

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**SMART PILLS**

**PULSERA ELECTRÓNICA DE ASISTENCIA PARA ADULTOS MAYORES**

**AUTORES:** Lago, Valentina (Leg. Nº 57249)  
Müller, Malena (Leg. Nº 57057)  
Castrogiovanni, Luciano (Leg. Nº 55362)  
Nowik, Ariel (Leg. Nº 58309)

**DOCENTES TITULARES O TUTORES:** Pingitore, Ricardo Alejandro  
Orchessi, Walter Hugo  
Ugarte, Alejandro Rubén  
Gasparini, Ignacio  
Nemirovsky, Nicolás

**TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**BUENOS AIRES**  
**SEGUNDO CUATRIMESTRE 2021**

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a nuestras familias, principalmente a nuestros padres y abuelos, quienes nos apoyaron y nos acompañaron a lo largo del proceso. Agradecemos a nuestros profesores, quienes nos guiaron para encaminar un lindo proyecto. Le agradecemos a Jorge Caseres por soldarnos los componentes de la placa en el menor tiempo posible, sabiendo que estábamos apurados y por conseguirnos componentes que necesitamos. Le agradecemos por su disponibilidad para ayudarnos en cualquier horario. Queremos agradecer también a Daniel Jacoby y a Pedro Dans por aconsejarnos sobre caminos a tomar en los diseños de esquemáticos. Agradecemos al equipo de Novo Space por la ayuda a agilizar partes del proceso, principalmente a Federico Armesto por prestarnos componentes para el armado de un primer prototipo, por guiarnos con el diseño del PCB y por respondernos dudas que surgieron en el camino. Agradecemos también a Martín Nani, quien diseñó la carcasa de la pulsera, incluso con iteraciones; agradecemos a Andrés Demski por aconsejarnos durante el proceso de debug de la placa, a Sergio Sirota por respondernos dudas sobre el circuito de alimentación de batería y apoyarnos en lo que necesitamos y a Federico Bua por prestarnos componentes para una primera etapa de prototipo. Agradecemos a Lucas Kammann por prestarnos una placa con FTDI para cargar programas al ESP 32 un sábado 1:00AM, cuando creímos que la habíamos quemado y no nos sobraba tiempo para esperar al día siguiente. Agradecemos también a Sofía Grimblat por diseñar el logo y ayudarnos a elegir el nombre de Smart Pills, a Marcelo Gaio por diseñar e imprimirnos los stickers que empleamos en el prototipo y parte del pastillero. Agradecemos a Juan Rossi por imprimirnos en 3D el pastillero con los colores que le pedimos. Agradecemos también a Martín Hughes por acercarnos componentes que necesitábamos para el armado del prototipo. Agradecemos a Tobías Lifschitz y a Maria Luz Stewart Harris por visitarnos y acompañarnos mientras hacíamos pruebas de funcionamiento del prototipo. Agradecemos a nuestros amigos, por apoyarnos en momentos en los que sentíamos que llevar a cabo el proyecto era complicado. En fin, son muchas las personas a las que les agradecemos todo lo que hicieron por nosotros a lo largo del proyecto.

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>15</b>
<b>1.1. Antecedentes</b>	<b>15</b>
1.1.1. Productos Similares ya Existentes	15
<b>1.2. Contexto del Proyecto</b>	<b>17</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Finalidad del Proyecto</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Planeamiento del Problema a Resolver</b>	<b>19</b>
<b>2.3. Alcance</b>	<b>19</b>
<b>3. Definición del Producto</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Requerimientos del Cliente</b>	<b>21</b>
3.1.1. Relevamiento de Datos	21
3.1.2. Casa de Calidad	24
3.1.3. Requerimientos Finales para Trazabilidad	27
<b>3.2. Diagrama Funcional de Interfaces</b>	<b>27</b>
<b>3.3. Especificaciones de Diseño</b>	<b>28</b>
3.3.1. Especificaciones Funcionales	28
3.3.2. Especificaciones de Interfaz	29
3.3.3. Especificaciones de Performance	32
3.3.4. Especificaciones de Implementación	32
3.3.5. Especificaciones de Servicio (RAMS)	34
<b>4. Plan de Validación</b>	<b>36</b>
<b>4.1. Diseño de Bancos de Pruebas</b>	<b>36</b>
4.1.1. Banco de Pruebas N°1: Tensión de Batería	36
4.1.2. Banco de Pruebas N°2: Consumo de Corriente	36
4.1.3. Banco de Pruebas N°3: Interfaz de la Pulsera	36
4.1.4. Banco de Pruebas N°4: Funcionamiento Normal de la Pulsera	37
<b>4.2. Especificaciones de Tests</b>	<b>37</b>
<b>5. Análisis de Factibilidad</b>	<b>43</b>
<b>5.1. Factibilidad tecnológica</b>	<b>43</b>
5.1.1. Esquema Modular	43
5.1.2. Implementación del módulo "Iluminación"	43
5.1.2.1. Alternativas de diseño	43
5.1.2.2. Elección de una solución	45
5.1.3. Implementación del módulo "Botones"	45
5.1.3.1. Alternativas de diseño	45
5.1.3.2. Elección de una solución	47
5.1.4. Implementación del módulo "Vibración"	47
5.1.4.1. Alternativas de diseño	47
5.1.4.2. Elección de una solución	48
5.1.5. Implementación del módulo "Sonido"	48
5.1.5.1. Alternativas de diseño	49
5.1.5.2. Elección de una solución	49
5.1.6. Implementación del módulo "Comunicación"	50
5.1.6.1. Alternativas de diseño	50
5.1.6.2. Elección de una solución	51

5.1.7.	Implementación del módulo “Alimentación Interna” .....	51
5.1.7.1.	Alternativas de diseño .....	51
5.1.7.2.	Elección de una solución .....	52
5.1.8.	Implementación del módulo “Base de Datos” .....	52
5.1.8.1.	Alternativas de diseño .....	52
5.1.8.2.	Elección de una solución .....	53
5.1.9.	Implementación del módulo “App” .....	53
5.1.9.1.	Alternativas de diseño .....	53
5.1.9.2.	Elección de una solución .....	53
5.1.10.	DFMEA .....	53
<b>5.2.</b>	<b>Factibilidad de Tiempos .....</b>	<b>56</b>
5.2.1.	Planificación (PERT) .....	56
5.2.2.	Programación (GANTT) .....	58
<b>5.3.</b>	<b>Factibilidad Económica .....</b>	<b>60</b>
5.3.1.	Mercado .....	60
5.3.2.	Modelo de Negocios .....	62
5.3.2.1.	Estrategia de Crecimiento .....	62
5.3.3.	Costos .....	62
5.3.3.1.	Costos de Inversión .....	63
5.3.3.2.	Costos Fijos .....	64
5.3.3.3.	Costos Variables .....	64
5.3.4.	Flujo de Fondos .....	65
5.3.5.	Evaluación del Proyecto .....	65
5.3.5.1.	VAN y TIR .....	65
<b>5.4.</b>	<b>Factibilidad Legal y Responsabilidad Civil (Regulaciones y Licencias) .....</b>	<b>66</b>
5.4.1.	Responsabilidad Civil .....	66
5.4.2.	Regulaciones .....	66
5.4.2.1.	Seguridad Eléctrica .....	66
5.4.2.2.	Compatibilidad Electromagnética .....	67
5.4.2.3.	Privacidad .....	67
5.4.2.4.	Ingress Protection .....	68
5.4.3.	Licencias .....	68
5.4.3.1.	Seguridad Eléctrica .....	68
5.4.3.2.	R.o.H.S .....	69
5.4.3.3.	ANMAT .....	69
5.4.3.4.	INPI .....	69
5.4.3.4.1.	Modelos de Utilidad .....	69
5.4.3.4.2.	Diseño Industrial .....	70
5.4.3.4.3.	Marcas .....	70
<b>6.</b>	<b>Ingeniería de Detalle .....</b>	<b>71</b>
<b>6.1.</b>	<b>Hardware .....</b>	<b>71</b>
6.1.1.	Diagrama de Bloques .....	71
6.1.2.	Descripción Detallada de Cada Bloque .....	72
6.1.2.1.	Iluminación .....	72
6.1.2.1.1.	Detalles de Selección .....	72
6.1.2.1.2.	Elementos Circuitales .....	72
6.1.2.2.	Sonido .....	73
6.1.2.2.1.	Detalles de Selección .....	73
6.1.2.2.2.	Elementos Circuitales .....	74
6.1.2.3.	Vibración .....	74
6.1.2.3.1.	Detalles de Selección .....	74
6.1.2.3.2.	Elementos Circuitales .....	74
6.1.2.4.	Botones .....	74
6.1.2.4.1.	Detalles de Selección .....	75

6.1.2.4.2.	Elementos Circuitales .....	75
6.1.2.5.	Control, procesamiento y transceiver Wi-Fi.....	75
6.1.2.5.1.	Detalles de Selección .....	75
6.1.2.5.2.	Elementos Circuitales .....	75
6.1.2.6.	Alimentación .....	76
6.1.2.6.1.	Detalles de Selección .....	76
6.1.2.6.2.	Elementos Circuitales .....	76
6.1.3.	Plan de Pruebas de Cada Módulo .....	79
6.1.3.1.	Plan de Pruebas Módulo Iluminación.....	79
6.1.3.2.	Plan de Pruebas Módulo Sonido .....	79
6.1.3.3.	Plan de Pruebas Módulo Vibración .....	79
6.1.3.4.	Plan de Pruebas Módulo Control, Procesamiento y Transceiver Wi-Fi .....	79
6.1.3.5.	Plan de Pruebas Módulo Alimentación .....	79
<b>6.2.</b>	<b>Software.....</b>	<b>80</b>
6.2.1.	Pulsera.....	80
6.2.1.1.	Flujograma.....	80
6.2.1.2.	Funcionamiento y subrutinas .....	80
6.2.2.	Aplicación de Celular.....	82
6.2.2.1.	Esquema de Menús .....	83
6.2.2.2.	Funcionamiento y subrutinas .....	84
6.2.3.	Plan de Prueba de Módulos y de Depuración de Software.....	85
<b>7.</b>	<b>Diseño del prototipo .....</b>	<b>88</b>
<b>7.1.</b>	<b>Esquemáticos modulares .....</b>	<b>88</b>
7.1.1.	Control y Comunicación .....	88
7.1.2.	Alimentación .....	88
7.1.3.	Interfaces de Usuario .....	89
<b>7.1.</b>	<b>Bill Of Materials (BOM).....</b>	<b>90</b>
<b>7.2.</b>	<b>Diseño del Circuito Impreso .....</b>	<b>91</b>
7.2.1.	Primera versión .....	91
7.2.2.	Segunda Versión .....	92
<b>7.3.</b>	<b>Diseño Mecánico .....</b>	<b>93</b>
7.3.1.	Carcasa de la Pulsera.....	93
7.3.2.	Sujeción de la Pulsera .....	94
7.3.3.	Pastillero .....	94
<b>8.</b>	<b>Construcción del Prototipo .....</b>	<b>95</b>
<b>8.1.</b>	<b>Circuito de la Pulsera .....</b>	<b>95</b>
8.1.1.	Primera instancia .....	95
8.1.2.	Segunda Instancia .....	96
<b>8.2.</b>	<b>Pastillero .....</b>	<b>97</b>
<b>8.3.</b>	<b>Aplicación de Celular .....</b>	<b>97</b>
<b>9.</b>	<b>Validación del Prototipo.....</b>	<b>98</b>
<b>9.1.</b>	<b>Estudios de Confiabilidad de Hardware y de Software .....</b>	<b>98</b>
9.1.1.	Aspectos Generales de Hardware.....	98
9.1.2.	Aspectos Generales de Software .....	101
9.1.2.1.	Modelo de Shooman .....	101
<b>9.2.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>102</b>
9.2.1.	Validaciones de Hardware .....	102
9.2.1.1.	Chequeos de Continuidad y Cortocircuitos en la Placa .....	102
9.2.1.2.	Circuito de Programación del ESP 32 .....	103

9.2.1.3.	Módulo iluminación .....	103
9.2.1.4.	Módulo Botones.....	103
9.2.1.5.	Módulo Vibración.....	103
9.2.1.6.	Módulo Sonido .....	104
9.2.1.7.	Módulo Alimentación.....	104
9.2.1.8.	Funcionamiento completo de la Placa .....	104
9.2.1.9.	Mediciones .....	104
9.2.1.9.1.	Tensión entre Bornes de Batería .....	104
9.2.1.9.2.	Tensión a la salida del LDO .....	104
9.2.1.9.3.	Consumo de Corriente Durante el Intento de Conexión a Wi-Fi .....	105
9.2.1.9.4.	Consumo de Corriente Durante el Presionado del Botón de Emergencia.....	105
9.2.1.9.5.	Consumo de Corriente Durante Alarmas.....	105
9.2.2.	Validaciones de Software.....	105
9.2.2.1.	Software en la Pulsera.....	105
9.2.2.1.1.	Iluminación .....	105
9.2.2.1.2.	Botones.....	105
9.2.2.1.3.	Sonido.....	106
9.2.2.1.4.	Vibración.....	106
9.2.2.1.5.	Conexión a Wi-Fi.....	106
9.2.2.1.6.	Conexión con la base de datos .....	106
9.2.2.1.7.	Horarios para las alarmas .....	106
9.2.2.2.	Software de la Aplicación de Celular .....	106
9.2.2.2.1.	Conexión con la base de datos .....	106
9.2.2.2.2.	Funcionamiento de la aplicación .....	106
9.2.2.2.3.	Notificaciones .....	106
9.2.2.2.4.	Posibilidad de controlar varias pulseras a la vez .....	107
<b>9.3.</b>	<b>Evaluación .....</b>	<b>107</b>
9.3.1.	Evaluación de Resultados Técnicos .....	107
9.3.2.	Evaluación de la Planificación .....	107
<b>10.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>108</b>
10.1.	Cumplimiento de Objetivos .....	108
10.2.	Lecciones Aprendidas .....	108
10.3.	Recomendaciones para Futuros Diseños.....	108
<b>11.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>109</b>
<b>12.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>111</b>
12.1.	Recolección de Datos: Encuesta .....	111
12.2.	Productos Similares ya Existentes .....	128

## Ilustraciones

Ilustración 1: Producto Final: Pulsera Electrónica, Pastillero y Aplicación de Celular. ....	13
Ilustración 2: Resumen en módulos del Producto .....	14
Ilustración 3: Pastillero Con Alarma [1] .....	16
Ilustración 4: Pastillero “Pill Buddy” .....	16
Ilustración 5: Tele Asistencia Domiciliaria.....	17
Ilustración 6: Producto Final: Pulsera Electrónica, Pastillero y Aplicación de Celular .....	20

Ilustración 7: Esquema General de la Encuesta .....	22
Ilustración 8: MedFolio Celular Pillbox .....	25
Ilustración 9: MedMinder .....	26
Ilustración 10: Casa de Calidad .....	26
Ilustración 11: Diagrama Funcional de Interfaces.....	28
Ilustración 12: Banco de pruebas N°1 .....	36
Ilustración 13: Banco de Pruebas N°2 .....	36
Ilustración 14: Esquema Modular .....	43
Ilustración 15: TAM.....	60
Ilustración 16: SAM.....	60
Ilustración 17: SOM.....	61
Ilustración 18: Diagrama en Bloques del Hardware.....	71
Ilustración 19: LED Through Hole, 5mm de Diámetro .....	72
Ilustración 20: Gráfico de Relación entre Tensión y Corriente de los LEDs, Obtenido de la Hoja de Datos .....	73
Ilustración 21: Buzzer para Alarmas .....	73
Ilustración 22: Motor de Vibración .....	74
Ilustración 23: Pulsador .....	75
Ilustración 24: ESP32 WROOM .....	75
Ilustración 25: Botón de Emergencia Presionado .....	83
Ilustración 26: Indicación de Medicación Tomada .....	84
Ilustración 27: Notificaciones de la Aplicación de Celular .....	84
Ilustración 28: Plan de Pruebas de Software .....	85
Ilustración 29: Esquemático - hoja 1/3 - Control y Comunicación .....	88
Ilustración 30: Esquemático – hoja 2/3 – Alimentación .....	89
Ilustración 31: Esquemático – hoja 3/3 – Interfaces con el Usuario .....	90
Ilustración 32: Vista 3D de Top Layer.....	91
Ilustración 33: Vista 3D de Bottom View .....	92
Ilustración 34: Segundo Versión del Diseño del PCB .....	92
Ilustración 35: Diseño de la Carcasa en Solidworks .....	93
Ilustración 36: Pastillero .....	94
Ilustración 37: Paleta de Colores de Smart Pills.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 38: Tipografía de Smart Pills.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 39: Pulsera Final - Comparación de Tamaño.....	96
Ilustración 40: Diagrama Confiabilidad Emergencia .....	98
Ilustración 41: Diagrama Confiabilidad Alarmas.....	99
Ilustración 42: Pastillero Con Alarma.....	128
Ilustración 43: Pastillero “Pill Buddy” .....	128
Ilustración 44: Pulsera de Adherencia a Medicamentos IvyHealth .....	129

Ilustración 45: Tele Asistencia Domiciliaria.....	129
---	-----

## Tablas

Tabla 1: Resumen de Características de la Competencia .....	17
Tabla 2: Leyenda de uso en Especificaciones.....	28
Tabla 3: Especificaciones Funcionales .....	29
Tabla 4: Especificaciones de Interfaz DAT.....	29
Tabla 5: Especificaciones de Interfaz Mecánica MEC1 .....	30
Tabla 6: Especificaciones de Interfaz Mecánica MEC2 .....	30
Tabla 7: Especificaciones de Interfaz Mecánica MEC3 .....	30
Tabla 8: Especificaciones de Interfaz Mecánica MEC4 .....	30
Tabla 9: Especificaciones de Interfaz Visual VIS1.....	30
Tabla 10: Especificaciones de Interfaz Visual VIS2.....	30
Tabla 11: Especificaciones de Interfaz Sonora SON .....	31
Tabla 12: Especificaciones de Interfaz Eléctrica ELE .....	31
Tabla 13: Especificaciones de Interfaz de Entorno ENT .....	31
Tabla 14: Especificaciones de Interfaz Gráfica de Usuario GUI.....	31
Tabla 15: Especificaciones de Performance.....	32
Tabla 16: Especificaciones de Operación .....	32
Tabla 17: Especificaciones de Almacenamiento y Transporte.....	33
Tabla 18: Especificaciones de Compatibilidad Electromagnética .....	33
Tabla 19: Especificaciones Dimensionales y de Peso.....	33
Tabla 20: Especificaciones de Costos.....	34
Tabla 21: Especificaciones de Confiabilidad .....	34
Tabla 22: Especificaciones de Disponibilidad.....	34
Tabla 23: Especificaciones de Mantenibilidad .....	34
Tabla 24: Especificaciones de Seguridad.....	35
Tabla 25: Especificaciones de Test.....	37
Tabla 26: Procedimiento de Verificación de Tests.....	42
Tabla 27: Alternativas de Diseño Módulo Iluminación .....	45
Tabla 28: Alternativas de Diseño Módulo Botón .....	47
Tabla 29: Alternativas de Diseño Módulo Vibración.....	48
Tabla 30: Alternativas de Diseño Módulo Sonido.....	49
Tabla 31: Alternativas de Diseño Módulo Comunicación y Control.....	51
Tabla 32: Alternativas de Diseño del Módulo .....	52
Tabla 33: DFMEA del producto. ....	55
Tabla 34: Planificación de Tareas.....	57

Tabla 35: Costos de Inversión .....	63
Tabla 36: Costos Fijos Trimestrales.....	64
Tabla 37: Costos Variables por Unidad de Producto Final .....	65
Tabla 38: Análisis Económico .....	65
Tabla 39: Valores de Resistencias para cada LED.....	73
Tabla 40: Consumo instantáneo pico de todas las fuentes relevantes del circuito.....	77
Tabla 41: Consumo de Batería en un periodo de 24hs de cada fuente relevante del circuito. ....	78
Tabla 42: Consumo de Batería en un periodo de 24hs por aspectos funcionales del circuito. ....	78
Tabla 43: Diagrama de Flujo de la Pulsera .....	80
Tabla 44: Subrutinas Pulsera.....	82
Tabla 45: Aplicación de Celular en Play Store .....	82
Tabla 46: Esquema de Menús de la Aplicación de Celular .....	83
Tabla 47: Subrutinas Aplicación de Celular .....	85
Tabla 48: Bill of Materials .....	91
Tabla 49: Render de Pulsera en Uso .....	93
Tabla 50: Mallas de Sujeción de la Pulsera .....	94
Tabla 51: Alternativas de Diseño del Logo .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 52: Primer prototipo de la pulsera .....	95
Tabla 53: Placa del circuito de la Pulsera .....	96
Tabla 54: Pastillero.....	97
Tabla 55: Aplicación de Celular .....	97
Tabla 56: Consideraciones .....	98
Tabla 57: $\lambda$ Para Componentes de los Modulos .....	99
Tabla 58: Cálculos Auxiliares.....	100
Tabla 59: Estimación Vida Útil .....	100

