10 ciclos del loop principal de arduino entre cada entrada. Se imprimió en el puerto serie USB, para cada entrada al loop, el estado actual de la máquina de estados. Mediante la herramienta *Realterm: Serial Terminal* [28] se guardó el resultado en un log. Tras obtener el archivo se verifica una salida esperada de 130 repeticiones de un mismo estado pasando por 3 estados diferentes (Idle, Medición de calidad de enlace y lectura NFC).

Al conocer el estado esperado se realizó un pequeño script de python que verifica que la entrada sea efectivamente la esperada e imprime si el test se pasó positivamente o no.

Para el experimento se omitieron los casos de las entradas en las cuales sí se espera un efecto visible en los mismos. Dichos casos se verifican con el test TEST-FUN-SEL y no fue necesario realizarlo en éste caso.

Estado 1: Idle.

Por la simplicidad de éste modo. Se deberá únicamente verificar que pueda accederse a todos los estados posibles. También deberá poderse cambiar de una funcionalidad a otra fácilmente.

Test ID	TEST-FUN-SEL
Objetivo	ESP-FUN-SEL
Banco de Prueba	Herramienta prototipo con todas sus funcionalidades.
Precondiciones	
Procedimiento	Se realizó un programa que verifica todos los cambios posibles de la entre los estados de la herramienta e imprime dicho resultado en un documento '.log'.
Criterio de Aceptación	Se considera que la prueba fue exitosa si el archivo texto creado tiene el siguiente contenido sin ningún carácter extra o distinto: IDLE STATE      NRF TX STATE      IDLE STATE IDLE STATE      NRF RX STATE      IDLE STATE IDLE STATE      NFC STATE      IDLE STATE NRF TX STATE      NRF RX STATE      NRF TX STATE NRF TX STATE      NFC STATE      NRF TX STATE NRF RX STATE      NFC STATE      NRF RX STATE
Postcondiciones	
Comentarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>El código coloca la herramienta en modo IDLE. De la misma se pasa a la funcionalidad 1, volviendo luego al estado IDLE. Pasando a la funcionalidad 2 y volviendo nuevamente al estado IDLE. Se repite este método con todas las funcionalidades. Luego se va a la funcionalidad 1. Repitiendo el experimento para todas las demás funcionalidades exceptuando el estado IDLE. Al terminar se va a la funcionalidad 2 y se repite el experimentos para todas las funcionalidades cuyo valor sea superior al de dicha funcionalidad (el 2) repitiendo el protocolo hasta que todas las funcionalidades hayan sido probadas.</li> <li>Es importante que de agregarse en una versión futura una funcionalidad extra se deberá modificar el código de testeo como así también el criterio de aceptación.</li> </ul>

Test ID	TEST-UI-03
Objetivo	ESP-UI-03
Banco de Prueba	Herramienta prototipo con todas sus funcionalidades.
Precondiciones	TES-FUN-SEL
Procedimiento	Se debe ir a todas las funcionalidades existentes y verificar que en pantalla indique la funcionalidad correcta.
Criterio de Aceptación	Se considera que la prueba fue exitosa si en pantalla muestra la funcionalidad correcta para todos los casos de prueba.
Postcondiciones	
Comentarios	

Estado 2: Medición de calidad de enlace

Test ID	TEST-FUN-PAQ
Objetivo	ESP-FUN-PAQ
Banco de Prueba	Dos herramientas que posean el modo implementado de medición de calidad de enlace. Se las debe colocar a una distancia menor de 10 cm sin objetos que puedan interferir en la comunicación entre ellos.
Precondiciones	TEST-UI-04 Cambiar el código de la herramienta que va a recibir los paquetes para que muestre en pantalla la longitud de los paquetes recibidos y su cantidad.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar ambas herramientas en comunicación</li> <li>2. Observar el resultado de la herramienta que recibe los paquetes</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Se considera que la prueba fue exitosa si en pantalla muestra que se recibieron 32 paquetes de longitud 32.
Postcondiciones	
Comentarios	

- SIM-FUN-RAT: Se le modificó el código a la herramienta que recibe paquetes para pasarle valores ingresados por teclado. Se verificó luego que la herramienta muestre resultados acordes al valor que se le fue entregado por teclado. La herramienta no debe nunca calcular de forma errónea dicho valor para la aprobación del test.
- TEST-MAN-01: Se debe encender una sola herramienta y colocarla en modo RX. La misma deberá indicar que no hay comunicación mostrando un porcentaje del 0%.

Estado 3: Lectura NFC

Se hizo uso de un Arduino Leonardo para probar el código NFC. El código trata de leer un TAG NFC y en caso de fallar muestra un mensaje en pantalla que indica que no hay una carta la cual leer.

Una vez terminado el código para el estado 3, se deberá probar qué sucede cuando se intenta leer un TAG NFC de distinto número de caracteres al tag de los dispositivos de Spectro.

Debe probarse además qué sucede cuando habiendo leído un TAG NFC se trata de leer otro TAG de otro dispositivo y verificar que el mismo se actualice de forma de no interpretar erróneamente que la nueva lectura fue equivalente a la anterior.

Banco de Prueba	Herramienta en modo "Lectura NFC" Entorno (radio 1 metro) de la herramienta libre de tags NFC
Precondiciones	Display indicando que no hay lectura NFC. TEST-FUN-NFC
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acerca un tag NFC de Spectro.</li> <li>2. Aguardar lectura correcta.</li> <li>3. Acercar un tag NFC de valor conocido (patrón), distinto al de Spectro, y validar su lectura.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	La herramienta muestra el tag patrón correcto, sin confundir con lectura previa.
Postcondiciones	
Comentarios	

Banco de Prueba	Herramienta en modo "Lectura NFC" Entorno (radio 1 metro) de la herramienta libre de tags NFC
Precondiciones	Display indicando que no hay lectura NFC TEST-FUN-NFC
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acerca un tag NFC de Spectro.</li> <li>2. Aguardar lectura correcta y retirar el tag de Spectro.</li> <li>3. Esperar 1 minuto.</li> </ol>
Criterio de Aceptación	Se considera que la prueba fue exitosa si luego del minuto de haber obtenido la lectura del tag NFC. Se muestra que no hay un tag NFC presente.
Postcondiciones	
Comentarios	

## 7. Construcción del prototipo y diseño final

### 7.1 Descripción de los módulos

Para la construcción del prototipo se aprovecharán las ventajas que otorga la plataforma de desarrollo Arduino Mega, por lo que el prototipo consiste en la interconexión de los distintos módulos comerciales.

La ventaja principal de esta elección radica en la posibilidad de explorar diferentes alternativas, reducir el tiempo de desarrollo del prototipo y minimizar la posibilidad de error producto de un error de diseño. Ello facilitará la validación de los algoritmos y distintos módulos utilizados en el proyecto.

El prototipo consta principalmente de los siguientes módulos: Arduino Mega, Módulo NFC, Módulo nRF, Display, Cargador TP4056, Conversor DC-DC 5v, teclado matricial y batería.

En línea con la filosofía de validar la elección de módulos y circuitos integrados, y su funcionamiento en conjunto, se optó por separar el módulo de carga de batería del shield (dada la inexperiencia en el uso de éste tipo de circuitos). De aquí que se utiliza tanto el Cargador TP4056 como el Conversor DC-DC como módulos separados.

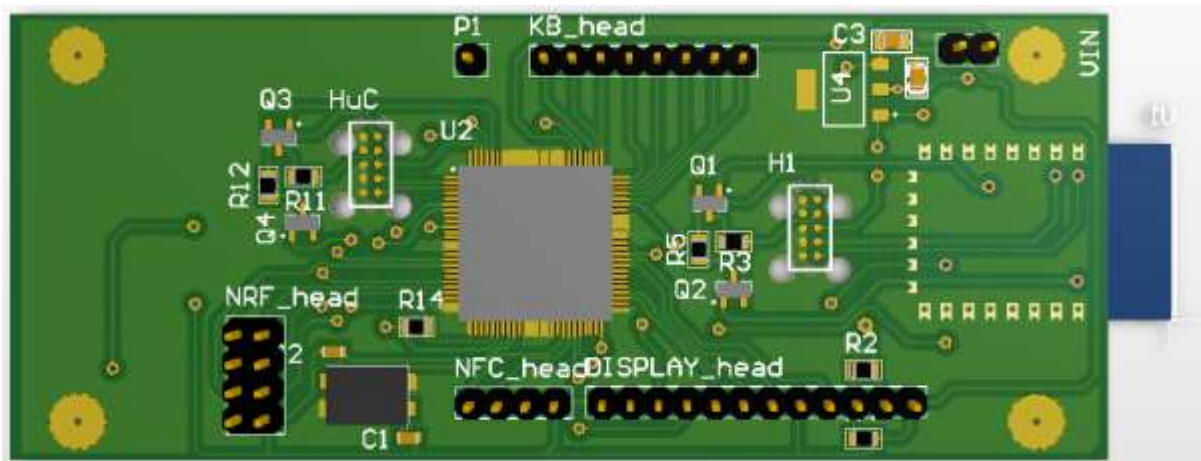
No se ha agregado el módulo BMD-200 ya que no forma parte de las funcionalidades del prototipo; lo mismo sucede con el ESP12E. No obstante, se presenta al final del capítulo el diseño final que incluye ambos módulos y un microcontrolador independiente reemplazando al Arduino Mega.