## Gráficos

Gráfico 1: Curva de Demanda Aproximada.....	24
Gráfico 2: Cantidad de Ventas Estimadas por Mes, a lo Largo de Cuatro Años.....	61

## Acrónimos y Definiciones

Acrónimo	Descripción
<b>AC</b>	Corriente Alterna ( <i>Alternate Current</i> )
<b>DC</b>	Corriente Continua ( <i>Direct Current</i> )
<b>EMC</b>	Compatibilidad Electromagnética ( <i>ElectroMagnetic Compatibility</i> )
<b>FPGA</b>	Field Programable Gate Array
<b>HW</b>	<i>Hardware</i>
<b>PCB</b>	Circuito Impreso ( <i>Printed Circuit Board</i> )
<b>SW</b>	<i>Software</i>
<b>TBD</b>	<i>To Be Determined</i>
<b>μC</b>	Microcontrolador (ver definiciones)
<b>μP</b>	Microprocesador (ver definiciones)
<b>VAC</b>	Volts de corriente alterna (AC)
<b>VDC</b>	Volts de corriente continua (DC)
<b>MQTT</b>	Protocolo de comunicación ( <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> )
<b>MTBF</b>	Tiempo medio entre fallas ( <i>Mean Time Before Failure</i> )
<b>App</b>	Aplicación de celular
<b>LED</b>	Dispositivo electrónico discreto que emite luz ( <i>Light-Emitting Diode</i> )
<b>RGB</b>	Refiere a dispositivos que emiten luz en los espectros Rojo, Verde y Azul
<b>RGBW</b>	Refiere a dispositivos que emiten luz en espectros Rojo, Verde, Azul y Blanco
<b>RGBA</b>	Refiere a dispositivos que emiten luz en espectros Rojo, Verde, Azul y Ámbar
<b>dB</b>	Decibeles, unidad de medición de intensidad relativa
<b>lux</b>	Unidad del sistema internacional de luminancia, flujo luminoso por unidad de área.
<b>CRI</b>	Índice de definición de color ( <i>Color Rendering Index</i> )
<b>cd</b>	Candela, unidad del sistema internacional para intensidad luminosa
<b>GPIO</b>	Pin de entrada-salida configurable ( <i>General Purpose Input-Output</i> )
<b>SMD</b>	Dispositivo de montaje superficial ( <i>Surface Mount Device</i> )
<b>DIP</b>	Tipo de empaquetado de dispositivos electrónicos ( <i>Dual In-line Package</i> )
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>FVAN</b>	Fuerza de vibración de amplitud nominal
<b>IoT</b>	Internet de las cosas ( <i>Internet of Things</i> )
<b>LoRa</b>	Técnica de modulación de señales de comunicación (de <i>Long Range</i> )
<b>Sigfox</b>	Proveedor de Red inalámbrica global localizado en Francia
<b>USB</b>	Tipo de conector para conexiones en serie que cumple con el estándar USB-IF ( <i>Universal Serial Bus</i> )
<b>RPN</b>	Índice de criticidad ( <i>Risk Priority Number</i> )
<b>DFMEA</b>	Análisis de modos de fallas y efectos ( <i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i> )
<b>HH</b>	Horas Hombre, representa tiempo de trabajo en horas
<b>PERT</b>	Herramienta de administración de tiempos de un proyecto ( <i>Program Evaluation Review Technique</i> )
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto, es un criterio de inversión
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno, es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión
<b>EPP</b>	Elementos de Protección Personal
<b>ABL</b>	tasa a abonar por Alumbrado, Barrido y Limpieza
<b>CF</b>	Costo Fijo
<b>BU</b>	Bien de Uso
<b>CV</b>	Costo Variable
<b>res</b>	Resistencias

<b>caps</b>	Capacitores
<b>A</b>	Amortizaciones
<b>UAIG</b>	Utilidades Antes de Impuesto a las ganancias
<b>IG</b>	Impuesto a las Ganancias
<b>UNETA</b>	Utilidad Neta
<b>UN</b>	Utilidad Neta
<b>VM</b>	Valor Monetario
<b>FEO</b>	Flujo Efectivo Ordinario
<b>VL</b>	Ventas Local
<b>FEE</b>	Flujo Efectivo Extraordinario
<b>KT</b>	Capital
<b>FFN</b>	Flujo de Fondos Neto
<b>SRL</b>	Sociedad de Responsabilidad Limitada
<b>SA</b>	Sociedad Anonima
<b>SAS</b>	Sociedad de Acciones Simplificadas
<b>IRAM</b>	Instituto Argentino de Normalización y Certificación
<b>IEC</b>	Organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas ( <i>International Electrotechnical Comission</i> )
<b>GUI</b>	Interface grafica de usuario ( <i>Graphical User Interface</i> )
<b>IP</b>	Norma de protección de ingreso de particulas ( <i>Ingress Protection</i> )
<b>RoHS</b>	Certificación de seguridad contra sustancias dañinas( <i>Restriction of Hazardous Substances</i> )
<b>ANMAT</b>	Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica
<b>INPI</b>	Instituto Nacional de la Propiedad Industrial
<b>MOSFET</b>	Tipo de transistor de efecto de campo de metal oxido ( <i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i> )
<b>RTC</b>	Reloj de tiempo real interno del dispositivo ( <i>Real Time Clock</i> )
<b>Tx</b>	Transmisor o Transmisión
<b>Rx</b>	Receptor o Recepción
<b>LDO</b>	Regulador de tensión ( <i>Low Drop Out</i> )
<b>OS</b>	Sistema Operativo
<b>ID</b>	Identificación
<b>RH</b>	Humedad Relativa
<b>Pa</b>	Pascales, unidad de sistema internacional para medir presión
<b>MUSA</b>	Apellido del ingeniero que ideó el modelo de confiabilidad para software utilizado en este informe
<b>SLOC</b>	Lineas de código fuente ( <i>Source Lines of Code</i> )

Término	Definición
Microcontrolador	<p>Un microcontrolador difiere de un microprocesador, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de <u>circuitos integrados externos de apoyo</u>. 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, esencialmente, por registros, una unidad de control, una unidad aritmético lógica (ALU) y una unidad de punto flotante (llamada antiguamente «coprocesador matemático»).</p>
Bootloader	<p>Un Bootloader o gestor de arranque es uno de los componentes que puedes encontrar en cualquier sistema operativo, tanto los de escritorio como los destinados a dispositivos móviles. Se encarga de hacer varias comprobaciones antes de iniciar el sistema operativo para asegurarse de que todo está correctamente, y también le da al sistema operativo las instrucciones necesarias para iniciarse.</p> <p>En el ámbito de microcontroladores se trata de que el mismo provea la posibilidad de cargar un programa a través de un sistema operativo por medio de una conexión directa, usualmente por USB.</p>

## Resumen

Los horarios en los que una persona debe tomar un medicamento no siempre son correctamente respetados. Hay distintos factores que pueden influir para que esto ocurra: la responsabilidad por parte de quien debe tomar la medicación (o por parte de quien se encuentra a su cargo), la edad de la persona, la falta de un recordatorio, la incorrecta interpretación de lo especificado por el médico, una indicación poco clara, confusa o incompleta por parte del médico, la patología de la persona; entre otros aspectos.

Las personas de edad avanzada son el grupo de población que más medicamentos toma regularmente y el más susceptible a tener reacciones adversas por no cumplir apropiadamente su ingesta. A partir de los 65 años, aproximadamente el 83.1% de los adultos mayores toma al menos un medicamento periódicamente. Uno de los métodos más utilizados por estas personas para recordar los horarios de ingesta de medicamentos es asociarlos a alguna actividad diaria tal como el desayuno, el almuerzo o la cena. Sin embargo, la toma de medicaciones diarias sin ningún sistema que recuerde el momento de toma de medicación trae aparejados inconvenientes que suelen darse frecuentemente: el olvido de una o más medicaciones diarias, no respetar la periodicidad en las tomas, tomar dos veces el mismo medicamento por no recordar si había sido tomado antes. El incumplimiento de horarios de una medicación puede traer graves consecuencias o disminuir la efectividad del medicamento. Para quienes tienen enfermedades crónicas, la misma puede empeorar debido al incumplimiento en la toma de medicamentos. A su vez, este tema genera preocupación por parte de familiares, a quienes se les puede complicar tener un correcto seguimiento de la toma de medicaciones. Más del 98.3% de los usuarios encuestados considera el incumplimiento de horarios de toma de medicamentos un problema.

Con nuestro proyecto final de la carrera de Ingeniería Electrónica buscamos brindarle una solución a esta problemática, mediante el diseño de un producto intuitivo, simple y cómodo, que permita planificar los horarios de toma de medicamentos, dar aviso en dichos horarios mediante alarmas e informarle al responsable de la planificación el momento en el que una medicación fue tomada. El producto aquí presentado está formado por tres partes bien diferenciadas: una aplicación de celular, un pastillero y una pulsera electrónica.

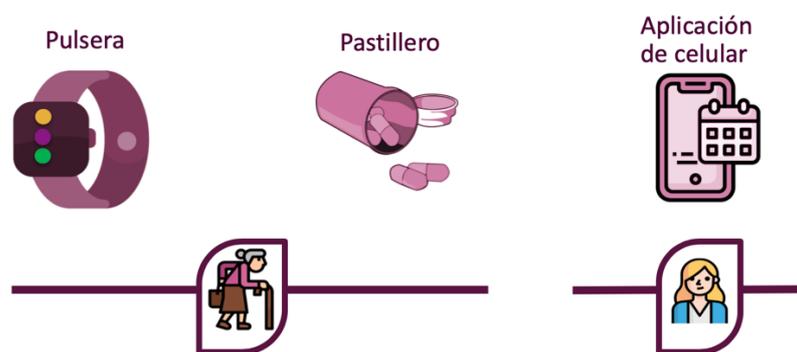


Ilustración 1: Producto Final: Pulsera Electrónica, Pastillero y Aplicación de Celular.

En cuanto a la aplicación de celular, su usuario es la persona a cargo del adulto mayor. La misma permite programar los horarios de ingesta de medicamentos, asociando un color a cada medicamento. Además, recibe alerta en caso de que la persona mayor se encuentre en situación de emergencia. Del pastillero, en cambio, el usuario es la persona adulta mayor, quien toma los medicamentos. Cuenta con un compartimento de color por cada tipo de medicamento. En ellos se carga el stock de pastillas según se hayan asociado los colores en la aplicación. No cuenta con

electrónica en su funcionamiento. El usuario de la pulsera electrónica también es la persona que toma los medicamentos. Esta pulsera da aviso en los horarios de ingesta de medicamentos para que la persona mayor se acerque al pastillero y tome la medicación del color que indicado. Cuenta con un botón que apaga la alarma y confirma que se ha tomado la medicación y con un botón de emergencia que, en caso de ser presionado, la persona a cargo o familiar recibirá una alerta en la aplicación.

En el presente informe se plantean los requerimientos y especificaciones, a partir de las cuales se diseña el producto. Para la definición de los requerimientos se tuvieron en cuenta los requisitos básicos para brindar una solución al problema planteado y tomando en consideración respuestas a una encuesta realizada a potenciales clientes. El proyecto requirió un desarrollo tecnológico en distintas áreas, entre las cuales se encontró el diseño e implementación de un circuito para la pulsera electrónica, el desarrollo de software en un ESP32 conectado a internet utilizando Firebase, y una aplicación de celular desarrollada utilizando Ionic Framework.

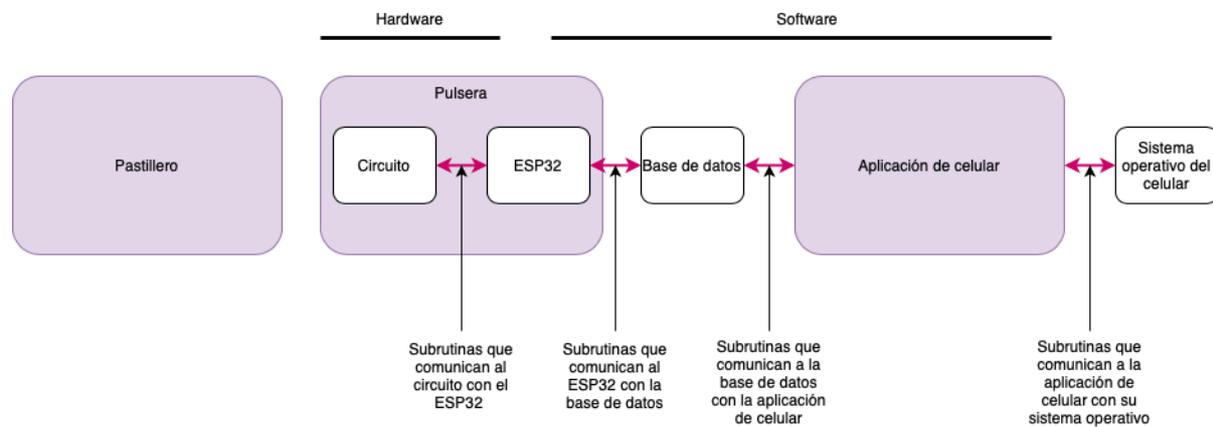


Ilustración 2: Resumen en módulos del Producto

# 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes

Las personas mayores que llevan una vida de forma independiente muchas veces no tienen un buen control de los medicamentos que toman. Suele suceder que no cumplen correctamente los horarios de ingesta o que no toman la medicación correcta en el momento indicado. Discutiendo sobre nuestra experiencia personal, notamos que conocemos varios casos de preocupación de familiares de personas en esta situación. De ahí surgió la idea de hacer algún proyecto que mejore el cumplimiento de horarios y que permitiera evitar la confusión que existe entre los medicamentos que se toman en cada horario y para eso realizamos una encuesta que corroboró esta necesidad.

Por otro lado, las caídas constituyen un fenómeno frecuente durante la vejez y pueden originar graves consecuencias. En el caso de una persona que vive sola, si se cae y no logra levantarse, implica un problema adicional, al cual consideramos que no se le presta la atención necesaria. Si bien existen algunas soluciones, no abundan en el mercado argentino. Es por este motivo que al producto que desarrollaremos se le añadió la funcionalidad, mediante un botón de emergencia, de dar aviso a la persona a cargo o familiar en caso de que la persona adulta mayor se encuentre en una situación como la mencionada. Se aclara que no se investigó a fondo mecanismos para detectar la situación de emergencia dado que no se lo consideró el foco de nuestro proyecto, pero sí una funcionalidad adicional de mucha utilidad. Hacer que la pulsera pueda enviar aviso de emergencia cuando el usuario no se encuentra en su hogar implica que la pulsera tenga una tecnología para funcionar con LoRa WAN o con algún plan como los empleados por celulares. El uso de estos servicios implicaría costos mensuales extra por parte del usuario, disminuyendo la simpleza y facilidad del producto para el usuario. Es importante remarcar que la idea de nuestro producto es que sea fácil de usar y económico. Además, dado que la pulsera no cuenta con GPS, teléfono o la posibilidad de enviar mensajes, dar un aviso de emergencia sin indicar la ubicación de la persona no tendría sentido. También se considera que si la persona usuaria de la pulsera tiene un estilo de vida en el que sus salidas cotidianas son para hacer mandados, probablemente hay gente en la calle que pueda ayudarla en caso de una emergencia. Por eso, se diseña la pulsera considerando que el botón de emergencia es útil para aquellas emergencias en las que la persona está en su casa. En caso de ser presionado el botón, se envía dicho aviso al usuario de la aplicación de celular, empleando internet a través de conexión Wi-Fi.

### 1.1.1. Productos Similares ya Existentes

En cuanto al cumplimiento de horarios en los que se deben tomar medicamentos, existen soluciones en el mercado internacional. Hoy en día hay aplicaciones para celular que brindan recordatorios, se utilizan alarmas, o se toman como referencia ciertas actividades del día a día, como por ejemplo los horarios de las comidas. Sin embargo, no toda la gente mayor tiene teléfono celular o lo maneja con facilidad, las alarmas provenientes de un reloj despertador dejan de ser útiles si la persona no se encuentra cerca en el momento en que suena y que el recordatorio sea una comida no es algo preciso en cuanto a horario, ni garantiza que la persona se acuerde de tomar los medicamentos.



Ilustración 3: Pastillero Con Alarma [1]

Existen en el mercado internacional sistemas que permiten insertar las pastillas en distintos compartimentos y programar alarmas que suenan en distintos horarios [1]. El problema de estos pastilleros es que el usuario podría confundirse de compartimiento dado que queda a cargo del usuario saber qué compartimiento corresponde a cada horario. Estos pastilleros suelen ser programados a través del mismo dispositivo o por medio de una aplicación de celular siendo necesario encontrarse cerca del pastillero, como en el caso de Pill Buddy [2].



Ilustración 4: Pastillero "Pill Buddy"

Respecto a recibir alerta en caso de una situación de emergencia, existen actualmente en el mercado argentino servicios para emergencias en el hogar que les permiten, a quienes viven o pasan tiempo solos en su hogar, solicitar ayuda en caso de emergencia presionando un botón en una pulsera. El botón activa la llamada a la central de asistencia de forma inalámbrica. Un tele asistente verifica la situación de emergencia y se encarga de dar aviso a los familiares y a los servicios de urgencia, como es el caso del servicio Tele Asistencia Domiciliaria, o el servicio de MedMinder.



Ilustración 5: Tele Asistencia Domiciliaria

A continuación mostramos una tabla comparativa de los distintos sistemas analizados, que son diferentes en concepto, pero que resuelven la necesidad que planteamos. Los valores indicados van de 1 al 10, siendo 10 el mejor puntaje. Para más información acerca de estos productos, ver sección Anexo.

Versión	Facilidad de uso (1-10)	Tamaño (1-10)	Conexión
Pastillero con Alarma <a href="#">[1]</a>	4	3	No necesita
Pill Buddy <a href="#">[2]</a>	5	8	Sin información
Teleasistencia Domiciliaria <a href="#">[4]</a>	3	3	Basado en llamadas telefónicas
MedFolio Cellular Pillbox	7	4	Modem interno
MedMinder	7	4	Wi-Fi

Tabla 1: Resumen de Características de la Competencia

De aquellas alternativas se destacan el producto de MedFolio y el servicio de MedMinder, siendo los que más se asemejan a la solución que se propone en este informe. Dada su compatibilidad para comparación, se los considera los competidores más cercanos. Por esta razón se los elige para un análisis en la sección de casa de calidad. Dada su ventaja por ser productos y servicios de compañías con experiencia y recursos, se apunta a lograr un resultado similar con un precio más accesible. Nuestra propuesta es intuitiva, fácil de usar y accesible económicamente; en contraste de los sistemas actuales que investigamos.

## 1.2. Contexto del Proyecto

En la sociedad moderna es común que los integrantes de una familia vivan en distintos lugares, casas, ciudades o países. Es por eso que el control de las personas mayores suele entonces terminar a cargo de un tercero o a cargo ellas mismas, lo cual es una dificultad y preocupación adicional para la persona mayor o para el cuidador. Esta preocupación adicional puede provocar, por un lado, un

incremento del riesgo de la ocurrencia de un error y, por el otro, disminuir la atención a otras responsabilidades que la persona mayor o el cuidador deben realizar.

No es la primera o la última vez que se propone automatizar una tarea recurrente de la vida cotidiana. Existen precedentes de proyectos similares en distintos lugares del mundo puesto que la necesidad existe y la tecnología necesaria está vigente hace varios años. Observamos dos aspectos que se consideran claves para el presente proyecto: el costo del dispositivo y la experiencia del usuario. Es fundamental lograr un balance entre estos dos factores.