## 7.2 Diseño final

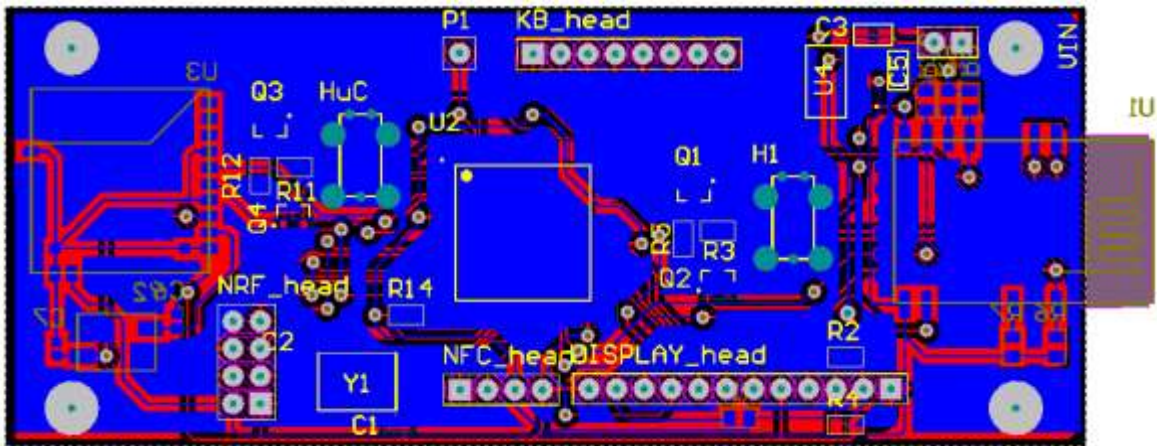
Se presenta a continuación el diseño final a entregar a la empresa. Entre sus diferencias con el prototipo, se pueden enumerar:

- Completa integración en PCB
- Microcontrolador propio, ahorrando en tamaño, complejidad y precio al deshacerse del Arduino Mega.
- Incorporación de módulos ESP-12E y BMD-200

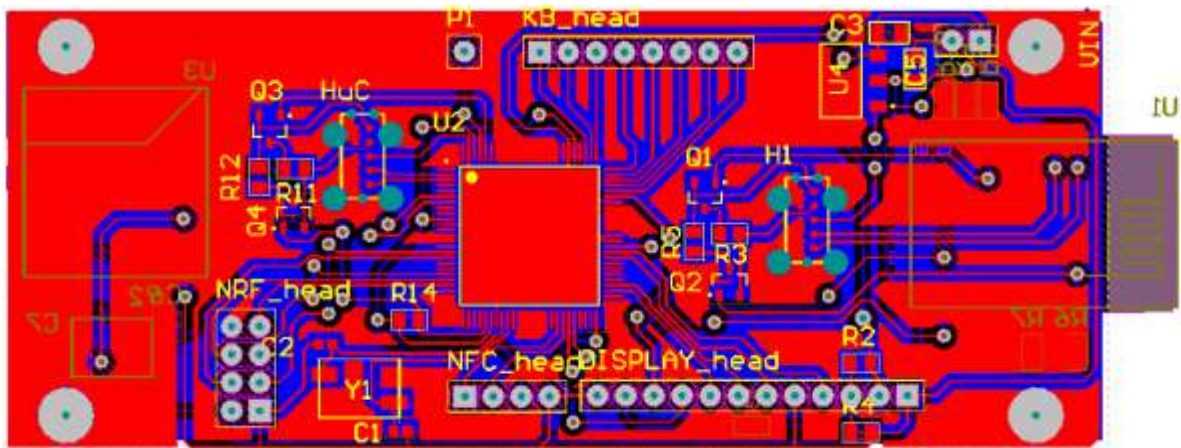
Por la naturaleza del proyecto, y la escala de producción que podría alcanzar, no se justifica el costo de investigación e implementación de los módulos NFC, NRF24L01+ o TP4056. Se deja la opción de utilizar alimentación "Battery Pack" en caso de que el cliente desee hacerlo; es por ello que tampoco se implementa el conversor DC-DC.



PCB final - Board Planning Mode

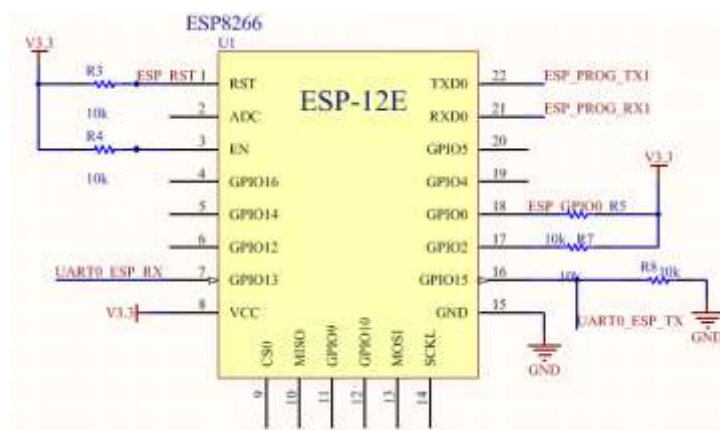


PCB final - Bottom Layer



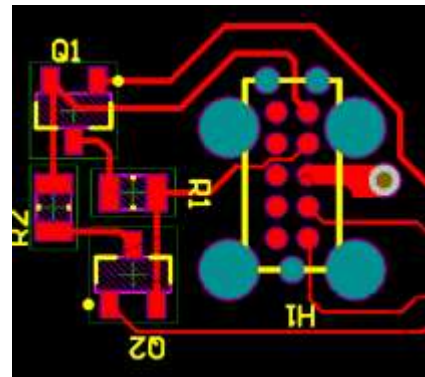
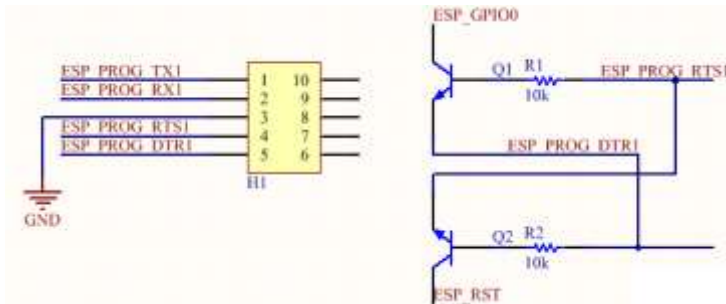
PCB Final - Top Layer

### 7.2.1 Módulo ESP



El módulo ESP 12-E amerita una mención particular, ya que es el corazón de medición de los equipos de Spectro, y porque consta de un método de programación independiente.

Puede ser programado a través del microcontrolador al que se comunica; no obstante se optó por la programación independiente del módulo. Esto simplifica la lógica en el software del microcontrolador utilizado.



Se ha agregado un circuito de Reset y Boot, necesario para la correcta programación y operación del módulo.

### 7.3 Bill of Materials

Nombre de la Parte	Precio <sup>8</sup> (USD)
ATmega2560	12.93
NRF-24L01	7.04
PN532	12.05
4x4 Matrix Membrane Keypad	6.5
Display 1602 HD44780U (LCD-II) HITACHI	9.65
Batería LI-ION Vapex 3.7v 1.25mAh	15
TP4056 + DW01-P	1.65 - 2.85 <sup>9</sup>
PCH8301C DC-DC 5V StepUp Booster CE8301	4.05
BLE BMD-200	13.15
ESP-12E (con IC ESP8266)	6.95

Los precios que figuran en la tabla son para el caso de comprar un solo elemento, y por lo tanto se esperaría, muy superiores al precio real si deben fabricarse varias herramientas. En caso de duda (más de un producto similar) se colocó en la tabla el mayor valor encontrado para asegurarse el peor caso.

<sup>8</sup> El precio se obtuvo de la página digikey.com y datan del día del 27/07/2018.

<sup>9</sup> Como Digikey no poseía este elemento se comparó con otros vendedores como Addicar o AliExpress y se colocó el peor caso (mayor precio). Existen dos precios ya que hay dos versiones de esa placa en el mercado.



En el cálculo no se tuvieron en cuenta componentes como resistencias y capacitores. Sin embargo se espera que su valor no haga diferencia. Incluso por los redondeos generosos en los precios de la tabla se espera que aún sin tener en cuenta las resistencias y capacitores, el valor real esté muy por debajo al valor obtenido.

Sumando los valores provistos en la tabla se llegó a un valor inferior a U\$D 90 lo cual cumple con la especificación IMP-COS-01.

### 7.3.1 Rangos de temperatura según hojas de datos

Si bien se diseñaron pruebas para la especificación ESP-AMB-02 y ESP-AMB-05, se tuvo en cuenta las hojas de datos de los fabricantes de los módulos para tener una estimación sobre la aceptación de dichas pruebas. A continuación se muestran los rangos de temperatura a los cuales trabajan los módulos.

- ATmega 2560: -55 a 125°C en uso y -60°C a 150°C con el mismo sin energizar.
- BLE BMD 2000: Indica un peor caso de -25 a 70°C.
- ESP-12E: -40 a 125 °C
- NRF 24101: -40 a 85 °C en uso y -40 a 125°C con el mismo sin energizar.
- PN532\_ -30 a 85°C-
- Display: -30 a 75°C en uso y -55 a 125°C sin energizar.
- TP4056: -40 a 85°C
- CE8301: -40 a 85 en uso y -40 a 125°C sin energizar.

Observando dichos resultados se obtiene que el caso más restrictivo lo fija el módulo BLE BMD 2000 con un rango de -25 a 70°C. Lo cual supera las especificaciones previstas. Si bien la carcasa podría elevar la temperatura ambiente cabría esperar que la herramienta cumpla con las especificaciones previstas.

## 8. Validación del prototipo

### 8.1. Matriz de Trazabilidad

Las siguientes tablas muestran el resultado de las pruebas de validación así como la verificación de las especificaciones cubiertas por documentación u otros medios. En dicha tabla figuran entonces todos los requerimientos y se puede afirmar entonces que el prototipo cumple con todos los requisitos.

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-ID Debe ser capaz de reconocer el identificador único de los dispositivos de Spectro.	ESP-FUN-NFC Leer tags NFC de Spectro.	Ver criterio aceptación TEST-FUN-NFC	TEST-FUN-NFC Dispositivo de Spectro con tag NFC conocido y que pueda leer el TAG correctamente	OK	Lee identificadores únicos de los dispositivos de Spectro,
	ESP-UI-02 Mostrar los 16 caracteres NFC	Ver criterio aceptación TEST-UI-02	TEST-UI-02 Verificar que se escribe lo mismo que se leyó	OK	
	ESP-PER-NFC Error menor a 3%	2.5%	ESP-PER-NFC	No se detectaron errores (0%)	
	ESP-ID-DIST Debe poder realizar la medición a una distancia de hasta 1 cm en base a dispositivo que entrega Spectro	1.5cm (el datasheet del modulo NFC dice 5cm)	TEST-ID-DIST 2 cm	4 cm	
REQ-COS-01 Debe ser capaz de establecer un enlace de comunicación inalámbrico con el mismo protocolo que utilizan los dispositivos de Spectro para comunicarse, tanto en su modo Master como Slave.	ESP-FUN-WIFI Entre 2.4 GHz y 2.4835 GHz.	Que la herramienta sea capaz de establecer una comunicación entre la banda mencionada.	Documentación NRF-24101 Datasheet [9]	Observando datasheet de NRF 24101, la banda de operación es: 2.4-2.4835 GHz	El dispositivo se comunica en la banda WiFi entre 2.4 y 2.4835 GHz.

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-COMS-02 Debe ser capaz de verificar la calidad del enlace de comunicación inalámbrico punto a punto al conectarse con una herramienta del mismo tipo.	ESP-FUN-PROT  Protocolo "Enhanced Shockburst" TM - Nordic Semiconductor	Que la herramienta use el protocolo mencionado	Documentación  NRF-24L01 Datasheet [9]	Observando la Datasheet de NRF 24L01, el protocolo de comunicación utilizado por el mismo es: "Enhanced ShockBurst"	El dispositivo utiliza para comunicarse entre sí, el protocolo "Enhanced Shockburst".
	ESP-FUN-PAQ El dispositivo debe verificar la calidad de la señal enviando/recibiendo 32 paquetes de longitud máxima en el protocolo utilizado.	El dispositivo envía y recibe 32 paquetes en la máxima longitud del protocolo	TEST-FUN-PAQ	Cada uno de los 32 paquetes enviados es de tamaño fijo y máximo de protocolo.	El dispositivo calcula la calidad del enlace mediante el envío de 32 paquetes de longitud máxima para el protocolo que utiliza. Teniendo en cuenta el estado de recepción del paquete en el otro dispositivo (en especial el ratio paquetes recibidos/paquetes enviados, que resulta siempre ser X/32) se calcula la calidad de señal en el enlace.
	ESP-FUN-RAT  El ratio de paquetes recibidos / enviados determinará la calidad del enlace.	Debe realizar el cálculo correctamente	SIM-FUN-RAT  Simula valores recibidos por teclado. Verifica que los valores de ratio que muestre sean correctos.	OK.	

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-COMS-02 Debe ser capaz de verificar la calidad del enlace de comunicación inalámbrico punto a punto al conectarse con una herramienta del mismo tipo.	ESP-UI-01  El resultado de la evaluación de calidad de señal debe poder verse en ambos dispositivos.	Cumplir ESP-UI-01.	Inspección Visual	Cada dispositivo tiene un modo TX y un modo RX. Al estar en TX cada uno de ellos podrá exhibir la calidad de señal.	El dispositivo muestra la calidad de señal de enlace.
	ESP-PER-EN  La medición de calidad del enlace debe tener un error menor o igual al 7.5%.	Error del 6%	TEST-PER-EN	De 282 mediciones (cada 3.2 segundos), 251 fueron de 100% y 31 fueron de 96.875%. Ninguno de los valores fue fuera del error de 5% (95% de calidad de enlace), por ende el resultado es correcto.	La medición de calidad de enlace posee un error menor o igual al 7.5% del valor real de la calidad del enlace.

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-BAT-01  La autonomía del dispositivo debe ser de al menos una hora.	ESP-BAT-01  Duración de 1 hora en modo de consumo máximo constante	1 hora y media a max consumo	TEST-BAT-01	En modo máximo consumo, el test arrancó 13:20 (carga 100%) y finalizó a las 17:00 (carga 60%). Superando ampliamente el requerimiento impuesto.	La autonomía de la batería es de 1 hora y media.
REQ-BAT-02  Debe poder alimentarse de forma externa	ESP-BAT-02 El dispositivo deberá poseer una entrada de alimentación que permita alimentar a la batería de forma externa. Cargando la batería y usándola al mismo tiempo.	Debe poder cargarse la batería aún si la misma está siendo usada.	TEST-BAT-02	Asegura que la alimentación pueda cargar la batería mientras la herramienta está en operación	El dispositivo puede alimentar la batería de forma externa. En la sección 6.1.2.6 se realiza un análisis de la corriente necesaria de la herramienta.
REQ-BAT-03  Debe poder mostrar el estado actual de carga de la batería.	ESP-PER-BAT El error de la medición de la batería debe ser menor al 20% del valor de carga real		TEST-PER-BAT 18%	Se realizó un programa específico que automatizó la medición necesaria. Error máximo observado fue inferior al 8%.	
REQ-BAT-04  El dispositivo debe poder apagarse y prenderse mediante una interfaz manual	ESP-BAT-IM	N/A	Visual	Se observa el switch manual con el cual se apaga y prende el dispositivo.	Para prender o apagar la herramienta, el dispositivo posee una interfaz manual.



Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-ON-OFF  El dispositivo debe indicar si el mismo se encuentra encendido.	ESP-UI-ONOFF	N/A	Visual  Display encendido y Led en caso de falla de display.	Se observan tanto un led de encendido como el display encendido al estar la herramienta prendida.	Para conocer el estado de prendido o apagado de la herramienta, la misma posee tanto un display que muestra dicho estado y un LED de manera de poseer dos formas de observar el estado de la herramienta.
REQ-RES-DLY Debe poder mostrar el resultado de la medición (en cualquiera de sus funcionalidades) en no más de 5 segundos	ESP-FUN-TIME  4,5 segundo	4 segundos	TEST-FUN-TIME  3,5 segundos	3,2 segundos es lo que tarda.	El dispositivo puede mostrar el resultado de la medición 4,5 segundos.
REQ-FUN-VIS  Debe poder visualizar el modo de uso en todo momento.	ESP-UI-03  El dispositivo debe informar en todo momento si está en el modo de lectura de tag NFC o en modo de testeo del enlace.	Cumplir TEST-UI-03	TEST-UI-03	OK	Además de poder navegar entre las funcionalidades, el dispositivo menciona en qué funcionalidad está en todo momento.
Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
	RAM-MAN-01  Si el equipo no puede establecer una comunicación con ningún otro dispositivo, debe indicarlo	Cumplir TEST-MAN-01	TEST-MAN-01  Porcentaje 0%	OK	En caso de no encontrar otra herramienta para medir la calidad de enlace, el dispositivo lo mencionará.
	RAM-MAN-02  Si el equipo no logra leer un tag NFC, debe indicarlo.	Cumplir TEST-MAN-02	TEST-MAN-02  Mensaje "No hay tag para leer"	OK	En caso de no lograr medir ningún tag NFC, el dispositivo lo informará.
REQ-FUN-SEL-01 Se debe poder seleccionar el modo de uso.	ESP-UI-04 Debe poder visualizarse cuando la luz ambiente sea mayor a 500 lux	600 lux.	TEST-UI-04 Luz del día 5000 lux [10]	Correcta visualización.	
	ESP-FUN-SEL  Se debe poder pasar de cualquier funcionalidad a cualquier otra funcionalidad	Cumplir TEST-FUN-SEL	TEST-FUN-SEL Hacer todos los pases posibles entre modos siguiendo el método especificado en dicho test.	OK	Desde cualquier funcionalidad puede pasarse a cualquier otra funcionalidad.
REQ-FUN-SEL-02  Debe tener un teclado para navegación e ingreso de datos.	ESP-UI-IN  Teclado matricial de 4x4	N/A	Inspección Visual	OK	El dispositivo cuenta con un teclado matricial para la navegación e ingreso de datos.
Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-LIFE-TIME  El tiempo a la falla debe ser mayor a TBD años.	RAM-CON-01  MTBF igual al MTTF		Documentación	Se cumple al no utilizar reparación en los productos por lo cual MTBF = MTTF	
REQ-REPAIR El tiempo medio a la falla deber ser mayor a la vida útil estimada	RAM-CON-02  MTTF 5*10^6 horas		Calculo analítico  4 [26]	Resultado dio 1 falla cada 2 años y 9 meses Sección 8.1.	
REQ-OPS-01 Debe funcionar en el entorno normal de operación de los dispositivos de Spectra	ESP-GAB-ORI  Debe poder operar sin importar su orientación en el espacio	Cumplir TEST-GAB-ORI	TEST-GAB-ORI  Pasos de a 10°	OK	El dispositivo opera indistintamente de su orientación en el espacio.
	ESP-GAB-IP  El dispositivo debe cumplir con un grado de protección IP30.	Deberá cumplir con la norma IEC 60529 IP rating (protección contra ingreso).	Documentación  [18]	La prueba se realizará en el dispositivo final. No fue testeado en el prototipo	IP30
	ESP-AMB-01 100 kPa < Presión atm < 104 kPa	100 kPa < Presión atm < 105 kPa	Documentación		

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-OPS-01 Debe funcionar en el entorno normal de operación de los dispositivos de Spectro	ESP-AMB-02		TEST-AMB-02	El test se realizará únicamente en la herramienta final y no en el prototipo. Sin embargo, por documentación se analizó que la herramienta debería poder cumplir con dicho requerimiento (Sección 7.4.1)	En términos del uso de la herramienta, las temperaturas mínimas y máximas son de 2 grados y 38 grados centígrados respectivamente
	2 °C < T ambiente < 38 °C	0 °C < T ambiente < 40 °C			
	ESP-AMB-03		TEST-AMB-03	El test se realizará únicamente en la herramienta final y no en el prototipo.	
	10 % < RH < 90%	0% < RH < 95%			
ESP-AMB-04		TEST-AMB-04	El test se realizará únicamente en la herramienta final y no en el prototipo.		
99 kPa < Presión atm < 105 kPa	99 kPa < Presión atm < 105 kPa				
Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-OPS-01 Debe funcionar en el entorno normal de operación de los dispositivos de Spectro	ESP-AMB-05		TEST-AMB-05	El test se realizará únicamente en la herramienta final y no en el prototipo. Sin embargo, por documentación se analizó que la herramienta debería poder cumplir con dicho requerimiento (Sección 7.4.1)	
	1 °C < T ambiente < 38 °C	-1 °C < T ambiente < 40 °C			
	ESP-AMB-06		TEST-AMB-06		
0 % < RH < 98%	0 % < RH < 98%				
ESP-AMB-VIB		TEST-AMB-VIB	También puede referirse a otros tests estándar para vibraciones como los citados en los comentarios del TEST-AMB-VIB.	La prueba de vibraciones será probada únicamente en el dispositivo final y no será probada en el prototipo.	
Vibraciones no mayores a 2 Hz.	Vibraciones no mayores a 2Hz.				
Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-OPS-01 Debe funcionar en el entorno normal de operación de los dispositivos de Spectro	ESP-ALI		Documentación	Rango de funcionamiento normal entre -40 y 85, aunque los valores restrictivos demuestran que no hay una variación importante en la capacidad de la batería, lo cual no afecta la duración de la misma.	El dispositivo como un todo funciona en el entorno normal de operación de los dispositivos de Spectro.
	Batería entre 0 °C < T ambiente < 38 °C	Batería entre 0°C < T ambiente < 40 °C	[11]		