Adicionalmente, es necesario conseguir la confianza de los usuarios, puesto que, al ser una tarea realmente crítica, debe ser un producto que sea sencillo de entender y de usar. De este modo se puede maximizar la posibilidad de que el usuario, el cual muchas veces es una persona mayor que suele percibirse no confiable o estigmatizada, pueda tener una buena recepción de la pulsera de asistencia.

Por último, se entiende que la situación actual de pandemia COVID-19, por un lado, incrementa la necesidad de un monitoreo efectivo, dado que hay más controles que se deben hacer a distancia. Pero por el otro, la pandemia dificulta la obtención de componentes y los aspectos ejecutivos del proyecto.

## 2. Objetivos

### 2.1. Finalidad del Proyecto

El producto diseñado en este proyecto brinda una solución a las personas adultas mayores que deban tomar diariamente un gran número de medicamentos distintos en diferentes horarios del día, y a sus familiares o personas a cargo. El producto también sirve para cualquier otro caso en el que una persona debe tomar medicaciones y hay por lo menos otra persona que quiere llevar un seguimiento del cumplimiento de los horarios en los que las toma.

La pulsera desarrollada brinda, no solo la seguridad de que en cada horario de ingesta se les activará un recordatorio, si no que también da la posibilidad de que ante una situación de emergencia puedan ser alertados sus familiares o cuidadores para que vayan en auxilio de ellos.

De esta forma, con nuestro producto, logramos:

- Disminuir la probabilidad de una equivocación por parte de los adultos mayores en la toma de medicaciones.
- Simplificar la planificación y el cambio de horarios en los que se debe tomar cada medicación, sin que la persona mayor tenga que hacerlo.
- Simplificar la identificación de la medicación que se debe tomar en cada horario, mediante la configuración de colores distintos por parte de un tercero, sin que la persona mayor tenga que hacerlo.
- Reducir el riesgo, mediante el botón de emergencia, de que un adulto mayor quede incomunicado al tener un accidente. De esta manera, se le brinda seguridad, protección y tranquilidad tanto a ellos como a sus familiares.
- Obtener un seguimiento de la toma de medicamentos por parte de un tercero:
  - Haciendo que el mismo se quede tranquilo si las medicaciones se administran correctamente.
  - Haciendo que el mismo quede advertido si hay incumplimientos en la toma de medicamentos, para que pueda tomar alguna acción al respecto.

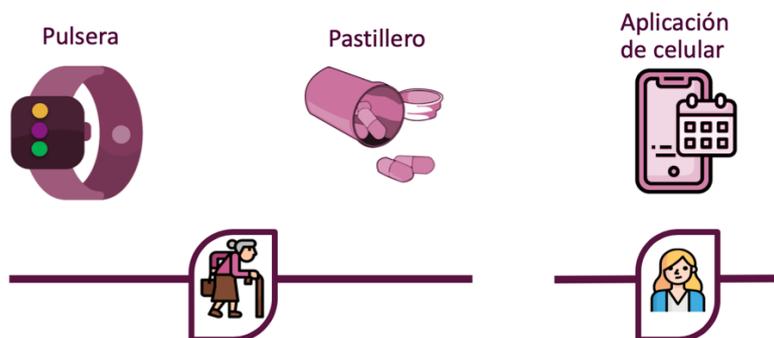
### 2.2. Planeamiento del Problema a Resolver

Hay dos factores claves que determinan la efectividad del proyecto: el costo y la experiencia del usuario. La experiencia del usuario está influida por factores tales como la simplicidad de uso de la aplicación de celular, la duración de la batería y la facilidad para entender qué pastillas se deben tomar. Para poder maximizar la experiencia del usuario se debe armar una pulsera que sea de características físicas similares a las de un reloj pulsera, con la capacidad de conectarse a una red de Wi-Fi, y al mismo tiempo con una duración de la batería lo más larga posible. Adicionalmente, se debe desarrollar una aplicación de celular que pueda conectarse con la pulsera y que permita una correcta administración.

Se entiende que el factor clave para el éxito del proyecto consiste en que la solución sea lo más simple y fácil de utilizar, minimizando la posibilidad de generar complicaciones para el usuario, ya que, en caso contrario, se le estaría generando un problema adicional.

### 2.3. Alcance

Como se mencionó previamente, la solución propuesta al problema planteado consiste en un producto final formado por una pulsera con electrónica, un pastillero y una aplicación de celular.



*Ilustración 6: Producto Final: Pulsera Electrónica, Pastillero y Aplicación de Celular*

En este proyecto se diseña un prototipo de dicho producto final y, por tratarse de prototipo, se define un alcance para el mismo.

La pulsera electrónica cuenta con conexión a internet. Tiene tres leds para indicar hasta tres medicaciones distintas en un mismo horario, dos botones (uno para confirmar que se tomó la medicación y el otro para dar aviso de emergencia), un led para indicar baja batería, conector micro USB para cargar la batería con 5V. Si bien se considera que la pulsera que compone al producto final debe ser diseñada de forma tal que sea resistente al agua, no se contempla esta característica en el diseño del prototipo. La indicación de pastillas que fueron ya tomadas es mediante un botón en la pulsera, es decir, no hay ningún sistema que automáticamente detecte las pastillas tomadas.

Si bien el pastillero podría contar con algún método de sensado para detectar si realmente se agarró la medicación correspondiente, el pastillero que forma parte del prototipo no tiene electrónica para su funcionamiento, solo cuenta con ocho divisiones de distintos colores para almacenar las medicaciones que fueron asociadas con un color a través de la aplicación. El mismo es desarrollado siguiendo un enfoque modular con el objetivo de que a futuro se puedan incorporar sencillamente tantos compartimentos como medicamentos se necesiten.

Adicionalmente, se agrega que una misma pulsera, a través de la aplicación de celular, puede ser configurada y controlada por múltiples usuarios en distintos celulares. A su vez, desde la aplicación de celular en un teléfono se puede tener el control de una o más pulseras a la vez. Esto se agrega puesto que a través de la encuesta que realizamos notamos que en muchos casos no suele ser una única persona la que está a cargo de la persona adulta mayor, ni un único adulto mayor sobre quien se quiere llevar un seguimiento. Las pulseras utilizadas tienen cada una un número de serie que debe ser utilizado para ser asociadas de este modo en la aplicación de celular.

Es importante remarcar que si bien se busca que a futuro la aplicación de celular pueda funcionar tanto en el sistema operativo Android como iOS, la aplicación de celular prototipo se diseña únicamente para Android, utilizando Ionic Framework, un framework que permite realizar desarrollos móviles utilizando tecnología web.

## 3. Definición del Producto

### 3.1. Requerimientos del Cliente

#### 3.1.1. Relevamiento de Datos

Se parte de las siguientes hipótesis:

- Las personas adultas mayores que toman medicaciones no siempre respetan los horarios en los que deben tomar medicaciones y no siempre toman la medicación correcta en cada horario.
- Hay personas que se preocupan por la correcta toma de medicamentos de una persona adulta mayor.
- Hay personas que se preocupan por posibles emergencias (como por ejemplo caídas) que pueda tener una persona adulta mayor.
- Quien se preocupa por la correcta administración de las medicaciones de un adulto mayor, configuraría alarmas y llevaría un control de la toma de medicamentos, en caso de ser posible.
- Identificar cada medicamento con un color evita confusiones entre medicaciones distintas, en caso de tomar más de una regularmente.
- Tener alarmas ayuda a respetar los horarios en los que se deben tomar medicaciones.
- Para una persona adulta mayor puede ser útil una alarma tanto sonora como de vibración, siendo esta última útil para quienes tienen disminución auditiva.
- Una persona puede preocuparse por la correcta toma de medicamentos de más de una persona (por ejemplo, de sus padres y tíos, o en caso de que su trabajo sea el de cuidado de adultos mayores).
- Varias personas pueden preocuparse por la correcta toma de medicamentos de una persona en particular (por ejemplo, varios hijos de una misma persona adulta mayor o varios cuidadores de una persona adulta mayor).
- En caso de que la incorrecta toma de medicaciones sea realmente una preocupación para otras personas, una posible solución es diseñar una pulsera con alarmas, un pastillero (usados por la persona adulta mayor) y una aplicación de celular (empleada por la persona que se preocupa por la correcta administración de los medicamentos de la persona adulta mayor), funcionando de la siguiente manera: La aplicación de celular puede configurar alarmas que suenen en la pulsera con colores asociados a distintos medicamentos. La pulsera puede tener un botón para confirmar la toma del medicamento e informarlo en la aplicación de celular. El pastillero puede tener compartimentos, cada uno con un color asociado a un medicamento distinto.
- El potencial cliente del producto planteado es quien se preocupa por la correcta toma de medicamentos de otra/s persona/s.

Es importante remarcar que el producto tiene dos tipos de usuario (deben estar los dos presentes para la efectividad del producto):

- Por lo menos una persona adulta mayor o cualquier otra persona que tome medicaciones y que haya alguien que se preocupe por su correcta administración.
- Por lo menos una persona que se preocupe por la correcta administración de medicaciones de otra/s persona/s.

Sin embargo, los potenciales clientes del producto son únicamente las personas que se preocupan por la correcta administración de medicamentos de otra/s persona/s, ya que son quienes comprarían el producto.

Se llevó a cabo una encuesta con el fin principal de validar las hipótesis planteadas y poder entonces definir los requerimientos de los potenciales clientes del producto a desarrollar. A continuación, se muestra un esquema general de la misma.

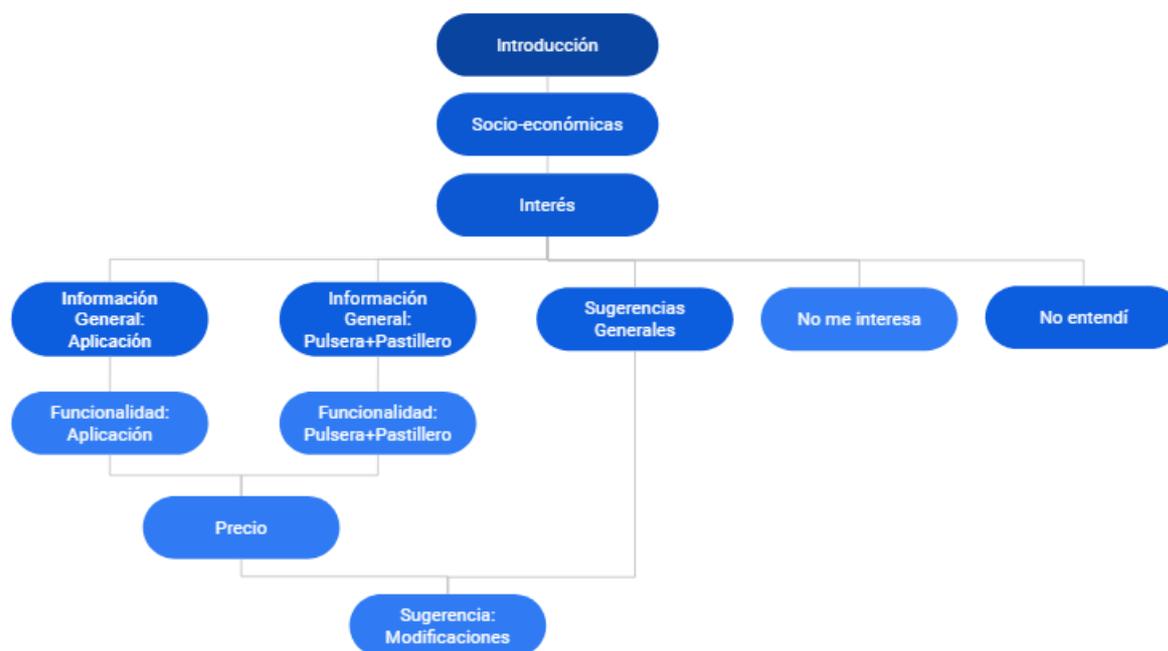


Ilustración 7: Esquema General de la Encuesta

Se inicia la encuesta con preguntas generales para obtener información de la clase social a la que pertenecen los potenciales clientes del producto. Luego se ramifica de acuerdo con los intereses de la persona encuestada. La finalidad es separar a las personas encuestadas, identificando a los dos tipos de usuario (el usuario de la aplicación de celular y el usuario de la pulsera y pastillero), para redirigirlos a las preguntas pertinentes. A los interesados en ser usuarios de la pulsera y del pastillero se les hacen preguntas relacionadas a la cantidad de medicaciones que toman, a su frecuencia y al uso que le darían a la pulsera y al pastillero. A quienes serían posibles usuarios de la aplicación de celular se les hizo preguntas sobre el tipo de configuraciones que les interesaría poder hacer y el tipo de información que les interesaría recibir de la pulsera. A su vez, son estos últimos quienes pagarían por el producto, por lo que su opinión acerca del valor de compra es importante. En el anexo se adjunta un análisis en el que se presentan todas las preguntas, sus justificaciones y relevancia, junto con gráficos de los resultados (Ver Anexo - Encuesta).

A continuación se resumen los resultados más relevantes de la encuesta.

- El 98.3% (344) de las respuestas demostraron interés por el producto. Se considera, entonces, que el mismo se encuentra bien planteado como solución a un problema que no se encuentra resuelto. Esto último se representa también en el 98% de los potenciales clientes de la pulsera y pastillero que reportaron no tener un producto que satisfaga como solución al problema. La cantidad de personas que no entendieron en qué consiste el producto es despreciable.
- Se obtuvieron 350 respuestas a la encuesta. De estas, el 34.6% (121) fueron potenciales usuarios de la pulsera y del pastillero; y el 58.6% (205) fueron potenciales usuarios de la aplicación de celular.
- En cuanto a los potenciales usuarios de la aplicación de celular:
  - Edades de encuestados: entre 40 y 60 años.
- En cuanto a los potenciales usuarios de la pulsera y del pastillero:

- Edades: Entre 75 y 85 años.
- El 94.3% de las respuestas obtenidas provienen de habitantes de provincia de Buenos Aires y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, donde se centrará el target del mercado, dado que no hubo suficiente representación de otras partes del país. A su vez, esto implica que los intereses de los clientes son homogéneos desde un punto de vista de segmentación geográfica. El nivel socioeconómico más representado es el de C+ (clase media alta) de la zona del conurbano y Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

A partir de los resultados de las secciones relacionadas con la pulsera y el pastillero, se obtuvieron los siguientes datos relacionados con los requerimientos del producto:

- Se requieren los tres métodos de alarma para notificar el horario de ingesta de medicamentos adecuadamente: vibración, sonido y luz.
- Apuntar a que la duración de la carga de batería sea mayor a una semana satisface al 79.5% de los clientes, mayor a 3 días satisface al 56.4% y mayor a 1 día satisface al 48.7%. Se considera que una diferencia del 30% no justifica el salto de dificultad considerable en lograr una duración de batería de una semana. Lograr dos días extra solo satisface un 7.7% más de los clientes. Se apunta a satisfacer al 48.7% que admite duración de la batería de por lo menos 1 día completo.
- El 92.3% de los potenciales clientes consideran al botón de emergencia como un requerimiento.
- El 89.8% de los potenciales usuarios de la pulsera y pastillero toma menos de 6 medicamentos al día. Se puede utilizar este límite como criterio para los requerimientos. Esto fue confirmado a su vez por el 73% de los encuestados que asisten a quienes toman medicamentos.
- 97.4% de los clientes toma menos de 5 medicamentos distintos, se podrá utilizar este límite como criterio para requerimientos. Esto fue confirmado a su vez por el 72.3% de los encuestados que asisten a quienes toman medicamentos.

A partir de los resultados de las secciones relacionadas con la aplicación de celular, se obtuvieron los siguientes datos relacionados con los requerimientos del producto:

- El 92.4% de los potenciales clientes tienen confianza en la persona asistida, por lo que es factible confiar en que si el adulto mayor presiona el botón de confirmación de haber tomado una medicación, realmente lo haya hecho.
- El 50.5% de los clientes de la aplicación serían encargados de reponer los medicamentos.
- El 97.9% de los clientes consideran que el botón de emergencia para la persona asistida es un requerimiento.
- El 98.9% de los clientes considera ser notificado en caso de que no se haya ingerido el medicamento a tiempo como un requerimiento.
- El 80.7% de los clientes considera ser notificado en caso de que se haya ingerido el medicamento como un requerimiento.

Las respuestas acerca de que la pulsera sea resistente al agua o que detecte caídas fueron descartadas, para acotar el alcance del diseño del prototipo. Esto es posible ya que no son las características principales del producto que se propone en este proyecto. Por ende, no se relevan dichos datos pero sus gráficas de resultados se encuentran en el anexo.

A partir de los resultados de la sección relacionada al precio del producto para potenciales clientes se puede obtener la curva de demanda aproximada. Esta se obtiene representando la

depreciación de la cantidad de clientes del mercado potencial (vista como % en este caso) respecto del precio de venta.

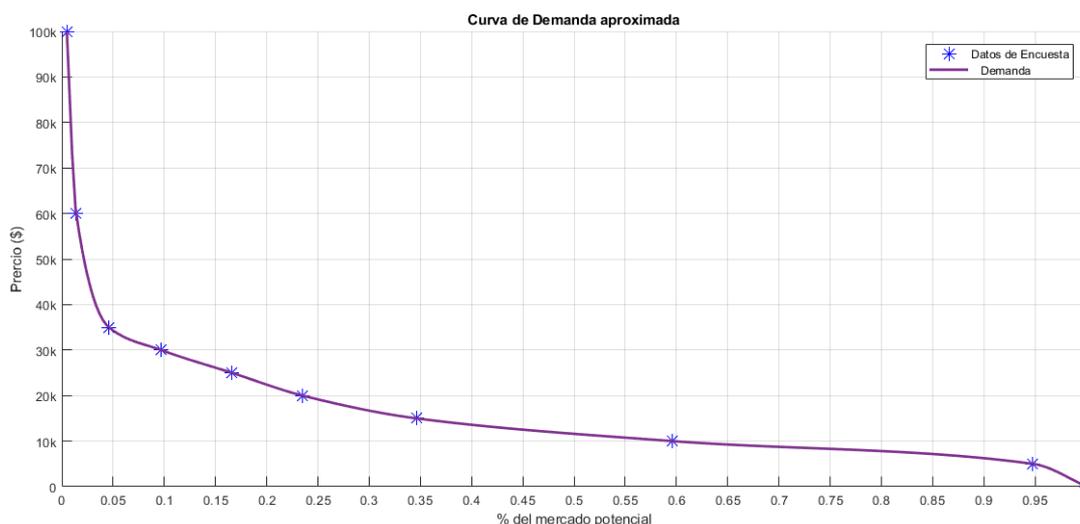


Gráfico 1: Curva de Demanda Aproximada

Algunas conclusiones relevantes que se obtienen de este análisis son los límites del precio del producto final dada la porción del mercado potencial a la que se desea acceder. Entre ellas para alcanzar un 5% del mercado el precio no debe superar \$35.000, aumentando a 10% en \$30.000, ambos valores posibles para un primer lanzamiento del producto. Otro valor de interés se encuentra en el rango de \$10.000 donde se alcanza más del 50% del mercado.

Estos datos no representan un requerimiento pero podrán ser de utilidad para determinar el precio del producto en la sección de Factibilidad Económica, donde se da un análisis más profundo y se explican las decisiones a partir de los mismos.

### 3.1.2. Casa de Calidad

Habiéndose explorado brevemente las soluciones alternativas en el mercado, se destacaron dos particulares, el producto de MedFolio y el servicio de MedMinder, que se consideran como aquellas alternativas suficientemente cercanas a nuestra propuesta para cumplir el rol de competencia directa. Se procede a analizar ambas opciones para producir una casa de calidad.

Competencia:

- MedFolio Cellular PillBox: [Prism Health Services. MedFolio Electronic Pillbox](https://prismhealthservices.net/medfolio-electronic-pillbox) (Competencia 1) [https://prismhealthservices.net/medfolio-electronic-pillbox]

Medfolio Cellular Pillbox es un dispensador de medicamentos manejado de manera remota que permite organizar una semana de medicamentos para la persona adulta mayor, supervisada por otro o por si mismo. Ayuda a identificar la medicación, da recordatorios para la toma de los medicamentos cargados en el sistema, y requiere un mantenimiento semanal para configuración y reaprovisionar los medicamentos. Los recordatorios están separados en 4 momentos del día únicamente. Requiere el uso de un software adicional que se carga en una computadora y debe conectarse el dispositivo por USB para poder conectarlo a internet y luego se configura el dispositivo mediante una página web. El dispositivo funciona conectado

a la nube únicamente cuando está conectado a la pared, no está pensado para que la persona lo lleve consigo en todo momento.

Sus puntos de venta son: su gran capacidad de stock; identificación de medicamentos patentada con el uso de su display; programación remota; alarmas sonoras, luminosas, y por e-mail o mensaje de texto; monitoreo completo de toma de medicamentos de la persona asistida para sus cuidadores; y un estuche para traslado. Su precio es de U\$D200 con adicionales para compartimentos extra o un reemplazo del estuche por U\$D15 y U\$D30 respectivamente.



Ilustración 8: MedFolio Cellular Pillbox

- MedMinder: [Safe and Automated Medication Dispenser](https://www.medminder.com/pill-dispenser/) (Competencia 2)  
[https://www.medminder.com/pill-dispenser/]

MedMinder es un servicio de monitoreo para asegurar que las personas mayores tomen sus medicamentos. Su marketing está dirigido a independizar a familiares del cuidado diario de las personas mayores de la familia que sin ayuda no logran mantener la rutina de medicamentos recetada. Presenta un display para grabaciones de audio personalizadas, con una galería de fotos, donde la persona asistida podrá escuchar y ver a sus familiares de forma remota. Permite ver el pronóstico del tiempo en la pantalla. Provee un botón de emergencia tanto en el dispositivo principal como en una pulsera conformada únicamente por un botón, que al activarse comunica al usuario con un centro médico que provee el servicio con profesionales médicos a cargo. Usa un sistema de candado para sellar los compartimentos solo abriendo aquellos indicados en el momento de la ingesta electrónicamente. El reabastecimiento de medicamentos puede ser operado por el farmacéutico del servicio. Proporciona reportes de monitoreo de toma de medicamentos completos, pudiendo configurar el dispositivo de manera remota. Su sistema de recordatorio utiliza alarmas sonoras, luz en los compartimentos de una ingesta dada, mensaje de texto y e-mail. Opcionalmente el servicio también provee una llamada telefónica. El dispositivo cuenta con su propio módem para mantenerse conectado a internet en todo momento, está pensado para estar conectado a la pared constantemente pero tiene una duración de batería de 48hs.

Sus puntos de venta son: funcionalidades extra de entretenimiento para que la persona adulta no se sienta solitaria; facilidad de uso; gran capacidad de stock (mínimo 4 semanas para una sola ingesta por día y 1 semana para cuatro); su sistema de candado electrónico; su servicio de reabastecimiento; su servicio médico y farmacéutico; su personalización; y su módem

interno que lo mantiene conectado a internet. Cuenta con una garantía de 30 días. Su precio es de U\$D50 mensuales.



Ilustración 9: MedMinder

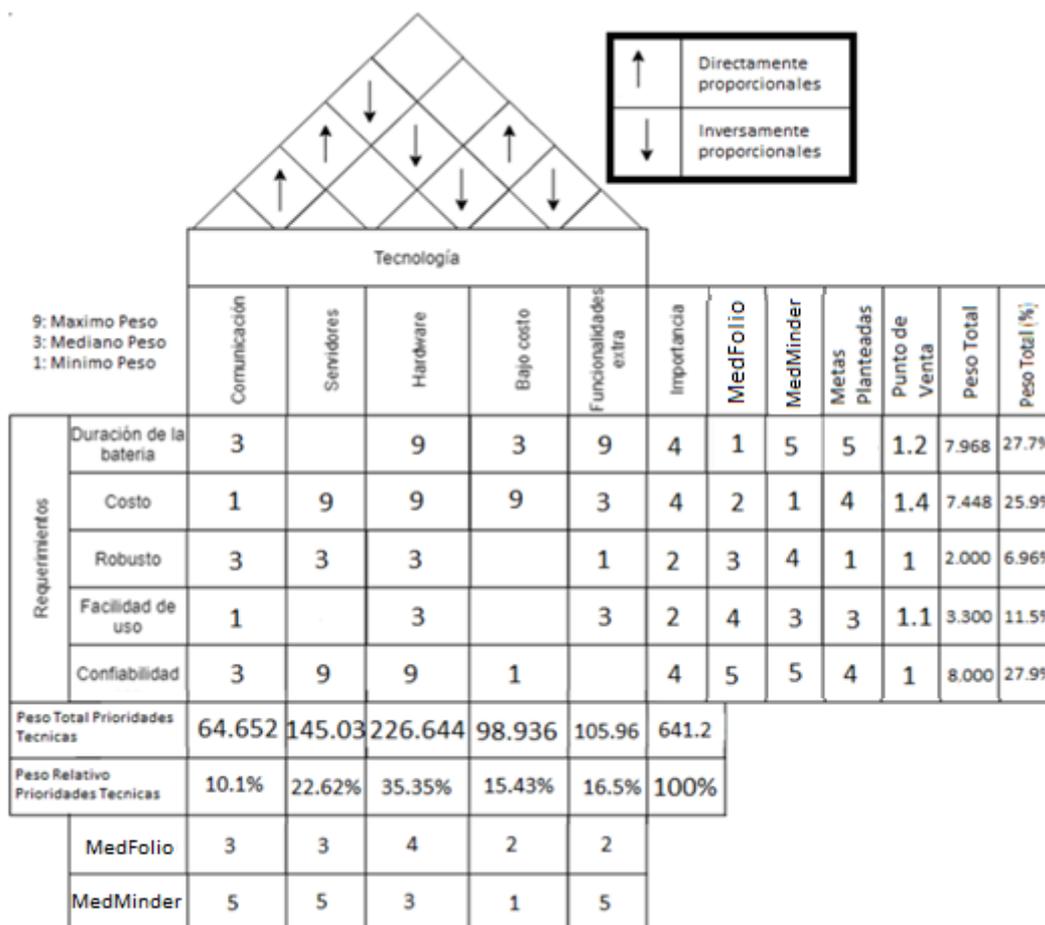


Ilustración 10: Casa de Calidad

Dado que no es posible hacer frente a la competencia desde el punto de vista de la robustez y la facilidad de uso y que la confiabilidad de la competencia está dada por servicios adheridos al producto que no son replicables para el alcance de este proyecto se prevé que el punto de venta principal y la ventaja competitiva más certera que puede lograr Smart Pills será su bajo costo

comparativo. En segundo lugar se encuentra su portabilidad, que si bien se encuentra limitada al hogar de la persona asistida al igual que sus competidores, se encontrará en todo momento en su persona. Para lograr esto es importante una duración de batería manejable que no afecte el funcionamiento diario de la persona asistida. Una duración de 24hs podrá permitir que las personas asistidas incorporen la carga de batería a sus rutinas nocturnas.

### 3.1.3. Requerimientos Finales para Trazabilidad

ID	Descripción	Origen
REQ-01	El producto deberá estar formado por una pulsera electrónica, un pastillero y una aplicación de celular.	Tácito
REQ-02	La pulsera deberá poder comunicarse a través de internet con la aplicación de celular.	Tácito
REQ-03	La pulsera deberá poder avisar el horario de consumo del medicamento con sonido.	Encuesta
REQ-04	La pulsera deberá poder indicar con luz de color el/los medicamento/s que se debe/n tomar en el horario indicado.	Encuesta
REQ-05	La pulsera deberá contar con un botón de emergencia.	Encuesta
REQ-06	El pastillero deberá tener un compartimento por cada medicamento. Cada compartimento debe tener un color que lo diferencie del resto.	Encuesta
REQ-07	El pastillero debe almacenar como mínimo 6 medicamentos distintos.	Encuesta
REQ-08	La aplicación deberá asociar un color distinto a cada medicamento.	Tácito
REQ-09	La aplicación deberá configurar el horario de ingesta de cada medicamento para que suene su la alarma en la pulsera.	Tácito
REQ-10	La aplicación deberá alarmar al usuario en caso de que la persona que tiene la pulsera presione el botón de emergencia.	Encuesta
REQ-11	El producto deberá poder operarse en todas las condiciones normales de temperatura y humedad que se pueden encontrar en el territorio argentino.	Tácito - Factibilidad económica
REQ-12	La pulsera deberá ser portable.	Tácito
REQ-13	El pastillero deberá ser portable.	Tácito
REQ-14	La batería de la pulsera deberá durar por lo menos un día.	Encuesta
REQ-15	El usuario de la pulsera deberá poder detener la alarma.	Tácito
REQ-16	El producto debe cumplir la norma IRAM 4486-3: seguridad eléctrica	Ley argentina
REQ-17	El producto debe cumplir la norma IRAM 2491: compatibilidad electromagnética.	Ley argentina
REQ-18	La pulsera deberá poder alarmar el horario de toma de medicamentos con una vibración.	Encuesta

### 3.2. Diagrama Funcional de Interfaces

A continuación se muestra el diagrama funcional de las distintas interfaces que forman el producto.

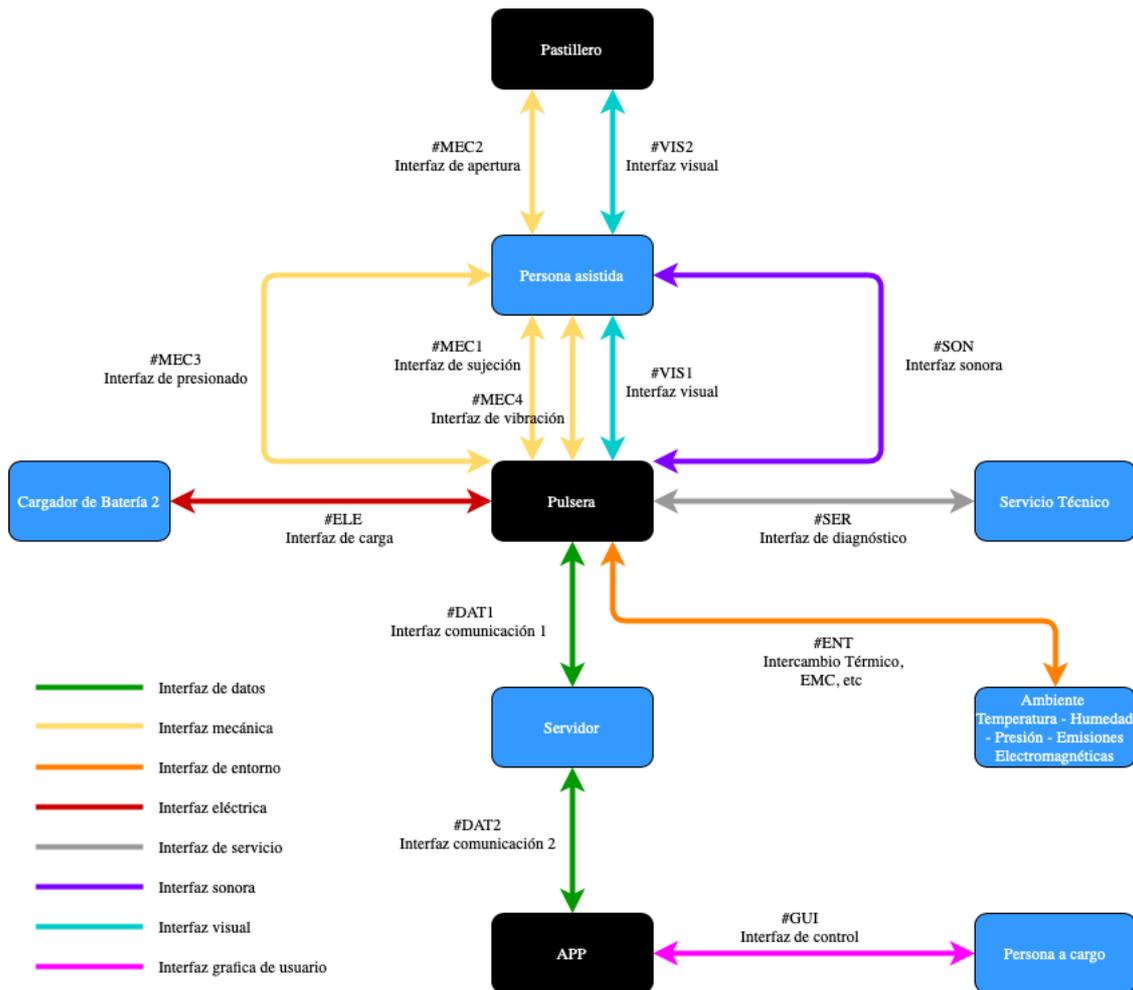


Ilustración 11: Diagrama Funcional de Interfaces

### 3.3. Especificaciones de Diseño

A continuación se detallan las distintas especificaciones de diseño, separadas según su tipo, respetando las leyendas y clasificaciones de la siguiente tabla.

Leyenda para Especificaciones	
Aplicabilidad	Validación
P: Prototipo	I: Inspección Visual
	D: Documentación de Diseño
F: Producto Final	S: Simulación
	T: Test

Tabla 2: Leyenda de uso en Especificaciones

#### 3.3.1. Especificaciones Funcionales

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-FUN-01	El producto deberá estar formado por una pulsera electrónica, un pastillero y una aplicación de celular para monitorear la pulsera.	REQ-01	P,F I,D

INT-FUN-02	La pulsera deberá alarmar con sonido a la persona cuando debe tomar medicación.	REQ-03	P,F T
INT-FUN-03	La pulsera deberá encender luz del color de la medicación que se debe tomar en el horario correspondiente.	REQ-04	P,F T
INT-FUN-04	La pulsera deberá contar con un botón de emergencia y cuando el mismo se presione deberá guardar esa información en una base de datos para que luego sea leída por la aplicación de celular.	REQ-05	P,F T
INT-FUN-05	La aplicación de celular deberá poder configurar las alarmas de la pulsera. Una vez configuradas en la aplicación de celular, la aplicación escribe esta información en la base de datos y es luego leída por la pulsera.	REQ-08 REQ-09	P,F T
INT-FUN-06	La aplicación de celular deberá poder informarle a su usuario en caso de que quien usa la pulsera haya presionado el botón de emergencia. En caso de que se presione el botón de emergencia, se envía esta información a la base de datos, que al leída por la aplicación de celular, se muestra en la pantalla del celular una notificación informándole a su usuario.	REQ-10	P,F T
INF-FUN-07	El pastillero deberá contar con 8 compartimentos de distintos colores. Cada compartimento tendrá una medicación distinta. El color indicado con luz en la pulsera corresponderá al compartimento del pastillero que contiene lo que se debe tomar en ese horario.	REQ-04 REQ-06 REQ-08	P,F I
INF-FUN-08	La pulsera deberá alarmar con vibración a la persona cuando debe tomar medicación.	REQ-18	P,F D,T

Tabla 3: Especificaciones Funcionales

### 3.3.2. Especificaciones de Interfaz

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-DAT-01	La pulsera y la aplicación deberán usar una base de datos para guardar la información de las alarmas y poder así comunicarse dicha información.	REQ-02	P,F D,T
INT-DAT-02	La aplicación deberá reportar de forma inmediata en caso de que el usuario de la pulsera presione el botón de emergencia.	REQ-02 REQ-05 REQ-10	P,F T
INT-DAT-03	La aplicación deberá poder comunicarle a la pulsera cambios en la configuración del horario correspondiente a cada medicación.	REQ-09	P,F T
INT-DAT-04	La aplicación deberá poder comunicarle a la pulsera cambios en la configuración de la alarma correspondiente a cada medicación.	REQ-08	P,F D,T

Tabla 4: Especificaciones de Interfaz DAT

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-MEC1-01	La pulsera deberá poder sujetarse correctamente a la muñeca de la persona. Su enganche debe ser de forma tal que la pulsera no se caiga. Se deberá, para esto, emplear una malla estándar de reloj.	REQ-12	P,F I
INT-MEC1-02	El tamaño de la pulsera deberá poder adaptarse a los distintos tamaños de muñecas de adultos.	REQ-12	P,F T

Tabla 5: Especificaciones de Interfaz Mecánica MEC1

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-MEC2-01	El pastillero deberá tener al menos 6 divisiones y cada una de estas debe tener una tapa que pueda ser abierta y cerrada fácilmente por el usuario y que al cerrarse quede bien cerrada para que no se caiga su contenido.	REQ-07	P,F I,T

Tabla 6: Especificaciones de Interfaz Mecánica MEC2

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-MEC3-01	La pulsera deberá tener un botón de emergencia, cuya ubicación sea de fácil acceso.	REQ-05	P,F I,T

Tabla 7: Especificaciones de Interfaz Mecánica MEC3

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-MEC4-01	La pulsera deberá vibrar en los horarios en los que se deba tomar la medicación.	REQ-18	P,F I,T

Tabla 8: Especificaciones de Interfaz Mecánica MEC4

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-VIS1-01	La pulsera deberá tener al menos tres leds RGB distintos para poder indicar al menos tres medicaciones diferentes en un mismo horario.	REQ-04	P,F I,T

Tabla 9: Especificaciones de Interfaz Visual VIS1

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-VIS2-01	Cada compartimento del pastillero deberá tener un color diferente y distinguible del resto.	REQ-06	P,F I

Tabla 10: Especificaciones de Interfaz Visual VIS2

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-SON-01	La pulsera deberá emitir sonido en los horarios en los que se deba tomar medicación.	REQ-03	P,F T

*Tabla 11: Especificaciones de Interfaz Sonora SON*

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-ELE-01	La batería de la pulsera deberá poder cargarse con un cargador USB cumpliendo con el estándar USB-IF. El tiempo de carga total no deberá superar 2 horas.	REQ-14	P,F D,T

*Tabla 12: Especificaciones de Interfaz Eléctrica ELE*

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-ENT-01	El calor disipado por la pulsera deberá ser tal que la temperatura en la carcasa sea menor a 10°C por encima de la temperatura ambiente con un máximo de 40°C, tal que no sea dañino a la piel del usuario.	REQ-12	P,F D,T

*Tabla 13: Especificaciones de Interfaz de Entorno ENT*

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
INT-GUI-01	Los usuarios de la aplicación de celular podrán programar los distintos horarios y días de ingesta de medicamentos.	REQ-09	P,F I, T
INT-GUI-02	Los usuarios de la aplicación podrán asociar cada medicamento a un color. Por lo menos debe permitir hasta 6 medicamentos distintos.	REQ-07 REQ-08	P,F I, T
INT-GUI-03	La aplicación deberá alertar en caso de que se presione el botón de emergencia en la pulsera.	REQ-10	P,F I, T

*Tabla 14: Especificaciones de Interfaz Gráfica de Usuario GUI*

### 3.3.3. Especificaciones de Performance

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
PER-01	La batería de la pulsera deberá durar por lo menos 24 horas.	REQ-14	P,F T
PER-02	La alarma sonora de la pulsera deberá utilizar sonidos de cualquier complejidad espectral con armónicos contenidos en la banda audible específicamente entre 250-1000Hz con potencia de salida entre 30-70dB.	REQ-03	P,F D,T
PER-03	La luz emitida por los LED RGB de la pulsera deberá ser mayor a 0,1 lux.	REQ-04	P,F I,D,T
PER-04	Los colores de los compartimentos para cada medicamento en el pastillero serán: amarillo, verde, cyan, azul, violeta, rosa, rojo, y naranja.	REQ-04 REQ-06 REQ-08	P,F I
PER-05	La vibración de la pulsera debe limitarse en el rango de frecuencias 100-250Hz con amplitudes comprendidas entre 0,5G-3,5GN.	REQ-17	P,F D,T

Tabla 15: Especificaciones de Performance

### 3.3.4. Especificaciones de Implementación

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-OPE-01	La pulsera y el pastillero deberán poder operar normalmente cuando la temperatura ambiente sea $-10^{\circ}\text{C} < T_{\text{AMB}} < 70^{\circ}\text{C}$	REQ-11	F D, T
IMP-OPE-02	El pulsera y el pastillero deberán poder operar normalmente cuando la humedad sea: $0\% < \text{RH} < 100\%$	REQ-11	F D, T
IMP-OPE-03	La pulsera y el pastillero deberán poder operar normalmente cuando la presión atmosférica sea: $60 \text{ kPa} < P_{\text{ATM}} < 105 \text{ kPa}$	REQ-11	F D, T
IMP-OPE-04	El producto deberá cumplir con la norma IP44.	REQ-15	P, F D, T