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-OPS-01 Debe funcionar en el entorno normal de operación de los dispositivos de Spectro	RAM-SEG-01  Carcasa máx 45°C o 10 más de temperatura ambiente.	más de 7,5°C	TEST-SEG-01  Más de 5°C	La prueba de vibraciones será probada únicamente en el dispositivo final y no será probada en el prototipo.	
REQ-FALL Debe poder resistir al menos una caída desde un metro de altura a un piso liso de cerámica	ESP-GAB-FALL  1,2 metros de altura.	1,25 metros de altura.	TEST-GAB-FALL  1,3 metros de altura	El test en cuestión se realizará en el producto final y no en el prototipo de la herramienta.	
REQ-EMI Los niveles de potencia de emisión en la banda de ISM utilizada deben adecuarse a la norma Argentina	ESP-AMB-EMI  ENACOM 202/95	Cumplir con ENACOM 202/95	Documentación  [12] [13] [9] [7]	Se testeará en cámara anecoica siguiendo la norma ENACOM 202/95	
Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-INTERFERENCE-01 No debe interferir con la comunicación de otros dispositivos de Spectro, ni alterar el normal funcionamiento de otros dispositivos que funcionen en el mismo entorno	ESP-ENL-01  Debe poder ignorar paquetes que no hayan sido enviados hacia el dispositivo pero aún así recibidos por la antena.	Cumplir criterio de aprobación TEST-ENL-01	TEST-ENL-01  Prueba modo Slave	Por el diseño del paquete y el protocolo utilizado, no existen problemas de interferencia para el mismo, resultado: OK.	El dispositivo medirá la calidad del enlace sin interferir ni ser interferido por dispositivos propios de la empresa. Puede utilizarse tanto en un ambiente sin dispositivos de Spectro como con dispositivos de Spectro funcionando.
REQ-INTERFERENCE-02 No debe ser interferida por otros dispositivos de Spectro.	ESP-ENL-02 La composición de los paquetes enlados debe ser tal que los dispositivos de Spectro ignoren dicho paquete.	Cumplir criterio de aprobación TEST-ENL-02	TEST-ENL-02  Prueba modo Master		
REQ-PRICE El precio de venta de la herramienta debe ser menor a USD \$200,00	IMP-COS-01  USD 100	USD 95	Documentación USD 90. Observar sección 7 (Bill Of Materials)	Inferior a 90 USD	
	IMP-COS-02  USD 150	N/A. No será vendido por herramienta.			
REQ-PORT-01 El producto deberá ser portátil, en tamaño y peso.	ESP-GAB-PESO El peso total del dispositivo debe ser menor a 2kg.	Peso debe ser menor a 1.8 kg.	TEST-GAB-PESO Pesado de la herramienta.	223 gramos.	

Requerimiento	Especificación Diseño	Objetivo	Test ID	Resultado	Especificación Producto
REQ-BLE El hardware debe ser tal que permita implementar a futuro una funcionalidad de emisión de paquetes bluetooth en modo broadcast	IMP-BLE	Cumplir con la especificación IMP-BLE.	Documentación	Poseerá el producto Final un módulo BLE-BMD 200	
REQ-PROG-01 Debe poseer el hardware necesario para permitir una interfaz de programación.	REQ-MAN-03 Técnicos calificados realizar actualizaciones del mismo.		Documentación (Referirse a Anexo E) Manual de mantenimiento y servicio Sección A) Programación		
	RAM-MAN-04 En caso de utilizar SW o FW, no deberá ser posible para el usuario acceder al mismo.		Documentación (Referirse a Anexo E) Manual de mantenimiento y servicio Sección A) Programación		
REQ-ESP El hardware debe ser tal que permita implementar a futuro una funcionalidad de emisión de paquetes en toda la banda WiFi 2.4GHz	IMP-ESP Se deberá adicionar un módulo de hardware que permita emitir paquetes en toda la banda WiFi de 2.4GHz.	Cumplir con la especificación IMP-ESP.	Documentación	Poseerá el producto final un módulo ESP 8266, que implementa lo pedido.	
RAM-SEG-02 Luego de desenergizado, el equipo no deberá tener tensiones peligrosas por más de 20ms.			Documentación [6] y [5]	Nunca hay tensiones mayores a 6 V en la herramienta. No habrá nunca tensiones peligrosas en la misma.	La herramienta no posee tensiones peligrosas en ningún momento
RAM-SEG-03 Si en algún lugar (accesible o no) hay tensiones peligrosas, deberá haber un cartel que lo advierta.	N/A		Documentación N/A	Dicha especificación no aplica porque en ningún momento se presentan tensiones peligrosas (RAM-SEG-02)	
RAM-SEG-04 No deberá ser posible para una persona realizarse ningún tipo de corte por contacto con el equipo.	N/A		Inspección Visual	La herramienta con su carcasa no posee cantos vivos.	

## 8.2 Estudio de confiabilidad de Hardware y Software

Teniendo en cuenta la definición de confiabilidad como “la característica de un elemento, expresada por la probabilidad de que el elemento realizará su función requerida bajo determinadas condiciones para un intervalo de tiempo dado”, mediante el análisis de la matriz de trazabilidad se puede comprobar que el prototipo cumple con todas las las funciones que se verificaron, y quedaría sólo verificar el intervalo de tiempo entre fallas lo cual se realiza en la siguiente sección:

### 8.2.1 Cálculo del MTBF

Para la batería se logró obtener por hoja de datos un MTBF de 30.000 horas. Para los demás elementos hubo que hacer el cálculo. En el mismo no se consideró el módulo de emisión Bluetooth ni el módulo ESP-12F ya que no forman parte de ninguna funcionalidad de la herramienta en ésta versión.

Se calculó el MTTF utilizando como referencia el military handbook [26] para diseño electrónico. El mismo por ser un manual de referencia militar presenta cotas muy superiores a otras referencias obteniéndose un mayor grado de seguridad de que se cumplirá las especificaciones si los calculos así lo indican.

La estrategia se basó en calcular la tasa de falla base de cada elemento según el manual mencionado [26]. Las ecuaciones para los módulos se corresponden con:

$$\lambda_{01} = (\lambda_1 \lambda_0 + \lambda_2 \lambda_0) \lambda_0 \lambda_0 [10^6 / 10^6] (\text{sección 5.1 caso 4})$$

Para C1 se utilizó según el módulo:

- ATmega2560: C1 = 0.56 (caso microprocesador)
- PN532 y NRF: C1 = 0.14

C2 por su lado se toma 0.14 para el ATmega2560 y 0.021 para el PN532 y NRF (sección 5.9, se calcula según la cantidad de pines utilizados).

Se espera que la herramienta funcione a temperatura ambiente por lo cual el factor  $\pi_{\varnothing}$  será igual a 1.

De la siguiente tabla se eligió  $\pi_{\varnothing} = 2.5$  tomando un rango de humedad de 5 a 100 % por especificación ESP-AMB-01.

**Table 2.3** Indicative figures for environmental conditions and for the corresponding environmental factor ( $\pi_E$ ) according to MIL-HDBK-217 F and CNET RDF 93

Environment	Vibrations	Stress (indicative values)				$\pi_E$ factor				
		Fog	Dust	RH (%)	Mech. shocks	ICs	DS	R	C	
$G_B$ (Ground benign)	2-200 Hz $\leq 0.1 g_n$	1	1	40 -70	$\leq 5 g_n / 22$ ms	1*	1	1	1	
$G_F$ (Ground fixed)	2-200 Hz $1 g_n$	m	m	5 -100	$\leq 20 g_n / 6$ ms	2.5	2.5**	2.5 -3	2.5 -3	
$G_M$ (Ground mobile)	2-500 Hz $3 g_n$	m	m	5 -100	$30 g_n / 11$ ms to $100 g_n / 6$ ms	5	5**	5.5 -9	5.5 -9	
$N_S$ (Nav. sheltered)	2-200 Hz $2 g_n$	l	l	5 -100	$10 g_n / 11$ ms to $30 g_n / 6$ ms	4	4**	4 -7	4 -7	
$N_U$ (Nav. unsheltered)	2-200 Hz $5 g_n$	h	m	10 -100	$10 g_n / 11$ ms to $50 g_n / 2.3$ ms	6	6**	7 -12	7 -12	

C = capacitors, DS = discrete semiconductor, RH = relative humidity, R = resistors, h = high, m = medium, l = low,  $g_n = 10 \text{ m/s}^2$ , \* 0.5 in MIL-HDBK-217 F

Se toma un  $\pi_{\varnothing} = 4$  según la tabla siguiente:

	Qualification ( $\pi_{Q1}$ )			Evaluation ( $\pi_{Q2}$ )	
	Reinforced	CECC*	no special	with	without
Monolithic ICs	0.7	1.0	1.3	1.0	1.3
Hybrid ICs	0.2	1.0	1.5	1.0	1.5
Discrete Semiconductors	0.2	1.0	2.0	1.0	2.0
Resistors	0.1	1.0	2.0	1.0	2.0
Capacitors	0.1	1.0	2.0	1.0	2.0

\* correspond approximately to MIL-HDBK-217 F classes B-1, JANTX, M

Finalmente se toma  $\pi_{\varnothing} = 1.5$  por ser una aplicación lineal.

Para concluir se obtienen los siguientes valores:

Módulo	$\lambda$	MTBF
ATmega	5,46	0,18
NFC y NRF	1,155	0,87
Batería	33,33	0,03

También es necesario obtener el valor para el conector de la fuente que carga que batería. Para dicho cálculo se empleó la sección 15 del mismo manual [26] la cual responde a la siguiente ecuación:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_K$$

Para dicho cálculo se tomó un  $\lambda_b = 0.04$  por tratarse de una placa PCB. Los valores de  $\pi_E$ ,  $\pi_T$  y  $\pi_Q$  se mantuvieron constantes e iguales a los utilizados para el cálculo de los lambdas anteriores. Por último, se obtuvo  $\pi_K$  de la siguiente tabla suponiendo que el conector se conecta una vez cada dos días laborales:



Mating/Unmating Cycles* (per 1000 hours)	$\pi_K$
0 to .05	1.0
> .05 to .5	1.5
> .5 to 5	2.0
> 5 to 50	3.0
> 50	4.0

\*One cycle includes both connect and disconnect.

Si bien el NFC no precisa del módulo NRF para funcionar y viceversa, se considerará la herramienta como un sistema en serie como se muestra en la imagen siguiente ya que en cuanto a la herramienta le falle cualquiera de las dos funcionalidades se considerará que la misma falló.



Por dicho motivo la tasa de fallas total será dado por la suma de todos sus componentes dando total=47,1 [fallas/106 horas] y un MTBF por lo tanto de 0,021.

Dichos valores equivalen a un total 1 falla cada 2 años y 9 meses.

## Confiabilidad de Software

Luego de correr el código para verificar el ingreso de datos en la herramienta como se detalló en la sección 6.2.3 en "Ingreso de Datos" se obtuvo un archivo log de una gran longitud. Se realizó un pequeño script de python para verificar de forma automática que el resultado sea el esperado. Mediante el mismo se comprobó satisfactoriamente que el código verifica correctamente las especificaciones.

Todas las pruebas correspondientes al software, TEST-FUN-SEL (en donde el archivo generado fue equivalente al especificado), TEST-UI-03, TEST-FUN-PAQ como así también los tests de lectura de NFC fueron verificados correctamente.

Teniendo en cuenta la definición de confiabilidad como "la probabilidad de que el software no causará ninguna falla en el sistema para cierto tiempo de uso".

Para testear la fiabilidad de software no se pudo usar un modelo de distribución exponencial (por ejemplo el modelo de Shooman) en el prototipo ya que dicho método requiere que se halle operativo el software haciendo que no sea posible usarlo para una aproximación inicial al caso.

Se prosiguió a calcular dicho valor mediante un método denominado ROME el cual se detalla a continuación la cual permite dar una idea estadística de la cantidad de fallas que presenta el código.

### Modelo de Predicción de laboratorio ROME

Este método de ROMA [29] permite calcular la cantidad de fallas según la cantidad de líneas de código (LOC) del programa. Para hacer eso primero debe multiplicarse por un factor según el lenguaje de programación utilizado, en nuestro caso C. Dicho factor es 2.5 y al multiplicarlo por la cantidad de líneas de código (LOC) nos da un valor denominado KSLOC. Normalmente el método requiere el cálculo de un factor FD el cual no se podrá utilizar ya que requiere tener información histórica y estadística de código anteriores e información de la empresa.

Se utiliza entonces un solo factor de D el cual involucra solamente la complejidad del algoritmo entre un valor de 2 a 14 donde 14 es el mayor valor de complejidad. Se espera tener un valor inferior a 5 ya que se cumple con algunos requisitos impuestos por *Jesús Plaza Rubio, Pablo Fernandez Blanco, Pilar Grande González. "Modelos de Fiabilidad del Software"* [30] como ser la separación en módulos de sus funcionalidades con un handler que mantenga la sincronización y control de cada fase por lo cual se eligió el 4 (tener en cuenta que las unidades de 'D' son  $[10^{-2}$  fallas / KSLOC].

Por dicho valor el resultado final fue dado por:

$$D * KSLOC = 4 * 2,5 * 1500 = 15 [fallas]$$

Dicho resultado indica que estadísticamente según las características del código se espera que el mismo tenga aproximadamente 15 bugs.

### Modelo de Predicción de laboratorio MUSA

Similar al modelo de ROME, existe el modelo de MUSA. El mismo se basa en calcular el valor de  $\lambda$  tal como se hizo para el MTBF en la subsección anterior pero con un modelo aplicable al software.

El modelo define  $\lambda$  según la ecuación:  $\lambda = k * p * w_0$  donde k es una constante cuantizada para la estructura dinámica del programa y de las máquinas.  $4.2E-7$  suele ser el valor adoptado cuando se desconoce el mismo expresamente. Por su parte, p se lo estima como el número de ejecuciones por unidad de tiempo respondiendo a la ecuación  $p = \frac{ER}{SLOC}$  donde SLOC = 1500 y ER = 2.5 tal como se usó para el modelo de ROME.  $w_0$  es la estimación del número inicial de fallas en el programa. Por default suele asumirse 6 fallas/1000 SLOC y será lo que se usará en éste caso. El cálculo queda entonces definido como:

$$\lambda = k * p * w_0 = 4.2 * 10^{-7} * \frac{6}{1000} * 150/1500/2.5 = 10^{-9} [fallas/año]$$

Dicho resultado significa que se espera una falla cada 30 años.

Dicho número tiene un valor mucho mayor al esperado. El valor puede atribuirse a que la longitud del software es muy pequeña en comparación a programas estándar de C y por lo tanto resulta en un número muy grande.

## 8.2.2 Confiabilidad total del producto

Debido a las características del proyecto y los valores obtenidos en los cálculos de MTBF se concluye que la confiabilidad del sistema se encuentra condicionada por el hardware adoptando los valores encontrados para el mismo como los finales del producto.

Dichos valores entonces corresponden a un  $\lambda$  de  $47.1 [1/año]$ .

Calculando entonces el estimador de fiabilidad como:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Se puede calcular el tiempo para el cual la mitad de los dispositivos se encuentren andando igualando R a 0,5 y el mismo es de aproximadamente dos años.

El valor obtenido puede parecer un número muy bajo. Sin embargo, el mismo se encuentra muy influenciado por la vida útil de la batería para la cual se supuso un uso continuo e ininterrumpido por todos esos años.

En caso de desear aumentar la vida útil del producto, o al menos que el mismo siga funcionando con autonomía como pide el requerimiento REQ-BAT-01<sup>10</sup>, se podría implementar que la misma sea removible y entonces permitir un cambio de la misma ante la falla o implementar un servicio de verificación y cambio cada cierto intervalo de tiempo. En dicho caso, la vida útil del producto aumentaría de 2 años a 8 años.

<sup>10</sup> Se condera que al no cumplir el requerimiento la herramienta ya no cumple y por lo tanto queda inutilizada. Sin embargo se podría seguir usando con una batería externa como un powerbank.

Por lo tanto, eliminando la batería de la ecuación, el  $\lambda$  obtenido es de 13.77 con el cual se obtiene una fiabilidad para los dos años del 78%. Lo mismo indica que casi con un 80% de probabilidades, el dispositivo seguirá andando luego de dos años.

Al análisis debe considerarse el hecho de que los valores de  $\lambda$  fueron calculados usando un manual militar [26] el cual tiene una rigurosidad mayor que otros estándares por lo que puede esperarse un valor mucho mayor en la práctica.

Realizando el mismo análisis para 1 año como fue indicado por requerimiento de vida útil, se obtiene un valor superior al 88% sin considerar la batería y del 76% teniendo en cuenta la batería.

A modo de resumen sobre el análisis de confiabilidad se realizó la siguiente tabla:

	Vida útil esperada	Probabilidad que el dispositivo siga funcionando en el período de tiempo requerido
Con batería fija	2 años y 5 meses	76%
Con batería removible	8 años y 3 meses	88%

## 9. Conclusiones

### 9.1 Cumplimientos de Objetivos

En la sección 8 se verificó efectivamente que el prototipo cumple con todas las especificaciones establecidas en la sección 3. En muchos casos verificados siguiendo los pasos de validación propuestos en la sección 4. Se concluye entonces que el producto cumple con todos los requerimientos y por lo tanto se obtuvo un resultado satisfactorio.

El cálculo del MTBF permite aproximar la duración del producto hasta la falla en un período mayor a dos años lo cual alcanza el tiempo mínimo deseado.

Si bien el tiempo de duración de cada tarea como así el tiempo total del proyecto fue mayor al tiempo especificado en la sección de factibilidad temporal, se siguió la estructura y orden de las tareas propuestas en dicha sección y se mantuvo aproximadamente el tiempo relativo de las tareas.

### 9.2 Lecciones Aprendidas

En el proyecto aprendimos sobre todo el trabajo que acompaña el desarrollo de un producto más allá del producto en sí. Las planificaciones para saber que el proyecto es factible. La correcta definición del producto mediante los requerimientos y especificaciones así como los tests necesarios para verificar dichos requerimientos.

La experiencia nos enseñó (desde la carencia) acerca de la importancia de trabajar en conjunto con el cliente en desarrollos específicos como este, donde la cooperación, el compartir conocimiento y validar resultados es vital para garantizar un producto de calidad. A medida que se avanzó en el desarrollo, notamos falta de requerimientos o incorrecta especificación; al no contar con una comunicación fluida con el cliente, es imposible plantear mejores requerimientos o recomendar distintos enfoques.

La falta de dedicación exclusiva al desarrollo del proyecto incide directamente en la capacidad de validar con precisión si el planteamiento temporal fue correcto; no obstante, al ponderar los factores de retraso, el resultado es altamente satisfactorio.

En resumen, el trabajo llevó adjunto una gran cantidad de horas invertidas en la correcta planificación y documentación el proyecto en sí que hasta superaron las horas invertidas en el desarrollo de la herramienta en sí (electrónica y software).