Tabla 16: Especificaciones de Operación

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-AYT-01	La pulsera y el pastillero no deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la temperatura ambiente sea $-30^{\circ}\text{C} < T_{\text{AMB}} < 80^{\circ}\text{C}$	REQ-11	F D, T
IMP-AYT-02	La pulsera y el pastillero no deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la humedad sea $0\% < \text{RH} < 100\%$	REQ-11	F D, T
IMP-AYT-03	El pulsera y el pastillero no deberán sufrir daños cuando, estando desenergizado, la presión atmosférica sea $60 \text{ kPa} < P_{\text{ATM}} < 105 \text{ kPa}$	REQ-11	F D, T

Tabla 17: Especificaciones de Almacenamiento y Transporte

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-EMC-01	La pulsera deberá poder operar normalmente con inmunidad al ruido electromagnético de acuerdo a la norma IEC 61000-4 / IRAM 2491-4.	REQ-17	F T

Tabla 18: Especificaciones de Compatibilidad Electromagnética

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-DIM-01	La pulsera deberá pesar menos que 250g.	REQ-12	P,F I,D,T
IMP-DIM-02	La pulsera deberá tener un tamaño limitado por las siguientes dimensiones: Largo (incluyendo ajuste) < 15cm Ancho < 5cm Alto < 3cm	REQ-12	P,F I,D,T
IMP-DIM-03	El pastillero deberá pesar menos que 500g.	REQ-13	P,F I,D,T
IMP-DIM-04	El pastillero deberá tener un tamaño limitado por las siguientes dimensiones: Largo < 20cm Ancho < 10cm Alto < 5cm	REQ-13	P,F I,D,T

Tabla 19: Especificaciones Dimensionales y de Peso

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
IMP-COS-01	El precio de venta del producto deberá ser inferior a U\$S80 (Capital Expenditure -CAPEX).	Factibilidad Económica	F D
IMP-COS-02	El costo de las partes que conforman el prototipo no deberá ser superior a U\$S150.	Factibilidad Económica	F D
IMP-COS-03	El costo total de propiedad (Total Cost of Ownership - TCO) del equipo deberá ser inferior a U\$S100.	Factibilidad Económica	F D
IMP-COS-04	El costo de operación del producto (Operating Expense -OPEX) anual deberá ser inferior a U\$S20.	Factibilidad Económica	F D

Tabla 20: Especificaciones de Costos

### 3.3.5. Especificaciones de Servicio (RAMS)

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-CON-01	El producto deberá tener un MTBF no menor a 10 años.	REQ-05	F D, T
RAM-CON-02	El producto deberá tener una vida útil no menor a 1 año.	REQ-05	F D, T

Tabla 21: Especificaciones de Confiabilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-DIS-01	El equipo deberá tener una disponibilidad no menor al 90% a lo largo del total de la vida útil.	REQ-02	F T

Tabla 22: Especificaciones de Disponibilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad Validación
RAM-MAN-01	Deberá haber una indicación visual clara cuando la pulsera está energizada.	REQ-14	P, F I
RAM-MAN-02	El software de la aplicación deberá ser accesible para técnicos calificados para realizar actualizaciones del mismo.	REQ-08 REQ-09 REQ-10	F D
RAM-MAN-03	No deberá ser posible para el usuario acceder al back-end del software de la aplicación, ni al firmware de la pulsera.	REQ-02 REQ-03 REQ-04 REQ-05 REQ-10	F T
RAM-MAN-04	El producto deberá contener la siguiente documentación: <ul style="list-style-type: none"> <li>Manual de Usuario</li> <li>Esquemáticos de circuitos</li> <li>Esquemáticos de placas</li> </ul>	REQ-01	P, F I, D

Tabla 23: Especificaciones de Mantenibilidad

<b>ID</b>	<b>Descripción</b>	<b>Origen</b>	<b>Aplicabilidad Validación</b>
RAM-SEG-01	La máxima temperatura que podrá tener la carcasa de la pulsera será de 40°C, o 10°C por encima de la temperatura ambiente, la que sea menor.	REQ-12	P, F D, S, T
RAM-SEG-02	La puesta a tierra de cada parte de la pulsera deberá ser tal que no puedan aparecer Corrientes de superficie en partes metálicas que lleven a descargas en un cuerpo humano de más de 25 mA.	REQ-12	P, F D, T
RAM-SEG-03	El contorno de la pulsera y el pastillero no deberán tener bordes filosos.	REQ-12 REQ-13	P, F I, T
RAM-SEG-04	La pulsera no debe operar con tensiones mayores a 24 V.	REQ-12	P, F D, T
RAM-SEG-05	El circuito interno de la pulsera no debe tener contacto eléctrico con la carcasa.	REQ-12	P, F D, T

*Tabla 24: Especificaciones de Seguridad*

## 4. Plan de Validación

### 4.1. Diseño de Bancos de Pruebas

#### 4.1.1. Banco de Pruebas N°1: Tensión de Batería

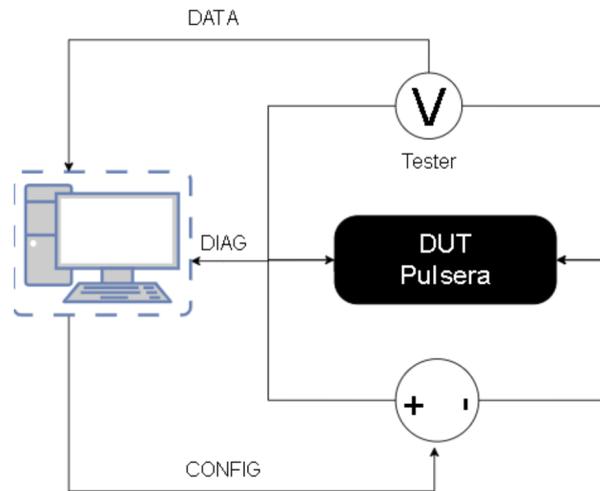


Ilustración 12: Banco de pruebas N°1

La pulsera debe contar con terminales que permitan conectar una fuente de alimentación (batería). Debe ser posible documentar la tensión de la batería en distintas etapas de su descarga.

#### 4.1.2. Banco de Pruebas N°2: Consumo de Corriente

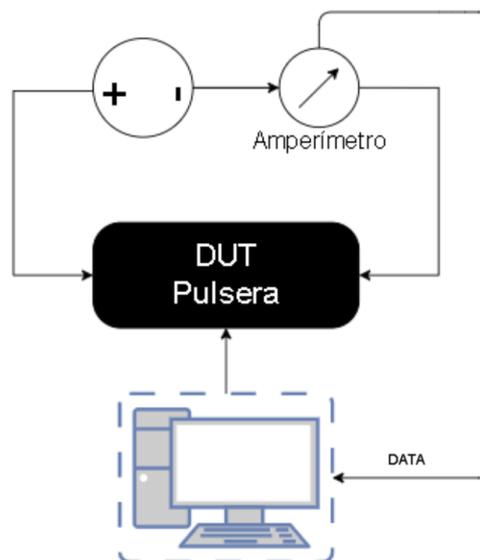


Ilustración 13: Banco de Pruebas N°2

#### 4.1.3. Banco de Pruebas N°3: Interfaz de la Pulsera

Se deben colocar pines de transmisión y recepción para comunicación serial con la finalidad de debug en pantalla de la computadora y corroborar el correcto funcionamiento de las distintas etapas del programa.

#### 4.1.4. Banco de Pruebas N°4: Funcionamiento Normal de la Pulsera

Sobre el prototipo (ensamblado para su funcionamiento normal) para las pruebas que lo requieran, se debe verificar que la batería esté completamente cargada.

#### 4.2. Especificaciones de Tests

Aspecto	ID del Test
Duración de la batería	T-PER-01
Funcionalidad de la pulsera	T-OP-01
Funcionalidad de la aplicación	T-OP-02
Comunicación	T-INT-01
Interfaz Visual	T-INT-02
Interfaz Eléctrica	T-INT-03
Interfaz Mecánica	T-INT-04
Interfaz gráfica	T-INT-05
Interfaz sonora	T-PER-02
Dimensiones	T-DIM-01

Tabla 25: Especificaciones de Test

El siguiente es el plan de verificación de las especificaciones de test:

ID del Test a verificar	Procedimiento de verificación	Criterio de Aceptación
T-PER-01	<p>Banco de Pruebas N°1</p> <p>La batería de la pulsera, habiendo sonado alarmas por lo menos seis veces, debe durar por lo menos 24hs.</p> <p>Verificar antes de iniciar la prueba que el dispositivo esté correctamente conectado, alimentado y demás aspectos de su funcionamiento. La batería debe estar cargada al máximo de su capacidad, registrando una tensión de alimentación superior a 4V al inicio del test.</p>	<p>La tensión de la batería debe superar 3.35V durante todo el test.</p> <p>Si la tensión al final del test se encuentra entre 3.35V y 3.3V, se debe repetir el test al menos 10 veces. La batería deberá superar los 3.3V al final del 100% de los test.</p>

	<p>Debe ser el último test a verificar.</p> <p>Se mide la tensión de la batería en un periodo de 24hs.</p>	
T-OP-01	<p>Deben prenderse leds rojos en caso de que se presione el botón de emergencia y el mensaje correspondiente debe ser enviado a la base de datos. En caso de sonar una alarma, debe indicarse con el/los led/s correspondiente/s, sonar el buzzer y vibrar el motor. El led central debe parpadear de color verde a modo de alerta. Una vez presionado el botón de confirmación de alarma una vez, deben frenar el vibrador y el buzzer y permanecer encendidos los colores correspondientes a las medicaciones de ese horario. La pulsera debe funcionar normalmente incluso mientras está enchufada cargándose.</p> <p>Verificar antes de iniciar la prueba que el dispositivo esté correctamente conectado, alimentado y demás aspectos de su funcionamiento. La batería debe estar cargada al máximo de su capacidad, registrando una tensión de alimentación superior a 4V al inicio del test.</p> <p>Realizar este test una vez verificado el test T-INT-01.</p> <p>Se presiona el botón de emergencia no más de una vez.</p> <p>Se configura una alarma, y se verifica su activación a la hora indicada con las alarmas activas.</p> <p>Se presiona el botón de alarma no más de dos veces. La presión del botón de alarma debe separarse en intervalos de al menos 1 minuto.</p>	<p>Las fuentes lumínicas deben verse a más de 1 metro de distancia. El color debe corresponderse claramente con uno de los compartimentos del pastillero.</p> <p>El sonido debe poder escucharse a más de 1 metro de distancia.</p> <p>Los botones deben activar su función siendo presionados por menos de 1 segundo.</p> <p>Se debe verificar los criterios en al menos dos casos. Uno con el cargador desconectado y otro para el cargador conectado.</p>
T-OP-02	<p>Se debe poder iniciar sesión con Google y mantener la información guardada. Se deben poder agregar pulseras. Se deben poder agregar y eliminar alarmas eligiendo color, día y horario. Se debe recibir notificación de botón de emergencia en el momento en el que se lo presionó. Se debe recibir confirmación de medicación tomada en caso</p>	<p>En 2. Se debe verificar la existencia de la pulsera previamente adherida a la cuenta.</p> <p>En 3. Ambas pulseras deben quedar adheridas y su</p>

	<p>de que se haya confirmado la alarma con el botón correspondiente desde la pulsera.</p> <p>Verificar antes de iniciar la prueba que el dispositivo de la pulsera esté correctamente conectado, alimentado y demás aspectos de su funcionamiento. La batería debe estar cargada al máximo de su capacidad, registrando una tensión de alimentación superior a 4V al inicio del test. La aplicación se debe correr en dos celulares con última versión de Android y batería cargada por encima del 90%.</p> <p>Realizar este test una vez verificado el test T-OP-01.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se inicia sesión utilizando una cuenta de Google en el celular A. Se adhiere una pulsera a la cuenta.</li> <li>2. Se cierra la aplicación, luego de 30 segundos se vuelve a iniciar y se inicia sesión con la misma cuenta.</li> <li>3. Se agrega otra pulsera a la cuenta.</li> <li>4. Se inicia sesión con otra cuenta en el celular B y se adhiere una de las dos pulseras a la misma.</li> <li>5. Se configura una alarma para que se active dentro de 5 minutos.</li> <li>6. Una vez activa la alarma, se presiona una vez el botón de alarma.</li> <li>7. Luego de 1 minuto, se presiona de nuevo el botón de alarma.</li> <li>8. Luego de 1 minuto, se presiona el botón de emergencia.</li> </ol>	<p>configuración accesible por separado.</p> <p>En 5. La configuración hecha en el celular B debe verificarse en la misma pulsera en el celular A.</p> <p>En 6. No debe haber notificación tras la presión del botón en ninguno de los celulares.</p> <p>En 7. Deberá saltar la notificación de consumo de medicamento en ambos celulares.</p> <p>En 8. Deberá saltar la notificación de emergencia en ambos celulares.</p>
T-INT-01	<p>Las alarmas cargadas desde la aplicación deben almacenarse en la base de datos y ser leídas por la pulsera. La información de medicación tomada o de emergencia deben ser cargadas desde la pulsera en la base de datos y ser leídas por la aplicación de celular, mostrando dicha información.</p> <p>Verificar antes de iniciar la prueba que el dispositivo de la pulsera esté correctamente conectado, alimentado y demás aspectos de su funcionamiento. La batería debe estar cargada al máximo de su capacidad,</p>	<p>En 1. se debe verificar que la información se encuentra en la base de datos con los parámetros previamente configurados.</p> <p>En 2. No debe haber ningún cambio en la base de datos.</p> <p>En 3. Debe figurar en la base de datos la ingesta del medicamento y debe verse la notificación en la aplicación.</p>

	<p>registrando una tensión de alimentación superior a 4V al inicio del test. La aplicación se debe correr en un celular con última versión de Android y batería cargada por encima del 90%.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Configurar una alarma desde el celular.</li> <li>2. Una vez iniciada la alarma en la pulsera, presionar el botón de alarma una sola vez.</li> <li>3. Luego de 1 minuto, presionar el botón de alarma una segunda vez.</li> </ol>	<p>Se debe verificar esto para al menos 6 colores posibles.</p>
T-INT-02	<p>Los colores correspondientes a las distintas alarmas/medicaciones deben poder distinguirse correctamente en los leds de la pulsera.</p> <p>Verificar antes de iniciar la prueba que el dispositivo de la pulsera esté correctamente conectado, alimentado y demás aspectos de su funcionamiento. La batería debe estar cargada al máximo de su capacidad, registrando una tensión de alimentación superior a 4V al inicio del test.</p> <p>Realizar este test una vez verificado el test T-OP-01.</p> <p>Se configuran tres alarmas para el mismo horario.</p> <p>Tras iniciada las alarmas se presiona una vez el botón de alarma.</p> <p>Se debe poder visualizar el pastillero y la pulsera a una distancia entre ellos menor a 0.5 metros.</p>	<p>Se debe poder distinguir claramente el color correspondiente a cada uno de los LED de la pulsera.</p> <p>Los tres colores deben poder unívocamente distinguirse para un solo compartimento del pastillero.</p> <p>Debe verificarse esto dos veces, en cada caso con tres colores distintos en la configuración de la pulsera.</p>
T-INT-03	<p>Banco de Pruebas N°1</p> <p>La pulsera debe poder cargarse con un cargador que cumpla con USB-IF, mediante un conector micro USB. La carga no debe superar las 6 horas.</p> <p>Verificar antes de iniciar la prueba que el dispositivo de la pulsera esté correctamente conectado, alimentado y demás aspectos de su funcionamiento. La batería debe estar descargada, registrando una tensión de alimentación inferior a 3.35V y superior a 3.3V al inicio del test. Se debe asegurar que</p>	<p>La tensión de la batería debe superar los 4V antes de que el cronometro indique un lapso de 5 horas y 55 minutos.</p> <p>De superarse las 5 horas y 55 minutos, pero superar los 4V antes de que el cronometro indique un lapso de 6 horas se deberá repetir el test al menos 10 veces, y el cronometro no deberá superar las 6 horas en el 100% de ellos.</p>

	<p>no haya alarmas configuradas para dentro de 7hs desde el comienzo del test.</p> <p>Se conecta el cargador a una red de 220V, +/- 10% 48-52Hz.</p> <p>Se conecta el conector micro-usb al puerto de la pulsera.</p> <p>Se inicia un cronometro.</p> <p>Superada la tensión de 4V en la batería o un lapso de 7 horas en el cronometro se da por finalizado el test.</p>	
T-INT-04	<p>El motor debe vibrar de forma que sea correctamente percibida por el usuario de la pulsera. La pulsera debe poder ser correctamente sujeta en la muñeca de la persona. Las tapas de los compartimentos del pastillero deben poder abrirse y cerrarse correctamente.</p> <p>Verificar antes de iniciar la prueba que el dispositivo de la pulsera esté correctamente conectado, alimentado y demás aspectos de su funcionamiento. La batería debe estar cargada al máximo de su capacidad, registrando una tensión de alimentación superior a 4V al inicio del test.</p> <p>Realizar este test una vez verificado el test T-OP-01.</p> <p>Se configura una alarma para que se active dentro de 5 minutos.</p> <p>Se ajusta la pulsera a la muñeca del sujeto de prueba.</p> <p>Luego de pasados 5 minutos desde el inicio de la alarma, se presiona el botón de alarma una vez.</p> <p>Se remueven las tapas de todos los compartimentos del pastillero.</p> <p>Se cierran todos los compartimentos del pasillero.</p>	<p>El sujeto de prueba debe poder mover su brazo sin percibir desajuste de la pulsera en su muñeca. El ajuste debe ser tal que el sujeto de prueba no perciba dolor en la misma.</p> <p>El sujeto de prueba debe poder distinguir la vibración al activarse la alarma. La cual deberá frenar una vez presionado el botón de alarma.</p> <p>Se debe abrir la tapa de los compartimentos del pastillero en menos de 5 segundos.</p> <p>Una vez cerrados, los compartimentos del pastillero deben poder orientarse suspendidos boca abajo sin que su tapa se caiga.</p>
T-INT-05	<p>La aplicación debe ser clara y el tamaño de las palabras y botones claramente legibles.</p> <p>La aplicación se debe correr en un celular con última versión de Android y batería cargada por encima del 90%.</p>	<p>El texto en todos los casos debe ser fácilmente legible.</p>

	Se debe acceder a todas las pantallas de la aplicación y ver todas las notificaciones.	
T-PER-02	<p>Se debe escuchar que suene la alarma en caso de que sea horario de tomar medicación.</p> <p>Verificar antes de iniciar la prueba que el dispositivo de la pulsera esté correctamente conectado, alimentado y demás aspectos de su funcionamiento. La batería debe estar cargada al máximo de su capacidad, registrando una tensión de alimentación superior a 4V al inicio del test.</p> <p>Se configura una alarma para dentro de 5 minutos del inicio del test.</p> <p>El sujeto de prueba no debe tener contacto visual con la pulsera y debe ubicarse a más de un metro de distancia de la misma.</p> <p>Una vez que el sujeto escucha la alarma puede presionar el botón de alarma.</p> <p>Si la alarma finaliza sin presionar el botón se termina el test.</p>	<p>El sonido debe poder escucharse a más de 1 metro de distancia.</p> <p>La alarma debe haberse finalizado por presión del botón de alarma por parte del sujeto de prueba.</p>
T-DIM-01	<p>Las dimensiones de la pulsera y del pastillero deben estar dentro del rango indicado en las especificaciones del producto.</p> <p>Se pesan la pulsera y el pastillero.</p> <p>Se miden la pulsera y el pastillero.</p>	<p>La pulsera no supera las dimensiones especificadas.</p> <p>El pastillero no supera las dimensiones especificadas.</p>

*Tabla 26: Procedimiento de Verificación de Tests*

## 5. Análisis de Factibilidad

### 5.1. Factibilidad tecnológica

#### 5.1.1. Esquema Modular

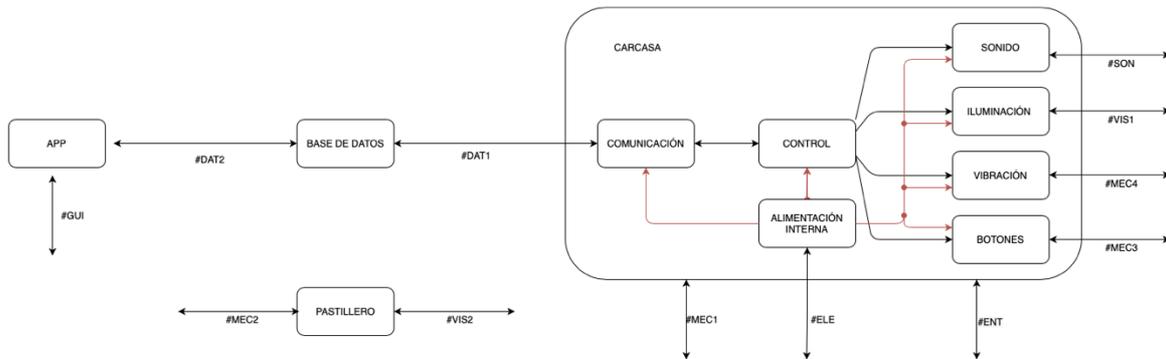


Ilustración 14: Esquema Modular

Como se muestra en el esquema anterior, se tienen los siguientes módulos:

- Iluminación
- Botones
- Vibración
- Sonido
- Comunicación
- Control
- Alimentación interna
- Base de datos
- App
- Pastillero

A continuación, se presentan distintas alternativas de diseño y las elegidas para la implementación del prototipo.

#### 5.1.2. Implementación del módulo “Iluminación”

La función de este módulo es indicar al usuario visualmente a la hora de tomar una medicación por medio de colores distinguibles y definidos.

##### 5.1.2.1. Alternativas de diseño

Dada la portabilidad de la pulsera que lleva la indicación por colores, la misma debe tener un bajo consumo y tamaño reducido. De esta manera se reducen las alternativas de diseño de iluminación a distintas tecnologías LED, cuyo desarrollo ha llevado a ofrecer opciones de bajo consumo con mejores relaciones de intensidad lumínica y consumo eléctrico manteniendo un tamaño reducido como indicadores en aparatos portables.

Las opciones buscadas deben cumplir con las especificaciones IMP-DIM-02 (que determina el tamaño de la pulsera), INT-VIS1-01 (que indica que la pulsera debe permitir al menos tres indicaciones de color a la vez) y ajustarse a PER-VIS2-04 por lo que se debe descartar el uso de LEDs monocromáticos dado que para cumplir INT-VIS1-01 considerando PER-VIS2-04 asegurar que las

dimensiones se ajusten a IMP-DIM-02, considerando que el mismo espacio lo ocuparan también las soluciones de otros módulos, agregaría una complejidad. Por lo que se limitan las alternativas a opciones dentro del ámbito de LEDs RGB. No se consideran las alternativas de LEDs RGBW o RGBA dado que estas son más costosas que LEDs RGB con características similares y estos últimos proveen la gama de colores necesaria para ajustarse a PER-VIS2-04 y cumplir con INT-VIS1-01.

Los LEDs de dimensiones pequeñas usualmente tienen un peso despreciable frente a la magnitud especificada en IMP-DIM-01 y dado que cada pulsera solo lleva 3 de estos por la especificación INT-VIS1-01 el mismo se mantiene despreciable. Considerando a su vez que la especificación de peso en componentes LEDs usualmente no se encuentra en una hoja de datos, no se considera esta dimensión en la matriz de decisión.

Otro aspecto por considerar es la intensidad lumínica mínima que deben ofrecer los LEDs RGB. Dado que se utiliza cada color puro por separado además de sus combinaciones, se busca que cada uno de ellos cumpla con la especificación PER-VIS1-03. La misma se basa en la relación de densidad lumínica y definición de color o CRI (Color Rendering Index), donde con 0.1 lux de flujo luminoso se obtiene aproximadamente un CRI de 70%. Utilizando 0.1 lux como mínimo y siendo que los LEDs usualmente especifican su intensidad lumínica en candelas o milicandelas, se utiliza una distancia aproximada de 60cm máxima, obtenida por medio de las proporciones promedio del cuerpo humano y los promedios de altura en Argentina, para obtener el valor mínimo de 83.61mcd de intensidad lumínica de los LEDs RGB para que estos sean considerados como alternativa. La ecuación utilizada es:

$$I_v(cd) = E_v(lx) \times (d(m))^2$$

Donde  $I_v$  es la intensidad luminosa lineal del LED,  $E_v$  el flujo luminoso mínimo y  $d$  la distancia promedio entre la muñeca y los ojos de un ser humano adulto en Argentina. Los LEDs RGB considerados deben superar un mínimo de 83.61 milicandelas de intensidad luminosa.

Los LEDs son alimentados por el módulo de Alimentación Interna y controlados por el módulo de Control, por lo que deben ser compatibles con estos. Se buscan LEDs cuya alimentación no supere los 5V y cuyo pin-out no sobrepase la cantidad de líneas de GPIO del controlador.

Finalmente, como el producto final es de mercado masivo, se buscan alternativas con el menor costo posible por unidad o aquellos que tengan descuentos por lotes de gran volumen. Debido a la situación de público conocimiento en el año de producción de este documento (Covid-19), se distinguen también las alternativas de mercado local e internacional, dándole mayor peso a las opciones de mercado local.

Siguiendo todas las pautas dispuestas en esta sección, se destacan cuatro alternativas de diseño disponibles en el mercado, presentadas en el siguiente cuadro comparativo:

Aspectos Comparativos	SENYA LIGHT 5050 RGB	Demasled LH5RGB	Cree Inc. CLX6E-FKC-CH1M1D1BB7C3D3	Broadcom Limited ASMB-UTF2-OE20B
Costo (\$)	110 x 10 unidades	198 x 10 unidades	30	15
Consumo	60mA/0.24W	20mA/0.06W	50mA/0.133W	50mA/0.120W
Alimentación	R:2.1V   G:3.1V   B:3.1V	R:2.1V   G:3.1V   B:3.1V	R:2V   G:2.8V   B:3V	R:2V   G:3.1V   B:3.1V
Tamaño(H,L,W)	1.5x5x5mm	5x5x5mm	2.90x3.40x3.40mm	2.60x2.80x2.70mm
Tipo de PinOut	Ánodo Común SMD   2/RGB	Cátodo Común DIP   3 Anodos   1 Cátodo	Ánodo Común SMD   2/RGB	Ánodo Común SMD   2/RGB
Intensidad Luminosa(mcd)	R:250   G:880   B:180	R:4000   G:14000   B:6000	R:533   G:1055   B:248	R:690   G:1850   B:400
Mercado Argentino	Si	Si	No	No
Imágenes				

Tabla 27: Alternativas de Diseño Módulo Iluminación

#### 5.1.2.2. Elección de una solución

Debido a las complicaciones durante la pandemia para conseguir componentes electrónicos, se priorizan componentes que se consigan en el mercado argentino: Senya Light 5050 RGB y Demasled LH5RGB. El led smd tiene menor altura, pero sus dimensiones a lo largo y a lo ancho son las mismas que para el through hole, y sería necesario agregarle un cobertor o difusor de luz para que sea visualmente prolijo en la pulsera. Para el led through hole, en cambio, no se necesita agregar un cobertor. Además, el led SMD recibe una única señal a través de la cual se controla su color, pero requiere de mayor programación y por eso se optó usar el led through hole cuya programación de colores consiste en enviarle tres valores, uno a cada pin (un valor correspondiente a la componente roja, otro correspondiente a la componente verde y otro correspondiente a la componente azul).

#### 5.1.3. Implementación del módulo “Botones”

La función de este módulo es proveer al usuario de un medio físico con el cual apagar las alarmas y dar aviso de emergencia.

##### 5.1.3.1. Alternativas de diseño

Los botones son principalmente afectados por la portabilidad de la pulsera en cuanto a sus dimensiones máximas, considerando que se debe compartir espacio con otros módulos. Este es uno de los factores más limitantes. Otro aspecto que puede llegar a limitar a raíz de la portabilidad es el peso que debe ser considerado en los casos en los que no sea despreciable. Las especificaciones a la que este módulo se ajusta son: IMP-DIM-01, IMP-DIM-02 y INT-MEC3-01; este último agrega la

consideración del color del botón. Finalmente, como el producto final es de mercado masivo, se buscan alternativas con el menor costo posible por unidad o aquellas que tengan descuentos por lotes de gran volumen. Por culpa de la situación de público conocimiento en el año de producción (pandemia por Covid-19), se distinguen también las alternativas de mercado local e internacional, dándole prioridad a las opciones de mercado local.

Primero se considera la posibilidad de usar botones armados con switch normal abierto incluido, entre ellos “pushbutton switches”, que se conectan a la placa y sobresalen de la carcasa. El volumen principal de estas alternativas en el mercado probaron ser muy costosos y en su mayoría demasiado sobredimensionados para una pulsera portable. Solo se logra destacar una de las alternativas de esta índole. La ventaja radica en la obtención de una interfaz con el usuario ya probada para su uso.

Luego se considera la posibilidad de utilizar pulsadores de menor tamaño, complementando estos con un recubrimiento de botón que sobresalga de la carcasa. Las alternativas de esta índole probaron ser más accesibles en materia de costo y dimensión. Se destacan 2 posibles candidatos en este caso con el botón de goma a utilizar.

Por último se considera la posibilidad de utilizar los pulsadores integrados a la carcasa en vez de utilizando un elemento que debe luego ajustarse a esta. Consistiría en emplear una carcasa de goma o con diseño tal que una sección de goma quede ubicada sobre el pulsador con una indicación de que allí se encuentra el pulsador. En este caso el costo del recubrimiento del pulsador quedaría absorbido por el costo de la carcasa, por lo cual es difícil obtener el costo real para compararlo con otras opciones sin considerar el precio total de la carcasa en sí. Considerado el costo, otras ventajas de esta opción provienen de que su tamaño puede adaptarse, y el color puede obtenerse del material de la matriz o pintarse como terminación al final de la misma.

Siguiendo todas las pautas dispuestas en esta sección, se destacan 4 alternativas de diseño disponibles en el mercado presentadas en el siguiente cuadro comparativo:

	Costo(\$)	Tamaño	Tipo de pines	Colores
<b>Botón Pulsador Normal Abierto Genérico</b> 	98	18x14x14mm	2 conectores de switch	Rojo
<b>Botón Pulsador UNIBOT</b> 	25	5x6x6mm	4 pines, 2 en cortocircuito	-
<b>Botón Pulsador Patagoniatec</b> 	103.81	9.5x6x6mm	4 pines, 2 en cortocircuito	-

<b>Tapón Botón De Interruptor HIPERCOM SRL</b> 	55 (por 5 unidades)	Ø22mm L=10mm	-	Varios
---	---------------------	--------------	---	--------

Tabla 28: Alternativas de Diseño Módulo Botón

### 5.1.3.2. Elección de una solución

Se opta por utilizar la alternativa del uso de un pulsador UNIBOT. Si bien el botón que va cubierto por una carcasa de goma ahorraría el gasto adicional de un cubrimiento especial para el botón, se decidió que la carcasa del prototipo sea realizada con impresora 3D, dada la facilidad de su armado para pruebas de diseño. Por lo tanto, dejan de ser una opción ese tipo de botones para el prototipo. Es por eso que se elige el botón UNIBOT.

### 5.1.4. Implementación del módulo “Vibración”

La función de este módulo es dar aviso al usuario a la hora de tomar una medicación por medio de una vibración en su muñeca.

#### 5.1.4.1. Alternativas de diseño

El módulo de vibración al igual que los módulos de botón e iluminación afectan las dimensiones máximas de la pulsera. Por este motivo, se buscan las alternativas de menor tamaño dentro del mercado priorizando aquellas alternativas que se encuentran dentro del mercado local.

En el mercado local podemos encontrar tanto el “Coin vibration motor” como el “Bar-type Vibration Motor”. Por otro lado, en el mercado internacional también se encuentran los “Encapsulated and Enclosed Vibration Motors” que tienen el mismo principio de funcionamiento que los de tipo barra, pero se encuentran encapsulados y son resistentes al agua.

Estos vibradores son esencialmente un motor “mal equilibrado”. En otras palabras, el peso que se encuentra unido al eje de rotación del motor se encuentra desequilibrado produciendo una fuerza centrífuga mientras gira. Esta fuerza desequilibrada desplaza al motor y su desplazamiento a alta velocidad hace que el motor se bambolee o vibre.

Esta vibración del motor depende de la masa del peso que se adhiere al eje ( $m$ ), la distancia de dicho peso al eje ( $r$ ) y de la velocidad que gira el motor ( $\omega = 2\pi f$ ). A continuación, vemos las formulas para obtener la frecuencia ( $f$ ) y la fuerza ( $F$ ) producidas por la vibración del motor.

$$f_{vibracion} = \frac{RPM_{motor}}{60}$$

$$F_{vibracion} = m * r * \omega^2$$

A partir de estas ecuaciones deducimos que un peso de mayor masa con un mayor desplazamiento al eje, producirá más amplitud de vibración. Además, al aumentar la velocidad de giro del motor aumenta tanto la frecuencia de vibración como la amplitud de la misma.

	Tamaño	Operating Voltage	Rated current	Rated speed	Costo	Peso	FVAN(*)	Mercado Argentino
<b>Coin Vibration Motor</b> 	Ø10mm L=2.7mm	2.7~3.3 VDC	90 mA max	10.000 rpm	U\$D 3.7	1g	1,15G	Si
<b>Encapsulated and Enclosed Vibration Motor</b> 	Ø8.8mm L=24mm	2~3.7 VDC	100mA max	14.000 rpm	U\$D 1.25	4,5g	2,6G	No
<b>Bar-type Vibration Motor</b> 	Ø4mm L=15mm	1~3 VDC	150mA max	14.000 rpm	U\$D 1	1,7g	2,6G	Si

Tabla 29: Alternativas de Diseño Módulo Vibración

(\*) Fuerza de vibración de amplitud nominal

$$(*) 1G = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

#### 5.1.4.2. Elección de una solución

La alternativa “*Encapsulated and Enclosed Vibration Motor*” queda descartada dado que no se encuentra dentro del mercado local. Por lo tanto, resta decidir entre la alternativa “*Bar Vibration Motor*” y la alternativa “*Coin Vibration Motor*”.

La opción “*Coin vibration motor*” no es la más barata ni la que mayor amplitud de vibración tiene, sin embargo, es la que menor tamaño ocupa y la más utilizada en dispositivos portables hoy en día (como por ejemplo, celulares). Por lo tanto, mientras el costo no sea un factor determinante a la hora de determinar los componentes de la pulsera, optamos por utilizar el “*Coin vibration motor*”.

#### 5.1.5. Implementación del módulo “Sonido”

La función de este módulo es dar aviso al usuario a la hora de tomar una medicación por medio de sonido. Este mismo módulo también podría ser utilizado cuando el usuario presione los botones para recibir la confirmación de que fue presionado correctamente.

#### 5.1.5.1. Alternativas de diseño

Existen dos tipos de buzzer (también llamados zumbadores): activos y pasivos. Los buzzer activos incorporan un oscilador simple por lo que únicamente es necesario suministrar corriente para que emita sonido. En contraposición, los buzzer pasivos, para generar sonido, además necesitan una señal a la frecuencia del tono. La ventaja que tienen los buzzer pasivos es que podemos variar la frecuencia del tono y generar melodías.

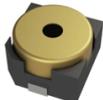
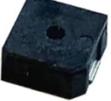
	Tamaño	Operating Voltage	Rated current	Tono	Costo	Mercado Argentino
<b>Passive Buzzer</b> 	18.5mm x 15mm	1.5 – 15 VDC	32 mA	1.5 - 2.5KHz	U\$D0.71	Si
<b>Active Buzzer</b> 	12mm x 9mm	3 – 5 VDC	30 mA	2KHz	U\$D 0.67	Si
<b>Buzzer “Electro-mechanical Transducer” TE034003-1</b> 	3.2mm x 3.2mm x 2mm	2 – 4 VDC	120mA	4KHz	U\$D 2.28	No
<b>Buzzer “Electro-mechanical Transducer” TE044003-4</b> 	4mm x 4mm x 2mm	2 – 4 VDC	90mA	4KHz	U\$D 2.24	No

Tabla 30: Alternativas de Diseño Módulo Sonido

#### 5.1.5.2. Elección de una solución

Se considera imprescindible, por cuestiones de espacio, emplear un buzzer del menor tamaño posible. Es por eso que las opciones serían los “Electro-mechanical Transducer”. Si bien no se encuentran en el mercado argentino, se pueden realizar la compra en otro país y el componente es enviado a Argentina. A pesar de que el modelo **TE034003-1** es más chico que el **TE044003-4**, se elige el **TE044003-4** porque su consumo de corriente es menor y la diferencia de tamaño es de 0.8mm, lo cual es insignificante en términos de las dimensiones del producto.

#### 5.1.6. Implementación del módulo “Comunicación”

##### 5.1.6.1. Alternativas de diseño

Dado que el funcionamiento de la pulsera se basa en IoT (Internet of Things), se evalúan distintas alternativas que hay hoy en día al respecto. Se consideran como posibilidades Wi-Fi, LoRa y Sigfox. A la hora de elegir una solución, lo que se tiene en cuenta principalmente es la cobertura que se puede tener y los costos mensuales que implicarían.

Tanto LoRa como Sigfox implican un costo mensual extra dado que hay que pagar dichos servicios. Además, si bien ambas alternativas tienen un alcance mayor que el que brinda el Wi-Fi en una casa, el mismo depende de las zonas que los proveedores de dichos servicios cubran. Actualmente todavía estos servicios abarcan zonas específicas de la ciudad de Buenos Aires y por lo tanto no serían una solución efectiva para lo que está pensada la pulsera de asistencia. Debido a esto y al costo mensual del servicio, estas alternativas quedan descartadas.

El uso de Wi-Fi para la pulsera no requiere de un costo mensual extra, considerando que los usuarios de la pulsera tienen Wi-Fi en sus casas (incluso notado en la encuesta). Sin embargo, la pulsera solo podría enviar información de confirmación de la toma de medicaciones cuando la pulsera tenga conexión a internet a través de Wi-Fi. Eso no sería un inconveniente dado que la pulsera puede, de todas formas, alarmar al usuario cuando debe tomar los medicamentos y mantener en la memoria en qué momento se confirmó que se tomó la medicación. Esta información se puede enviar a la aplicación en otro momento. No es una acción que tenga que ser inmediata. Si bien esto llama la atención para la efectividad del botón de emergencias, cabe remarcar que el funcionamiento del mismo está pensado para las situaciones en las que un adulto mayor que vive sólo tiene algún inconveniente en su casa y no tiene como avisar, por ejemplo en el caso de haberse caído y no poder levantarse. Se considera que es fundamental justamente en las situaciones en las que la persona vive sola. No está pensado para cuando la persona tiene algún inconveniente en la calle dado que habría gente que la puede ayudar, ni para cualquier otra situación. Dado que esta solución permite el correcto funcionamiento del producto y dado que tanto LoRa como Sigfox se descartan por los motivos mencionados anteriormente, se opta por emplear Wi-Fi. Para eso, se evalúan distintos módulos de Wi-Fi disponibles en el mercado en Argentina. Los precios son tomados en pesos argentinos en octubre de 2020.

	ESP-32 Wroom 	ESP8266 ESP-07 	ESP8266 ESP-12E 	ESP8266 WeMos D1 Mini 
Costo (\$)	1003	744	519	691
Antena	Incluye	Incluye	Incluye	Incluye
Microprocesador	Incluye	Incluye	Incluye	Incluye
Pines GPIO disponibles	32	9	17	11
Bootloader	Incluye	No incluye	No incluye	Incluye
Tamaño memoria flash	4MB	1MB	4MB	4MB
Tamaño	25,5 x 18mm	21,2 x 16,0mm	24,0 x 16,0mm	34,2 x 25,6mm
Protección electromagnética	Incluye	Incluye	Incluye	Incluye

Tabla 31: Alternativas de Diseño Módulo Comunicación y Control

#### 5.1.6.2. Elección de una solución

Al analizar la tabla anterior, el ESP-07 se descarta por la cantidad de pines GPIO disponibles y por el tamaño de la memoria flash. El ESP-12E se podría usar por su costo y tamaño, pero no tiene bootloader. Si bien el Wemos D1 Mini incluye bootloader, la cantidad de pines no es suficiente. Esto se puede solucionar agregando un demultiplexor, pero complejiza el diseño del circuito. A pesar de su mayor costo, se elige usar el ESP-32, porque incluye bootloader y además tiene una mayor cantidad de GPIOs, de forma que no hace falta agregar demultiplexor.

#### 5.1.7. Implementación del módulo “Alimentación Interna”

Este módulo consiste en la alimentación del circuito del proyecto. Los circuitos de la pulsera deben funcionar sin la necesidad de que esté enchufada.