### 9.3 Recomendaciones para futuros diseños

La herramienta no permite guardar información de mediciones, por lo que la capacidad de desarrollar inteligencia sobre el trabajo de campo se ve limitada. La adición de un sistema de “log” de uso de la herramienta podría ser fundamental para documentar las mediciones y analizar la información posteriormente. Si bien esta falencia puede suplirse con adecuados procesos de documentación, entendemos que el entorno de uso de la herramienta no es amigable para ello.

Si el cliente desea escalar su servicio (y por lo tanto aumentar la cantidad de dispositivos en campo), necesitará mayor cantidad de ejemplares de la herramienta aquí desarrollada. Entonces deben considerarse los costos de producción, y aquí planteamos ciertos interrogantes: ¿vale la pena la adición del módulo BMD-200 y el ESP-12F? Siendo que son módulos que la empresa contratante manifiesta explícitamente estar evaluando su continuidad en los sensores, y que el requerimiento inicial solicita su incorporación pero no su puesta en uso.

El display de navegación cumple perfectamente los requerimientos, pero limita la capacidad de expandir los usos de la empresa. En un desarrollo en que se planteó la necesidad de funcionalidad escalable, el display utilizado podría ser un problema en futuros usos de la misma herramienta.

Por último, la posibilidad de remover la batería será fundamental para aumentar la confiabilidad del equipo. Esta recomendación es aplicable a la implementación final del producto a través de un correcto diseño de gabinete.

## Anexo A) Documento constitutivo sociedad de hecho

### CONTRATO DE SOCIEDAD DE HECHO

Entre el Sr. Augusto Viotti Bozzini, con Documento 38789791, de estado civil soltero, de nacionalidad argentina de profesión estudiante, con domicilio en Av. Santa Fe 1979 14 A, el Sr. José Agustín Barrachina, con Documento 36132467, de estado civil soltero, de nacionalidad argentina, de profesión estudiante, con domicilio en Juana Azurduy 1570, y el Sr. Federico Thomas Schober, con Documento 35273242, de estado civil soltero, de nacionalidad Argentino, de profesión estudiante, con domicilio en Hualfin 1168 1, convienen en celebrar una Sociedad de Hecho, que se regirá conforme al presente Contrato, cuyas cláusulas y condiciones son las siguientes:

**Artículo 1º.** Se denominará la Sociedad "Electrodesarrollos", con domicilio legal en Av. Eduardo Madero 399, pudiendo establecer sucursales o agencias en todo el territorio de la República.

**Artículo 2º.** Se constituye la Sociedad por 99 años, contados a partir de la fecha del presente Instrumento, venciendo el día 25/06/2107

**Artículo 3º.** El capital social se fija en la suma de \$ 3,00 (Son Pesos Tres con 00/100 centavos), integrado conforme con el siguiente detalle: 1,00\$ por cada integrante, 33% de participación de cada uno de los representantes constituyentes-.

**Artículo 4º.** El objeto de la Sociedad será la explotación de desarrollo de productos de hardware y software a clientes que lo necesiten.

**Artículo 5º.** Bajo pena de indemnización por los daños o perjuicios que su inconducta ocasione, está prohibido a los socios utilizar la firma social en asunto extraños a la Sociedad o para garantizar obligaciones de terceros o de beneficio personal.

**Artículo 6º.** La administración de la Sociedad y el uso de la firma social está a cargo indistintamente de todos los socios; debiendo el socio que realice alguna operación en nombre de la Sociedad rendir cuentas de su gestión a los demás socios.

**Artículo 7º.** Anualmente se confeccionará el Balance General, estableciéndose como fecha de cierre del ejercicio el 31/12 de cada año. Aprobado el Balance se procederá dentro del término de 30 días a distribuir las utilidades conforme a los porcentuales de los capitales integrados por cada socio; previa deducción del 50 % de las mismas en concepto de reserva para posibles futuros quebrantos. En igual proporción serán soportadas las pérdidas.

**Artículo 8º.** Salvo autorización por escrito de la totalidad de los socios, los socios no podrán realizar operaciones en competencia con la sociedad, ni contratar con ésta en forma personal o por terceras personas.

**Artículo 9º.** Mensualmente los socios podrán realizar retiros de las utilidades líquidas y realizadas en la proporción del 50 % de las mismas.

**Artículo 10º.** En caso de fallecimiento de alguno de los socios, los herederos, previa unificación de la personería, continuarán en la Sociedad con los mismos derechos y obligaciones del fallecido; y en caso de que los herederos no aceptasen continuar en la Sociedad, los demás socios procederán a preparar el balance y la rendición de cuentas a la fecha del fallecimiento

**Artículo 11º.** En el caso de que uno de los socios solicitare su retiro de la Sociedad, se realizará un Balance General, previa finalización de las operaciones pendientes, que deberá ser firmado por todos los socios en la reunión de los mismos previa aprobación, dejándose constancia de ello en el Libro de Actas.

**Artículo 12º.** Para toda notificación o intimación judicial o extrajudicial los socios constituyen domicilio especial en sus respectivos domicilios reales denunciados en el acápite, donde serán válidas todas las que allí se hagan.

**Artículo 13º.** La Sociedad entrará en liquidación si así lo solicitan más de la mitad de sus socios o sí en un ejercicio financiera se produjera una pérdidas igual o mayor al 99 % (Noventa y Nueve por ciento) del capital social. Para ello se nombrará un liquidador, que procederá a realizar el activo, a abonar las deudas contraídas y a concluir las operaciones pendientes; procediéndose posteriormente a confeccionar el Balance General, y a distribuirse el remanente conforme a los porcentuales del capital aportado.

**Artículo 14º.** Dado en 25/06/2018, a los veinticinco días del mes de Junio de 2018.

## Anexo B) Manual de Usuario.

Este documento tiene como objetivo presentar las funcionalidades de la herramienta multifuncional de Spectro. Se utiliza el idioma inglés por práctica común de la empresa.

### 1. Información General

El propósito de la herramienta es:

- a) La identificación de los dispositivos propios de la compañía mediante la lectura de su ID único.
- b) La validación in-situ de la comunicación entre dos dispositivos de Spectro.

Cómo logra la herramienta cada uno de estos propósitos serán explicados en secciones futuras. Cada una de las funcionalidades serán descritas en este manual. No necesita realizar ninguna instalación de ningún driver o cualquier tipo de software para que la herramienta se encuentre funcional.

### 2. Ámbito de uso de la herramienta y contingencias

Para asegurar el correcto funcionamiento de la herramienta, se la diseñó para operar correctamente en ámbitos normales de uso de la herramienta. Los ámbitos de uso son centros comerciales y tiendas de los clientes de la compañía. Por esta información, las restricciones de uso y los ratings máximos que aseguran el correcto comportamiento de la herramienta son los siguientes:

Especificación	Rangos máximos de uso
Temperatura ambiente de uso	Temperatura ambiente mínima: 2°C Temperatura ambiente máxima: 38°C
Presión ambiente de uso y de almacenamiento	Presión ambiente mínima: 100 kPa Presión ambiente máxima: 104 kPa
Humedad ambiente de uso y de almacenamiento	Humedad ambiente mínima: 0% Humedad ambiente máxima: 98%
Temperaturas ambiente de almacenamiento	Temperatura ambiente mínima: 1°C Temperatura ambiente máxima: 42°C

Tabla 1: Valores máximos.

Es importante también poseer especial cuidado con el manejo de la misma. La herramienta no está pensada para ser reparada. Evitar elementos punzantes, metálicos cerca del dispositivo, así como también no permitir caídas de más de un metro. En caso de cualquier problema con respecto al funcionamiento de la herramienta, referirse a su proveedor de esta herramienta.

El uso de la herramienta no está restringido a ningún usuario. Cualquier persona la cual Spectro disponga, podrá utilizar todas las funcionalidades de la misma.

### 3. Menú

Al prender la herramienta, la misma informará que se encuentra en el estado denominado "IDLE" o esperando. El dispositivo al estar en este modo simplemente aguarda las instrucciones del usuario para navegar entre las distintas funcionalidades. El display de la herramienta al inicializarla exhibe los siguientes datos:



Ilustración 1: Modo IDLE

La herramienta posee un teclado alfanumérico, el mismo es el siguiente:



Ilustración 2: Teclado.

Para navegar entre las funcionalidades se utilizarán los botones A, B y C. Cada una de estas implementa una funcionalidad necesaria para cumplir con lo explicado en secciones anteriores:

- La letra A: Es usada para inicializar la funcionalidad de lectura de ID único de Spectro.
- Las letras B y C: Son utilizadas para medir la calidad del enlace que existe entre dos puntos del espacio, mediante la utilización de dos herramientas del mismo estilo.

### 3.1 Funcionalidad “Lector ID Único”

Al presionar la tecla A se ingresa al modo “Lector ID Único”. El display de la herramienta mostrará el siguiente mensaje:



Ilustración 3: Modo Lectura NFC Tag.

La tecnología utilizada para la lectura del ID único de Spectro es NFC o *Near Field Capture*. Por esta razón el dispositivo menciona que leerá un NFC Tag. Para realizar la lectura, acercar la parte inferior izquierda de la herramienta al centro del dispositivo Spectro. En caso de que la lectura es exitosa la herramienta exhibirá el resultado de la medición durante 4 segundos, de la siguiente manera:



Ilustración 4: Lectura exitosa tag NFC.

Sin embargo, el dispositivo no logra leer ningún valor también lo exhibirá. Lo hará de la siguiente manera:



Ilustración 5: No se ha podido realizar una lectura de NFC.

### 3.2 Funcionalidad “Verificación calidad de Enlace”

El dispositivo cuenta con dos modos de operación complementarios para la verificación de la calidad del enlace. Como los dispositivos de Spectro funcionan tanto como Master y como Slave se implementaron ambas funcionalidades.

#### 3.2.1 Tecla B, Modo Master:

Como modo Master, el dispositivo intentará comunicarse con otro dispositivo del mismo tipo que opere de modo Slave. Tardará 4 segundos en exhibir una medición de la calidad de enlace. Se exhibe un ejemplo a continuación:



Ilustración 6: Medición calidad de enlace en modo Master.

En "Q ratio" o calidad de enlace, se exhibe en porcentaje la calidad del mismo.