##### 5.1.7.1. Alternativas de diseño

Se analizan variantes para la batería que la aplicación pueda necesitar. En particular, factores clave son eficiencia en tamaño y la duración. Otros factores son:

- La disponibilidad.
- El peso.
- El nivel de tensión, que define si se necesita usar un regulador.
- La seguridad.
- La cantidad de cargas y descargas aceptables, en el caso de baterías recargables.
- Tipo de cargador.

En este caso un requisito fundamental de la batería es que tiene que ser recargable puesto que está pensada para una pulsera que se recarga. Hay muchos tipos de baterías recargables en el mercado. No obstante, al investigar se observó que la tecnología más utilizada ultimamente para aplicaciones donde el peso y la duración son críticos y además requieren ser recargables, es la de litio polímero. Estas baterías son las que hoy en día se utilizan para los celulares y drones. El factor determinante para el tipo de batería de litio polímero está sujeto a las condiciones mecánicas de la pulsera.

### Estimación de la duración de la batería:

Asumiendo:

- Consumo en los instantes que se pide información: 500mA
- Capacidad de batería: 500 mAh
- Una consulta por hora
- Un pedido: 30 segundos

En total se pueden hacer 120 consultas. Asumiendo una consulta por hora la cota de duración es de 120 horas, que son 5 días máximo de duración, en condiciones óptimas. La duración entonces está en el orden de algunos días.

	Modelo	Costo	Tamaño	Capacidad	Datasheet
	LQ-S1	AR\$ 1149	3.1 x 2.38 x 0.48 cm	380 mAh	No encontrada
	ZH-01	AR\$ 2200	2 x 0.5 x 3 cm	380 mAh	No encontrada
	Q18	AR\$ 441	3.1 x 3.3 x 0.5 cm	500 mAh	No encontrada
	MikroElektronika MIKROE-2759	USD 7	2.35 x 2.45 x 0.42 cm	190mAh	Encontrada

Tabla 32: Alternativas de Diseño del Módulo

#### 5.1.7.2. Elección de una solución

Si bien se prefieren baterías que se vendan en el mercado argentino, se le da prioridad a la batería MIKROE-2759 ya que es la única cuya hoja de datos fue encontrada. Es fundamental poder tener la documentación de funcionamiento de la batería para poder analizar su rendimiento. Esta batería es recargable y por eso requiere de un cargador, que se agrega en el circuito de la placa.

#### 5.1.8. Implementación del módulo “Base de Datos”

##### 5.1.8.1. Alternativas de diseño

Se comparan las características de distintas bases de datos para el traspaso de información entre la aplicación de celular y el módulo de control de la pulsera. Se entiende que al ser un proyecto cuyo objetivo es tener bajo costo de entrada, analizar alternativas con mínimo costo de desarrollo que

puedan entrar rápidamente al mercado es la decisión más acertada para la etapa inicial. Se comparan las bases de datos Firebase y Parse.

Por un lado, Firebase es una plataforma desarrollada por Google. No es de código abierto pero su servicio incluye un sistema de hosting, lo cual facilita su uso. Adicionalmente, soporta actualizaciones en tiempo real, lo cual es una ventaja si se quiere tener eventos de trigger al haber un suceso generado por el cliente.

Por otro lado, Parse es una plataforma desarrollada por Facebook. Tiene la ventaja de ser de código abierto. Esto significa que tiene un mayor grado de personalización. Una desventaja es que no ofrece servicio de hosting integrado, por lo que debe ser contratado un servicio de hosting por separado.

#### 5.1.8.2. Elección de una solución

Parse tiene más flexibilidad, pero es más difícil de utilizar. Requiere tomar más decisiones por parte del diseñador. Firebase, en cambio, ofrece menos flexibilidad, pero es más auto contenida. El diseñador tiene que tomar menos decisiones. Por lo tanto se elige Firebase.

#### 5.1.9. Implementación del módulo “App”

##### 5.1.9.1. Alternativas de diseño

Se analizarán distintas variantes de tecnologías para desarrollar la aplicación de celular necesaria para el proyecto. Hay, en principio, dos plataformas en las que la aplicación debería funcionar: Android y iOS. Se busca una tecnología que permita un costo de desarrollo aceptable, una buena escalabilidad sujeto a un precio y un costo de aprendizaje que sea afrontable.

La primera alternativa es utilizar Android Studio y Xcode para desarrollar la aplicación de celular en Android y iOS respectivamente. Su ventaja es que al utilizar las herramientas nativas es posible tener flexibilidad máxima al desarrollar el software. La desventaja, no obstante, es la mayor dificultad asociada a este método debido a que requiere ser desarrollada por separado Para Android y iOS. Esto implica un mayor costo de desarrollo.

Otra opción es utilizar un framework. La ventaja es que se puede desarrollar una única vez la aplicación para Android y para iOS, lo cual implica que el costo de desarrollo sea menor. No obstante, una dificultad asociada es que suelen variar constantemente (se destacan React Native, Ionic, Flutter, entre otros) por lo que se debe realizar una decisión con mucho criterio para seleccionar un framework moderno que tenga perspectiva de existencia y que al mismo tiempo soporte la funcionalidad que la aplicación necesita.

##### 5.1.9.2. Elección de una solución

Utilizar un framework requiere de un costo de entrada menor y por eso se elige esta opción. Queda pendiente establecer qué framework conviene utilizar, puesto que hay una gran cantidad en el mercado. Se tiene como criterios buscar que sea muy utilizado.

#### 5.1.10. DFMEA

En el DFMEA (Design Failure Mode and Effect Analysis) se opta por utilizar una escala de 1 a 5 para los valores de Severidad, Detección y Ocurrencia. A continuación, se muestran las clasificaciones aproximadas, en categorías, de cada ítem:

### **Severidad**

1. Despreciable.
2. Genera una disconformidad en el usuario o limita las capacidades del producto.
3. Pone en peligro la integridad del producto.
4. Pone en peligro a la persona.
5. Pone en peligro a la persona y a la integridad del producto.

### **Ocurrencia**

1. Menor al 0.1%.
2. Entre 0.1% y 10%.
3. Entre 10% y 45%.
4. Entre 45% y 65%.
5. Mayor a 65%.

### **Detección**

1. El usuario puede identificar la falla rápidamente.
2. El usuario podría identificar la falla con un pequeño grado de experiencia técnica.
3. El usuario debe recurrir a un técnico para identificar la falla.
4. Un técnico del producto debe efectuar pruebas para identificar la falla.
5. Un técnico puede no llegar a identificar la falla luego de pruebas exhaustivas.

Luego, para el criterio de decisión, se busca evitar los casos extremos mientras se consideran los intermedios. Se opta por utilizar un índice de criticidad (Severidad x Ocurrencia) para delimitar los casos que requieren una solución que es deseable pero no imperativa. El límite del criterio se encuentra en un índice de criticidad de 12, que resulta de un peligro de integridad del producto con ocurrencia mayor al 45% y un peligro para la persona con ocurrencia mayor al 10%, para el cual se debe actuar para reducir esa criticidad. Para los casos no cubiertos por este índice, se busca aplicar una solución a los casos que superen un RPN (Risk Priority Number) de 27. Este valor resulta del caso límite en el que la integridad del producto se ve afectada más del 10% de las veces por un efecto cuya fuente solo puede detectar un técnico.

A continuación, se presenta la tabla del DFMEA.

DFMEA											Resultados de la Acción						
Item y Funcion / Requerimientos	Potencial Modo de Falla	Potencial(es) Efecto(s) de Falla	Severidad	Potencial(es) Causa(s)/ Mecanismo(s) de Falla	Ocurrencia	Controles Actuales	Detección	IC	RPN	Acción Recomendada	Responsabilidad y Fecha Target de Cumplimiento	Acción Tomada	Severidad	Ocurrencia	Detección	IC	RPN
1	Alarma sonora que indica el horario de la toma de medicación	La persona asistida no escucha la alarma.	3	El parlante puede estar defectuoso.	1	Redundancia de alarma por vibración y luz.	5	3	15	Ninguno	Ninguno	Ninguno	5	1	5	5	25
2	Alarma sonora que indica el horario de la toma de medicación	La persona asistida no escucha la alarma.	4	Puede no tener batería el dispositivo.	2	Ninguno	4	8	32	Agregar un indicador de que la pulsera se encuentra	Equipo de diseño - 13/10/2020	Se agrego la especificación.	4	2	1	8	8
3	Alarma sonora que indica el horario de la toma de medicación	La persona asistida no escucha la alarma.	3	Puede haber un error en la lógica.	2	Redundancia de alarma por vibración y luz.	5	6	30	Pendiente	Pendiente	Pendiente			0	0	0
4	Alarma sonora que indica el horario de la toma de medicación	La persona asistida no escucha la alarma.	5	Puede haber entrado líquido y que se haya producido un	2	Ninguno	2	10	20	Ninguno	Ninguno	Ninguno	5	2	2	10	20
5	Led RGB que indica qué medicamento se debe tomar	La persona asistida no ve el led encendido.	5	El led puede estar defectuoso.	1	Ninguno	1	5	5	Ninguno	Ninguno	Ninguno	5	1	1	5	5
6	Led RGB que indica qué medicamento se debe tomar	La persona asistida ve el led encendido de otro color.	5	El led puede estar defectuoso.	1	Ninguno	4	5	20	Ninguno	Ninguno	Ninguno	5	1	4	5	20
7	Led RGB que indica qué medicamento se debe tomar	La persona asistida no ve el led encendido.	4	Puede no tener batería el dispositivo.	2	Indicador claro para cuando la pulsera esta energizada.	1	8	8	Ninguno	Ninguno	Ninguno	4	2	1	8	8
8	Led RGB que indica qué medicamento se debe tomar	La persona asistida no ve el led encendido.	5	Puede haber un error en la lógica.	2	Ninguno	5	10	50	Pendiente	Pendiente	Pendiente			0	0	0
9	Led RGB que indica qué medicamento se debe tomar	La persona asistida ve el led encendido de otro color.	5	Puede haber un error en la lógica.	2	Ninguno	5	10	50	Pendiente	Pendiente	Pendiente			0	0	0
10	Led RGB que indica qué medicamento se debe tomar	La persona asistida no ve el led encendido.	5	Puede haber entrado líquido y que se haya producido un	2	Ninguno	2	10	20	Ninguno	Ninguno	Ninguno	5	2	2	10	20
11	Botón que confirma que los medicamentos fueron tomados.	En la aplicación de celular no figura que el usuario de la pulsera haya	4	La persona asistida puede no haber presionado el	3	Ninguno	5	12	60	Notificar al usuario de la aplicación tras no haberse	Pendiente	Pendiente			0	0	0
12	Botón que confirma que los medicamentos fueron tomados.	En la aplicación de celular no figura que el usuario de la pulsera haya	4	La pulsera no tiene batería.	2	Indicador claro para cuando la pulsera esta energizada.	4	8	32	Ninguno	Ninguno	Ninguno	4	2	1	8	8
13	Botón que confirma que los medicamentos fueron tomados.	En la aplicación de celular no figura que el usuario de la pulsera haya	4	La pulsera no está conectada a internet.	2	Ninguno	4	8	32	Indicador claro para cuando la pulsera esta conectada a la	L. Castrogiovanni - 1/12/2020	Pendiente			0	0	0
14	Botón que confirma que los medicamentos fueron tomados.	En la aplicación de celular no figura que el usuario de la pulsera haya	4	Puede haber un error en la lógica.	3	Ninguno	5	12	60	Pendiente	Pendiente	Pendiente			0	0	0
15	Botón que confirma que los medicamentos fueron tomados.	En la aplicación de celular no figura que el usuario de la pulsera haya	2	El celular que tiene la aplicación no está	4	Ninguno	2	8	16	Ninguno	Ninguno	Ninguno	4	4	2	8	16
16	Botón que confirma que los medicamentos fueron tomados.	En la aplicación de celular no figura que el usuario de la pulsera haya	4	El celular que tiene la aplicación no está	4	Ninguno	2	16	32	Notificar al usuario de la aplicación al perder conexión	Pendiente	Ninguno	4	4	2	16	32
17	Botón de emergencia	La aplicación de celular no avisa cuando la persona asistida tuvo una	4	El usuario de la pulsera no presionó ningún botón.	1	Ninguno	2	4	8	Ninguno	Ninguno	Ninguno	4	4	2	4	8
18	Botón de emergencia	La aplicación de celular no avisa cuando la persona asistida tuvo una	4	El usuario de la pulsera presionó otro botón.	2	Distinción clara del boton de emergencia.	2	8	16	Ninguno	Ninguno	Ninguno	4	2	2	8	16
19	Botón de emergencia	La aplicación de celular no avisa cuando la persona asistida tuvo una	4	La pulsera no tiene batería.	2	Ninguno	1	8	8	Ninguno	Ninguno	Ninguno	4	2	1	8	8
20	Botón de emergencia	La aplicación de celular no avisa cuando la persona asistida tuvo una	5	El celular que tiene la aplicación no está	4	Ninguno	2	20	40	Notificar al usuario de la aplicación que la pérdida de	Pendiente	Ninguno	5	4	2	20	40
21	Botón de emergencia	La aplicación de celular no avisa cuando la persona asistida tuvo una	5	La pulsera no está conectada a internet.	2	Ninguno	3	10	30	Indicador claro para cuando la pulsera esta conectada a la	L. Castrogiovanni - 1/12/2020	Pendiente			0	0	0
22	Botón de emergencia	La aplicación de celular no avisa cuando la persona asistida tuvo una	5	Puede haber un error en la lógica.	2	Ninguno	5	10	50	Pendiente	Pendiente	Pendiente			0	0	0

Tabla 33: DFMEA del producto.

## 5.2. Factibilidad de Tiempos

### 5.2.1. Planificación (PERT)

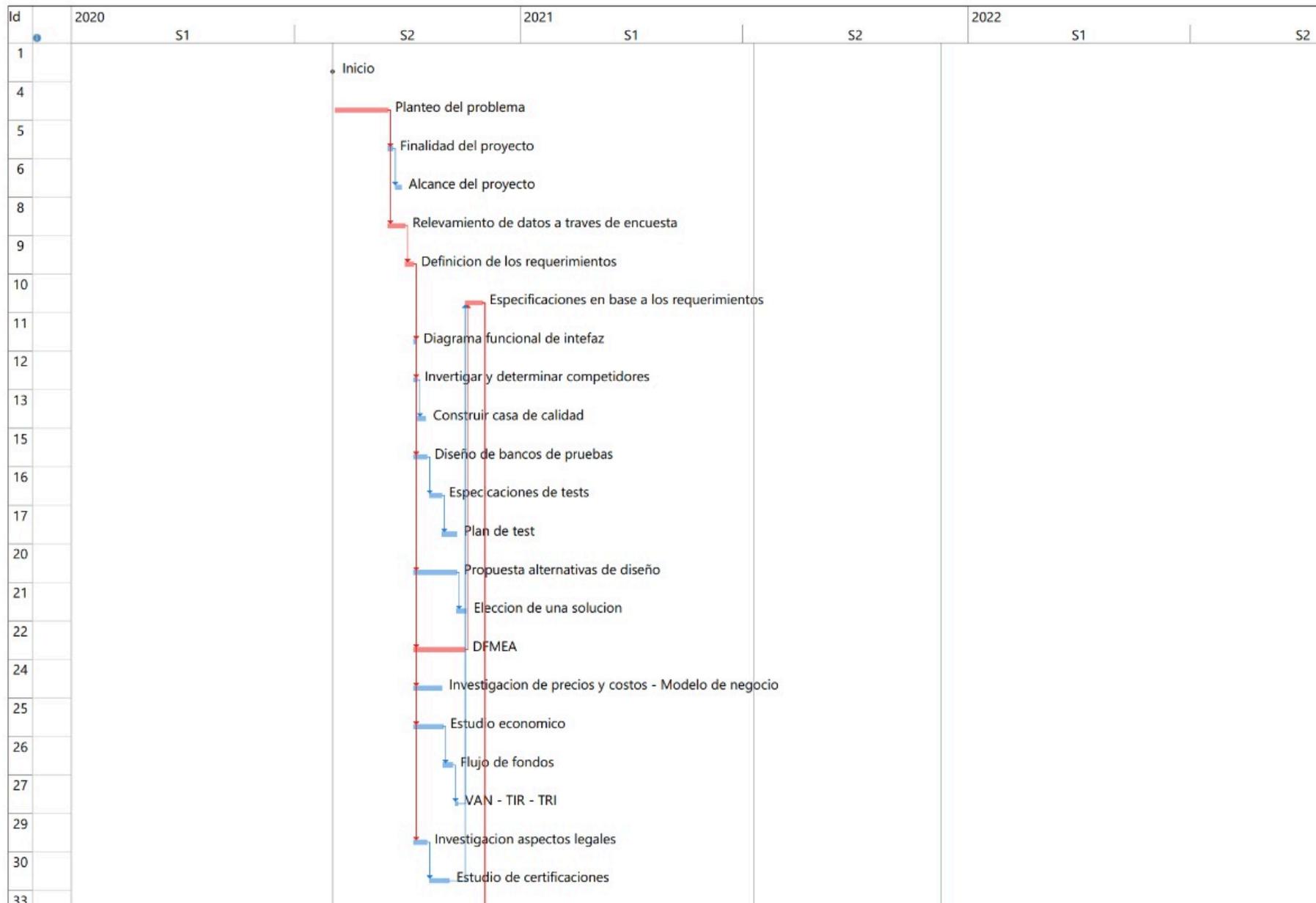
En la siguiente tabla se presentan las actividades que conllevan a la finalización del presente proyecto en 245 días (Fecha de finalización: 9/7/21). Cada actividad tiene asociada una duración, una fecha de inicio, una fecha de finalización y las tareas predecesoras a la misma. Se resaltan con letra en **negrita** aquellas actividades que pertenecen al camino crítico. Estas ultimas son tareas cuya fecha de finalización debe cumplirse para no retrasar la duración total del proyecto.