### 3.2.2 Tecla C, Modo Slave:

Para que se mida correctamente la calidad del enlace, necesariamente una de las herramientas debe estar en modo transmisor y la otra en modo Slave. Al estar en este modo, el display exhibe la siguiente pantalla:



Ilustración 7: Medición calidad de enlace en modo Slave.

## 3.3 Batería

Como se observa en todas las fotos exhibidas en las subsecciones anteriores, los valores actuales de carga de la batería se exhiben en la esquina superior derecha del display.

## Anexo C) Manual de Mantenimiento y Servicio

El objetivo de este manual es cuáles son los errores que tiene la herramienta para realizar un mantenimiento simple de la misma. La herramienta no fue diseñada para ser reparada, por lo que este manual se enfoca en arreglar problemas de software como de malas conexiones de hardware. Se listan los posibles errores, sus códigos de error y de qué manera se soluciona el problema.

### A) Programación

Para programar el dispositivo habrá que primero instalar el software correspondiente. El Software de Arduino (IDE) permite programar la placa en caso de ser necesario. Para instalar correctamente el producto se debe recurrir a la página oficial del software que se encuentra en [21]. También se recomienda referirse a [20] para mayor información.

Tras instalar el software se instalarán los drivers automáticamente. Deberá conectarse la herramienta mediante un cable USB a algún puerto de la computadora. Se podrá programar el procesador ATmega a través de la IDE descargada seleccionado correctamente el puerto y el microprocesador en la barra de herramientas (tools si se instaló el programa en inglés). Para documentación más específica sobre cómo programar el microprocesador ATmega se recomienda referirse a [22].

Se recomienda no modificar el código oficial de la herramienta y en caso de ser necesario (por ejemplo actualizaciones) subir el código inalterado. Sin embargo, la modificación del mismo es posible y se puede hacer respetando las instrucciones dadas en [19].

### B) Errores de inicialización del dispositivo:

Código de error en display	Causa del error	Cómo solucionarlo
No enciende la pantalla ni el Led	Alimentación	Verificar con un tester las siguientes tensiones sobre el display: 0 en VSS, 5V en VDD. En caso de que esto no se cumpla, la batería no posee carga. Poner el dispositivo a cargar.
Led titilante // Serial error: ERROR DISPLAY.	No se pudo inicializar el display.	Librería de display desactualizada, actualización de firmware de herramienta, contactar fabricante.
ERR-NRF-COMM	Fallo en la inicialización de NRF.	Chequear con tester correcta alimentación (3.3V) de módulo NRF24L01 entre pines 1 y 2. En caso de no haberla, chequear y arreglar estado de las pistas. En caso de tener alimentación correcta, es porque se necesita actualización de librerías SPI.h, contactar fabricante para actualizarlas.
ERR-NFC	El dispositivo no puede leer el	Esto es un error común, el cual

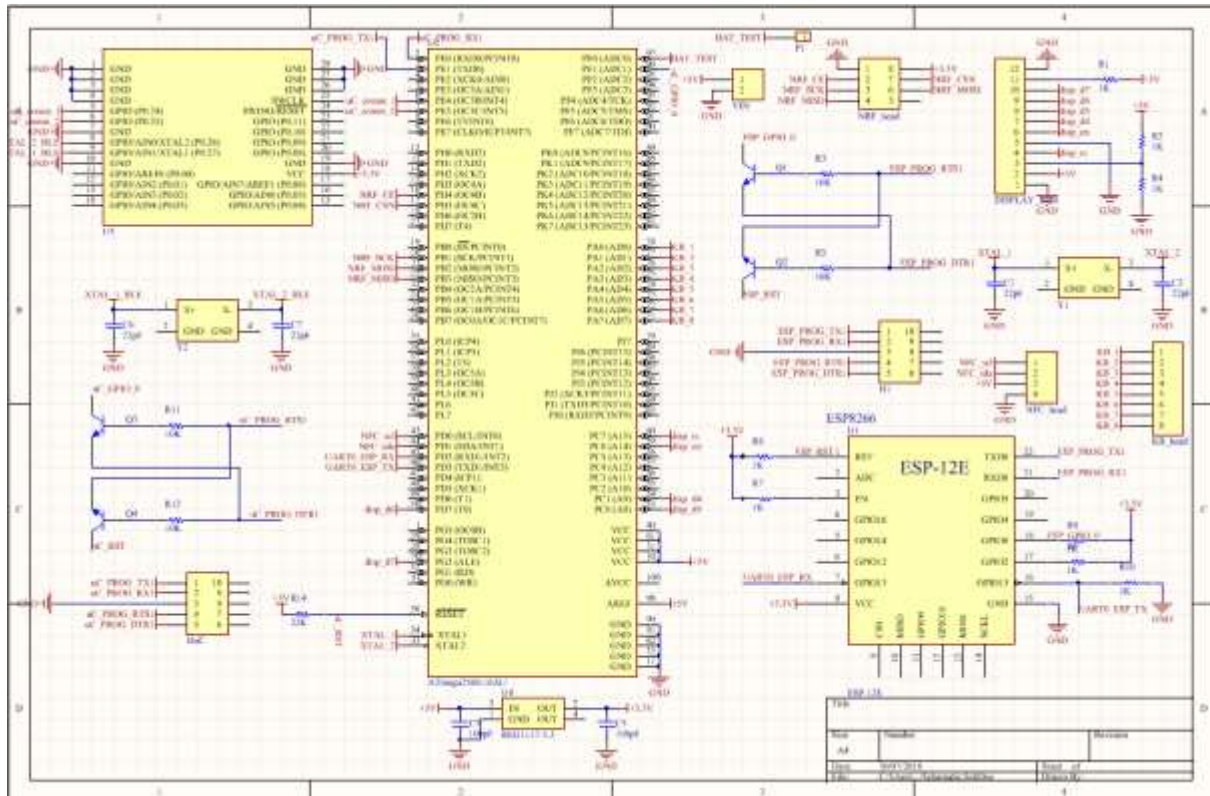


	firmware de la herramienta NFC. Esto es debido a un error en la transmisión I2C.	ocurre por un fallo en la conexión I2C. Verificar que el módulo, las patas "SDA" del sistema NFC tengan continuidad con las "SDA" del microcontrolador. Realizar lo mismo con "SCL" y arreglar el error. En caso de no arreglarse, contactar fabricante quien le proveerá un programa específico para solucionar dicho problema.
--	--	--

### Errores comunes

Código de error en Display	Causa del error	Cómo solucionarlo
NRF_TX menciona que la calidad del enlace es siempre 0%	Mal uso de la herramienta / dispositivo par no se encuentra en el modo NRF_RX	Verificar que no sólo está prendida la herramienta principal sino también el dispositivo par, en el modo NRF_RX, energizado de manera correcta.
Display ON, LED OFF	Led quemado	Reemplazar el Led por uno análogo.

# Anexo D) Esquemático diseño final



## Anexo E) Código desarrollado para la herramienta

```
#include <Keypad.h>
#include <Wire.h>
#include <PN532_I2C.h>
#include <PN532.h>
#include <NfcAdapter.h>
#include <LiquidCrystal.h> // includes the LiquidCrystal Library
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"
/***** Defines *****/
// NRF
#define CE_PIN 7
#define CSN_PIN 8
#define ITERACIONES_CALIDAD 320
// Display
#define RS_PIN 30
#define EN_PIN 31
#define D7_PIN 36
#define D6_PIN 37
#define D5_PIN 38
#define D4_PIN 39
// KEYPAD
#define R0_PIN 22
#define R1_PIN 23
#define R2_PIN 24
#define R3_PIN 25
#define C0_PIN 26
#define C1_PIN 28
#define C2_PIN 27
#define C3_PIN 29
// Battery
#define ANALOG_PIN A0

/*****State Machine *****/
typedef enum {
    IDLE_STATE,
    NFC_READ,
    NRF_TX,
    NRF_RX,
    BATTERY_SETUP
} Status;
Status state_machine = IDLE_STATE;

/***** NRF *****/
RF24 myRadio(CE_PIN, CSN_PIN); //Se crea con los pines
                                // de SPI y los de control

int counter = 0;
int arreglo[ITERACIONES_CALIDAD];
byte addresses[5] = {'t','e','s','i','s'}; /*Estructura de los datos*/
struct package{
    int cnt;
};
typedef struct package Package;
Package data;
int result;
float numberToDisplay;
```

```

/*****Battery *****/
int battPin = ANALOG_PIN;
// analogReference(): Usarlo para elegir bien la referencia a usar en
caso de problemas.

/*****Display *****/
LiquidCrystal lcd(RS_PIN, EN_PIN, D4_PIN, D5_PIN, D6_PIN, D7_PIN); //
Parameters: (rs, enable, d4, d5, d6, d7)

/*****PN532 *****/
PN532_I2C pn532i2c(Wire);
PN532 nfc(pn532i2c);

/*****KeyPad *****/
const byte numRows= 4; //number of rows on the keypad
const byte numCols= 4; //number of columns on the keypad
char keymap[numRows][numCols]=
{
{'1', '2', '3', 'A'},
{'4', '5', '6', 'B'},
{'7', '8', '9', 'C'},
{'*', '0', '#', 'D'}
};
byte rowPins[numRows] = {R0_PIN,R1_PIN,R2_PIN,R3_PIN}; //Rows 0 to 3
byte colPins[numCols]= {C0_PIN,C1_PIN,C2_PIN,C3_PIN}; //Columns 0 to 3
//initializes an instance of the Keypad class
Keypad myKeypad= Keypad(makeKeymap(keymap), rowPins, colPins, numRows,
numCols);

void setup()
{
/* Serial Init */
Serial.begin(9600);
while(!Serial); // Esto hace que no arranque el programa hasta que no
abro el serial.
Serial.println("Serial Initialized");
/* Display Init */
display_Init();
/* NRF Init */
Serial.println("Initializing NRF");
NRF_Init();
/* Battery */
pinMode(battPin, INPUT);
/* NFC Init */
Serial.println("Initializing NFC");
NFC_Init();
/* State Machine */
Serial.println("IDLE STATE");
Serial.println("\tSelect mode");
/* Print on the display */
write_first_row("IDLE");
write_second_row("Select Mode");
}

//If key is pressed, this key is stored in 'keypressed' variable
//If key is not equal to 'NO_KEY', then this key is printed out
//if count=17, then count is reset back to 0 (this means no key is
pressed during the whole keypad scan process

void loop()

```

```

{
char keypressed = myKeypad.getKey();
if (keypressed != NO_KEY) {
//Serial.println(keypressed);
switch(keypressed) {
case 'A':
state_machine = NFC_READ;
Serial.println("NFC Mode");
lcd.clear();
lcd.print("NFC READ");
write_second_row("Reading NFC TAG ");
break;
case 'B':
myRadio.stopListening();
state_machine = NRF_TX;
Serial.println("NRF Trasmit Mode");
lcd.clear();
lcd.print("NRF TX");
break;
case 'C':
myRadio.startListening();
state_machine = NRF_RX;
Serial.println("NRF Receive Mode");
lcd.clear();
lcd.print("NRF RX");
write_second_row("Receiving...");
break;
case 'D':
state_machine = IDLE_STATE;
break;
}
}
switch(state_machine) {
case IDLE_STATE:
// Do nothing
break;
case NFC_READ:
NFC_Mode();
break;
case NRF_TX:
NRF_TX_Mode();
break;
case NRF_RX:
NRF_RX_Mode();
break;
}
// TODO: not necesarry to print it so often

disp_battery();
}

/***** Init Functions *****/

void NRF_Init(void) {
myRadio.begin(); // Inicialización del objeto
verdaderamente
myRadio.setChannel(115); // Frecuencia de transmisión es
(2400 + canal)MHz

```

```

    myRadio.setPALevel(RF24_PA_MIN);           // Nivel de potencia
    myRadio.setDataRate( RF24_250KBPS );      // Tasa de transmisión de datos
    myRadio.openWritingPipe(addresses);       // Abre un canal de
comunicación de escritura
    myRadio.openReadingPipe(1, addresses);
    myRadio.setRetries(4, 2);
}

void NFC_Init(void) {
    nfc.begin();

    uint32_t versiondata = nfc.getFirmwareVersion();
    if (!versiondata) {
        Serial.print("\tDidn't find PN53x board");
        while(1); // halt
    }

    // Got ok data, print it out!
    Serial.print("\tFound chip PN5"); Serial.println((versiondata>>24) &
0xFF, HEX);
    Serial.print("\tFirmware ver. "); Serial.print((versiondata>>16) &
0xFF, DEC);
    Serial.print('.'); Serial.println((versiondata>>8) & 0xFF, DEC);
    Serial.print("\t");Serial.println(versiondata, HEX);

    // Set the max number of retry attempts to read from a card
    // This prevents us from waiting forever for a card, which is
    // the default behaviour of the PN532.
    nfc.setPassiveActivationRetries(0xFF);

    // configure board to read RFID tags
    nfc.SAMConfig();
}

void display_Init(void) {
    lcd.begin(16,2);

    lcd.clear();
    lcd.noBlink();
    lcd.noCursor();
}

/*****NFC Functions *****/
void NFC_Mode(void) {
    boolean success;
    uint8_t uid[] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 }; // Buffer to store the
returned UID
    uint8_t uidLength; // Length of the UID (4 or 7
bytes depending on ISO14443A card type)

    // Wait for an ISO14443A type cards (Mifare, etc.). When one is found
    // 'uid' will be populated with the UID, and uidLength will indicate
    // if the uid is 4 bytes (Mifare Classic) or 7 bytes (Mifare
Ultralight)
    success = nfc.readPassiveTargetID(PN532_MIFARE_ISO14443A, &uid[0],
&uidLength);

    if (success) {
        Serial.println("\tFound a card!");
        Serial.print("\tUID Length: ");Serial.print(uidLength,

```

```

DEC);Serial.println(" bytes");
Serial.print("\tUID Value: ");
lcd.setCursor(0, 1);
for (uint8_t i=0; i < uidLength; i++) {
    Serial.print(" 0x");Serial.print(uid[i], HEX);
    lcd.print(String(uid[i], HEX)); // Don't use write second row here
}
Serial.println("");
// Wait 1 second before continuing
delay(50);
}
else
{
    // PN532 probably timed out waiting for a card
    Serial.println("\tTimed out waiting for a card");
    write_second_row("No Card          ");
}
}

/*****Display Functions *****/

void write_first_row(String s) {
    lcd.home();
    lcd.print(s);
}

void write_second_row(String s) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(s);
}

/***** Battery Functions *****/
static uint8_t overflow_counter = 0;
static int sum;
static int charge;
void disp_battery() {
    int sensorValue = analogRead(battPin);
    float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0); // acá me tira la tensión
total
    sum += ((voltage-2.4)/(4.2-2.4))*100;
    overflow_counter++;
    if(overflow_counter == 0) {
        charge = sum/256;
        sum = 0;
        if(charge > 100) { charge = 100; }
        if(charge < 0) { charge = 0; }
    }
    int offset = number_of_digits(charge);
    int j;
    lcd.setCursor(15-3,0);
    for(j = offset; j < 3; j++) {
        lcd.print(" ");
    }
    lcd.print(charge);
    lcd.print("%");
}

int number_of_digits(int n) {
    int count = 0;

```

```

while(n != 0){
    n /= 10; // n = n/10
    ++count;
}
return count;
}

int char2int(int a) {
    int ia = a - '0';
    return ia;
}

/***** NRF Functions *****/
void NRF_RX_Mode(void) {
    if (myRadio.available()){
        char text[32] = {0};
        myRadio.read(&text, sizeof(text));
        //Serial.println(text);

    }
}

void NRF_TX_Mode(void) {
    const char text[] = "1234567890123456789012345678901";
    arreglo[counter]=myRadio.write(&text, sizeof(text));
    counter++;
    numberToDisplay=checkTransQuality();
    if(counter>ITERACIONES_CALIDAD){
        counter=0;
        Serial.print("\tLa calidad del enlace es de: ");
        Serial.print(numberToDisplay*100);
        Serial.print("%\n");
    }
    write_second_row("Q ratio: ");
    lcd.print(numberToDisplay*100);
    lcd.print("% ");
    delay(100);
}

float checkTransQuality () {
    float result=0;
    int i=0;

    for(i=0;i<ITERACIONES_CALIDAD; i++){
        result=result + arreglo[i];
    }
    return result/((float)ITERACIONES_CALIDAD);
}

```



## Referencias

- [1] Battery University™ (2017, 11-15). *BU-706: Summary of Do's and Don'ts*. Available: [http://batteryuniversity.com/learn/article/do\\_and\\_dont\\_battery\\_table](http://batteryuniversity.com/learn/article/do_and_dont_battery_table)
- [2] Turbo Future (2017, marzo). *NiMH vs Li-ion: A Battery Comparison*. Available: <https://turbofuture.com/misc/Which-is-better-Nickel-Metal-Hydride-NiMH-or-Lithium-Ion-Li-ion-batteries>
- [3] Mercado Libre. Available: <https://www.mercadolibre.com.ar/>
- [4] DigiKey. Available: <https://www.digikey.com>
- [5] CE8301 Datasheet <https://www.mpja.com/download/ce830.pdf>
- [6] TP4056 Datasheet  
<https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>
- [7] PN532/C1 Datasheet. 31 march 2011. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/pn532ds.pdf>
- [8] Wire Library: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>
- [9] NRF-24L01 Datasheet.  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus Preliminary Product Specification v1.0.pdf>
- [10] Niveles de iluminación recomendados:  
[https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety\\_Activity\\_Poster/LightLevels\\_outdoor+indoor\\_es.pdf](https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf)
- [11] Li-ION battery datasheet.
- [12] Datasheet módulo BLE - BMD 200: <https://datasheet.octopart.com/BMD-200-B-R-Rigado-datasheet-81842860.pdf>
- [13] Datasheet Módulo ESP 12-E  
<https://www.kloppenborg.net/images/blog/esp8266/esp8266-esp12e-specs.pdf> , que contiene módulo ESP 8266: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf) que posee un micro:  
[https://ip.cadence.com/uploads/white\\_papers/Diamond\\_Tensilica.pdf](https://ip.cadence.com/uploads/white_papers/Diamond_Tensilica.pdf)
- [14] Datasheet Microprocesador ATMEGA 2560  
[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf)
- [15] Datasheet Teclado Matricial:  
<https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/27899-4x4-Matrix-Membrane-Keypad-v1.2.pdf>
- [16] Datasheet Display: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>
- [17] Libro: Nociones de Derecho - Para estudiantes de otras carreras universitarias. 2da Edición. Autor: Pablo Alejandro Pérego.
- [18] IEC 60529 IP Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code).
- [19] Arduino Programming Notebook.
- [20] Getting started with Arduino <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>
- [21] Arduino Software Page <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

- [22] Getting Started with Arduino and Genuino MEGA2560  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560>
- [23] ASTM D3580 - 95 Standard Test Methods for Vibration (Vertical Linear Motion) Test of Products.
- [24] ASTM D4728 - 17 Standard Test Method for Random Vibration Testing of Shipping Containers
- [25] AD-A284 433 Test Operations Procedure Vibration Testing
- [26] Military Handbook Electronic Reliability Design Handbook Bellcore TR-332, CNET RDF 93, IEC 61709, MIL-HDBK-217F
- [27] nRF240x Shockburst technology, Nordic.  
[https://www.semiconductorstore.com/pdf/NewSite/nordic/WP\\_nRF240x\\_ShockBurst.pdf](https://www.semiconductorstore.com/pdf/NewSite/nordic/WP_nRF240x_ShockBurst.pdf)
- [28] RealTerm: Serial Monitor <https://realterm.sourceforge.io/>
- [29] Mc Call, J. A., W. Randell and J. Dunham, "Software Reliability. Measurement and Testing." Rome Laboratory, RL-TR-92-52.
- [30] Jesús Plaza Rubio, Pablo Fernandez Blanco, Pilar Grande González. "Modelos de Fiabilidad del Software". E. U. de Informática (Segovia). Universidad de Valladolid.