#	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Grupo
1	<b>Inicio</b>	<b>0 días</b>	<b>1/8/2020</b>	<b>1/8/2020</b>		Hito
2	<b>Pulsera Asistencia para adultos mayores</b>	<b>245 días</b>	<b>3/8/2020</b>	<b>9/7/2021</b>	<b>1</b>	Proyecto
3	<b>Planteo de objetivos</b>	<b>40 días</b>	<b>3/8/2020</b>	<b>25/9/2020</b>		Grupo
4	<b>Planteo del problema</b>	<b>31 días</b>	<b>3/8/2020</b>	<b>14/9/2020</b>		Tarea
5	Finalidad del proyecto	4 días	15/9/2020	18/9/2020	4	Tarea
6	Alcance del proyecto	5 días	21/9/2020	25/9/2020	5	Tarea
7	<b>Definición del producto</b>	<b>55 días</b>	<b>15/9/2020</b>	<b>30/11/2020</b>		Grupo
8	<b>Relevamiento de datos a través de encuesta</b>	<b>10 días</b>	<b>15/9/2020</b>	<b>28/9/2020</b>	4	Tarea
9	<b>Definición de los requerimientos</b>	<b>5 días</b>	<b>29/9/2020</b>	<b>5/10/2020</b>	8	Tarea
10	<b>Especificaciones en base a los requerimientos</b>	<b>10 días</b>	<b>17/11/2020</b>	<b>30/11/2020</b>	30;27;22	Tarea
11	Diagrama funcional de interfaz	2 días	6/10/2020	7/10/2020	9	Tarea
12	Investigar y determinar competidores	3 días	6/10/2020	8/10/2020	9	Tarea
13	Construir casa de calidad	5 días	9/10/2020	15/10/2020	12	Tarea
14	<b>Plan de validación</b>	<b>25 días</b>	<b>6/10/2020</b>	<b>9/11/2020</b>		Grupo
15	Diseño de bancos de pruebas	9 días	6/10/2020	16/10/2020	9	Tarea
16	Especificaciones de tests	8 días	19/10/2020	28/10/2020	15	Tarea
17	Plan de test	8 días	29/10/2020	9/11/2020	16	Tarea
18	<b>Factibilidad</b>	<b>31 días</b>	<b>6/10/2020</b>	<b>17/11/2020</b>		Grupo
19	<b>Tecnológica</b>	<b>31 días</b>	<b>6/10/2020</b>	<b>17/11/2020</b>		Subgrupo
20	Propuestas alternativas de diseño	25 días	6/10/2020	9/11/2020	9	Tarea
21	Elección de una solución	6 días	10/11/2020	17/11/2020	20	Tarea
22	<b>DFMEA</b>	<b>30 días</b>	<b>6/10/2020</b>	<b>16/11/2020</b>	9	Tarea
23	<b>Económica</b>	<b>26 días</b>	<b>6/10/2020</b>	<b>10/11/2020</b>		Subgrupo
24	Investigación de precios y costos - Modelo de negocio	17 días	6/10/2020	28/10/2020	9	Tarea
25	Estudio económico	18 días	6/10/2020	29/10/2020	9	Tarea
26	Flujo de fondos	6 días	30/10/2020	6/11/2020	25	Tarea
27	VAN - TIR - TRI	2 días	9/11/2020	10/11/2020	26	Tarea
28	<b>Legal</b>	<b>21 días</b>	<b>6/10/2020</b>	<b>3/11/2020</b>		Subgrupo
29	Investigación aspectos legales	9 días	6/10/2020	16/10/2020	9	Tarea
30	Estudio de certificaciones	12 días	19/10/2020	3/11/2020	29	Tarea
31	<b>Ingeniería del detalle</b>	<b>52 días</b>	<b>1/12/2020</b>	<b>10/2/2021</b>		Grupo
32	<b>Hardware</b>	<b>29 días</b>	<b>1/12/2020</b>	<b>8/1/2021</b>		Subgrupo
33	Elección de los componentes	6 días	1/12/2020	8/12/2020	10	Tarea
34	Compra de componentes	1 día	9/12/2020	9/12/2020	33	Tarea
35	Separar funcionalidades de la pulsera por bloques	2 días	9/12/2020	10/12/2020	33	Tarea
36	Plan de prueba y validación de cada modulo	4 días	11/12/2020	16/12/2020	14;35	Tarea
37	Desarrollo del firmware	22 días	10/12/2020	8/1/2021	34	Tarea
38	<b>Servidor</b>	<b>46 días</b>	<b>1/12/2020</b>	<b>2/2/2021</b>		Subgrupo
39	Elección de servicios	6 días	1/12/2020	8/12/2020	10	Tarea
40	Cálculo de bases de datos	10 días	9/12/2020	22/12/2020	39	Tarea
41	Programación de servicios	30 días	23/12/2020	2/2/2021	40	Tarea
42	<b>Software</b>	<b>52 días</b>	<b>1/12/2020</b>	<b>10/2/2021</b>		Subgrupo
43	Aprendizaje de servicios en la nube	2 días	1/12/2020	2/12/2020	10	Tarea
44	<b>Diagramas de estados</b>	<b>4 días</b>	<b>1/12/2020</b>	<b>4/12/2020</b>	10	Tarea
45	<b>Descripción de las subrutinas</b>	<b>4 días</b>	<b>7/12/2020</b>	<b>10/12/2020</b>	44	Tarea

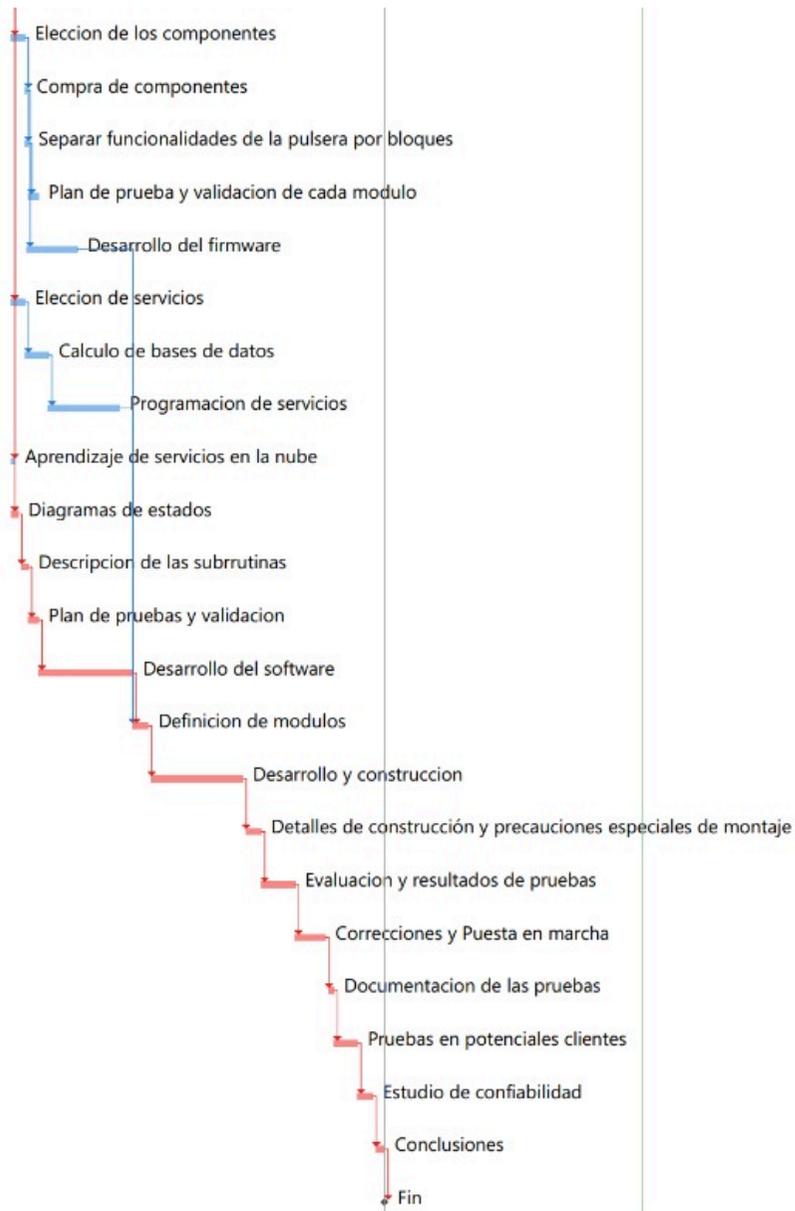
46	Plan de pruebas y validación	4 días	11/12/2020	16/12/2020	45	Tarea
47	Desarrollo del software	40 días	17/12/2020	10/2/2021	46	Tarea
48	Prototipo	54 días	11/2/2021	27/4/2021		Grupo
49	Definición de módulos	7 días	11/2/2021	19/2/2021	47;37;41	Tarea
50	Desarrollo y construcción	40 días	22/2/2021	16/4/2021	49	Tarea
51	Detalles de construcción y precauciones especiales de montaje	7 días	19/4/2021	27/4/2021	50	Tarea
52	Validación del Prototipo	41 días	28/4/2021	23/6/2021		Grupo
53	Evaluación y resultados de pruebas	14 días	28/4/2021	17/5/2021	14;51	Tarea
54	Correcciones y Puesta en marcha	14 días	18/5/2021	4/6/2021	53	Tarea
55	Documentación de las pruebas	3 días	7/6/2021	9/6/2021	54	Tarea
56	Pruebas en potenciales clientes	10 días	10/6/2021	23/6/2021	55	Tarea
57	Estudio de confiabilidad	7 días	24/6/2021	2/7/2021	56	Grupo
58	Conclusiones	5 días	5/7/2021	9/7/2021	57	Grupo
59	Fin	0 días	9/7/2021	9/7/2021	58	Hito

Tabla 34: Planificación de Tareas

## 5.2.2. Programación (GANTT)



33  
34  
35  
36  
37  
39  
40  
41  
43  
44  
45  
46  
47  
49  
50  
51  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59



En el diagrama anterior, en rojo se muestran las tareas críticas del proyecto.

### 5.3. Factibilidad Económica

#### 5.3.1. Mercado

A partir de datos del último censo en Argentina (realizado en el año 2010) y a partir de los resultados obtenidos en las encuestas, se logra confeccionar el Mercado total disponible (TAM), el Mercado que se puede servir (SAM) y el Mercado que se puede conseguir hoy en día (SOM). Se utiliza una metodología “top down”, donde se comienza por el TAM, luego el SAM y por último el SOM.

Se considera ingreso medio por cliente al año: U\$D 65. Este valor es tomado de las fuentes primarias: encuesta, cuyos resultados se encuentran en el Anexo. El 65,6% de los encuestados están dispuestos a pagar AR\$ 10.000 o más, que tomando AR\$ 1 = U\$D 180, resulta en un valor de U\$D 55,5. El 40% de los encuestados está dispuesto a pagar más de AR\$ 15.000, resultando en U\$D 83,3. Se decide considerar un valor de venta del producto de U\$D 65, satisfaciendo aproximadamente al 50% de los encuestados.

TAM:

<b>En toda la Argentina</b>	
Cantidad de personas adultas mayores (65 años o más)	4.104.648
% de personas adultas mayores que toman medicaciones	83,1 %
Cantidad de personas adultas mayores que toman medicaciones en el país	3.410.962
Ingreso medio por cliente al año	U\$D 65,00
Tamaño de Mercado (Market Size)	U\$D 221.712.561

*Ilustración 15: TAM*

Se empieza por la cantidad total de personas adultas mayores a 65 años que viven en todo el país. De ese total, se deja de lado un **17%** de la población ya que las fuentes primarias de información descubren que **el 83,1%** de las personas adultas mayores toman medicación. Por último, se multiplica la cantidad de personas adultas mayores que toman medicaciones por el ingreso medio por cliente, llegando a un total de U\$D 221.712.561.

SAM:

<b>CABA, Buenos Aires y Córdoba</b>	
Cantidad de personas adultas mayores que toman medicaciones en el país	3.410.962
% de la población que vive en CABA, Buenos Aires y Córdoba	61,3 %
Personas adultas mayores que viven en CABA, Buenos Aires y Córdoba y que toman medicaciones	2.089.836
Ingreso medio por cliente al año	U\$D 65,00
Tamaño de Mercado (Market Size)	U\$D 135.839.340

*Ilustración 16: SAM*

Se elige la zona de CABA, Buenos Aires y Córdoba debido a que esta zona es la de posible crecimiento del emprendimiento en el mediano y largo plazo, cuando hayan puntos de venta. Se multiplica por el ingreso medio por cliente, logrando un tamaño de mercado de U\$D 135.839.340.

SOM:

<b>AMBA</b>	
Cantidad de personas adultas mayores que toman medicaciones en el país	3.410.962
% de la población que vive en AMBA	31,92%
Cantidad de personas adultas mayores que toman medicaciones en AMBA	1.088.779
Partición de mercado	20%
Subtotal con partición de mercado	217.756
Ingreso medio por cliente al año	U\$D 65
<b>Tamaño de mercado (Market Size)</b>	<b>U\$D 14.154.140</b>

Ilustración 17: SOM

Finalmente se reduce a la cantidad de personas mayores que viven en AMBA y que toman medicación. Se toma un 1% de participación de mercado debido a la disponibilidad del emprendimiento (cantidad de personal contratado inicialmente y costo de emprendimiento). Se llega a un mercado total de U\$D 14.154.140. El primer lanzamiento requiere entonces 218.000 unidades. Es importante remarcar que se trata de un producto de consumo masivo.

Ventas proyectadas en los primeros cuatro años (en función del mes)

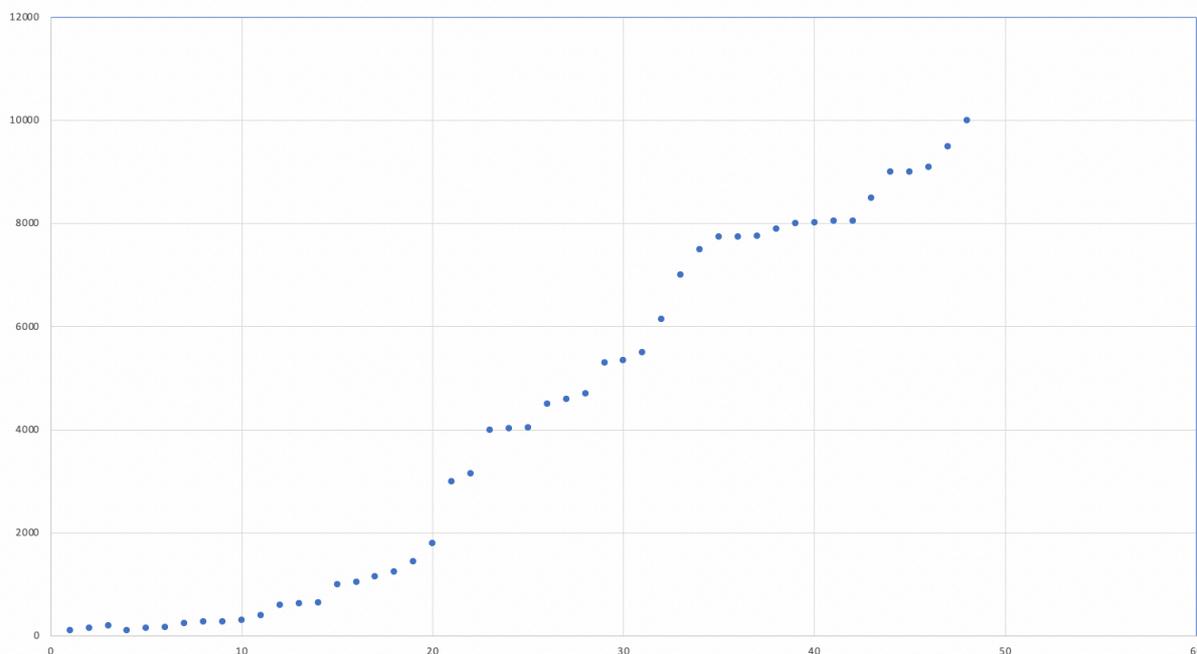


Gráfico 2: Cantidad de Ventas Estimadas por Mes, a lo Largo de Cuatro Años

La producción de esta cantidad se da gradualmente a lo largo de los cuatro años. Se planifica fabricar 11.000 en el momento inicial, 5.000 al tercer mes y luego de a tandas de 10.000 unidades.

### 5.3.2. Modelo de Negocios

Si bien se trata de un producto que hace uso de la base de datos para el traspaso de información entre la pulsera y la aplicación de celular, se le cobra al cliente una única vez: en el momento de adquisición del producto. El valor de venta es de U\$D 65. Es decir, no cuenta con suscripciones mensuales.

La venta de los productos será en un principio online con entrega a domicilio. Más adelante, se planifica abrir sucursales que funcionen como puntos de venta del producto. Cuenta con un servicio de atención al cliente en caso de tener consultas acerca del funcionamiento. Cuenta también con servicio técnico en caso de que el dispositivo tenga algún error en el funcionamiento.

Inicialmente, desde un usuario de una aplicación de celular se pueden controlar varias pulseras y cada pulsera puede ser configurada y controlada desde varias aplicaciones de celular. La primera versión de la aplicación de celular recibe notificación tanto si se tomó una medicación como si se presiona el botón de emergencia.

#### 5.3.2.1. Estrategia de Crecimiento

Se planifican dos estrategias de crecimiento:

- Crecimiento por alianzas: Se planifica asociarse con obras sociales, institutos médicos o geriátricos, donde se le aconseje a familiares de pacientes usar el producto Smart Pills, e incluso en geriátricos usarse para llevar un buen seguimiento de la toma de medicaciones de los distintos huéspedes.
- Crecimiento por tipo de segmento: El producto está inicialmente orientado a que los usuarios de la pulsera sean personas adultas mayores que toman medicaciones. La aplicación de celular actualmente cuenta con características de diseño pensando en estas personas. Sin embargo, se planea adaptar el diseño para alcanzar a otras personas que también tomen medicaciones pero que no necesariamente sean personas adultas mayores, lo cual ampliaría la cantidad de personas a las que se podría llegar.

Además, se planifica ir agregando funcionalidades de la aplicación de celular, que deban pagarse en caso de querer tenerlas:

- La posibilidad de que quede guardado el horario en el que realmente se tomó cada medicación.
- La posibilidad de poder habilitar o deshabilitar la notificación de medicación tomada.
- Otras futuras funcionalidades.

### 5.3.3. Costos

La fabricación de las placas y el soldado de componentes se realizará a través de JLCPCB, empresa fabricante y de ensamblado de PCBs, ubicada en China. Se planea tener instrumentos de medición y herramientas necesarias para validar el diseño, hacer pruebas sobre las placas una vez que se reciben y hacerles arreglos en caso de ser necesario.

### 5.3.3.1. Costos de Inversión

Los costos mas relevantes de inversión son los dedicados a los ingenieros que realizan el diseño del primer prototipo a lo largo de un año. También se destaca el costo de la construcción de los primeros prototipos (considerando los materiales y componentes necesarios, la fabricación de PCBs e impresión de carcasas).

Detalle	Costo por unidad (U\$D)	Cantidad de unidades	Costo total (U\$D)	Tiempo en el que se amortiza (años)	Valor de rezago fiscal	Amortización trimestral (U\$D)
Un año de trabajo de diseño de ingeniería del producto (Un ingeniero durante un año)	24000,00	4,00	96000,00	0,00	0,00	0,00
Construcción de prototipo (PCB + herramientas e instrumentos necesarios para pruebas)	350,00	1,00	350,00	0,00	0,00	0,00
Mesa de trabajo	140,00	3,00	420,00	10,00	84,00	8,40
Soldador	12,00	4,00	48,00	10,00	0,00	1,20
Tester	12,00	4,00	48,00	10,00	0,00	1,20
Osciloscopio	293,00	2,00	586,00	10,00	0,00	14,65
Fuente	77,00	2,00	154,00	10,00	0,00	3,85
Diseño página web	200,00	1,00	200,00	0,00	0,00	0,00
Campaña de marketing	300,00	1,00	300,00	0,00	0,00	0,00
Estanterías para almacenamiento	38,00	4,00	152,00	10,00	30,40	3,04
Telefono	25,00	1,00	25,00	2,00	2,50	2,81
EPP's	100,00	6,00	600,00	5,00	20,00	29,00
Pinza	4,00	4,00	16,00	10,00	1,60	0,36
Alicate	3,00	4,00	12,00	10,00	1,20	0,27
Botiquín primeros auxilios	20,00	1,00	20,00	0,00	0,00	0,00
Matafuegos	31,00	2,00	62,00	1,00	0,00	0,00
TOTAL (INVERSIÓN BU)			98.693,00	AMORTIZACION TRIMESTRAL TOTAL (U\$D)		64,78

Tabla 35: Costos de Inversión

### 5.3.3.2. Costos Fijos

En cuanto al personal contratado, se planea tener durante los primeros dos años a cuatro ingenieros para encargarse del diseño y de modificaciones del mismo para versiones futuras, dos técnicos para realizar pruebas de funcionamiento de las placas antes de ser entregadas a los clientes, una persona encargada de la parte administrativa y tres personas para el área de atención al cliente. Si a lo largo de los dos primeros años la cantidad de ventas se aproxima a la cantidad estimada, se planifica contratar más personal.

Detalle	Costo trimestral por unidad(U\$D)	Cantidad de unidades	Costo total (U\$D)
Alquiler del lugar de trabajo	600,00	1,00	600,00
Sueldo administrativo	900,00	1,00	900,00
Sueldo técnico electrónico	900,00	2,00	1800,00
Sueldo atención al cliente	450,00	3,00	1350,00
Electricidad	25,00	1,00	25,00
Conexión a internet	50,00	1,00	50,00
Servicios web	20,00	1,00	20,00
Agua	15,00	1,00	15,00
Transporte empleado	120,00	11,00	1320,00
Comida empleado	5,00	11,00	55,00
Tasas municipales	20,00	1,00	20,00
ABL	30,00	1,00	30,00
<b>TOTAL (CF)</b>			<b>6710,00</b>

Tabla 36: Costos Fijos Trimestrales

### 5.3.3.3. Costos Variables

Detalle	Costo por unidad(U\$D)	Cantidad de unidades	Costo total (U\$D)
Led	0,06	3,00	0,18
Vibrador	3,70	1,00	3,70
Buzzer	0,67	1,00	0,67
Pulsador	0,15	2,00	0,30
Batería	11,17	1,00	11,17
Cargador de batería	1,00	1,00	1,00
Carcasa	0,90	1,00	0,90
Malla de la pulsera	0,80	1,00	0,80
Esp8266	4,50	1,00	4,50

PCB	8,00	1,00	8,00
Otros componentes (res, caps, etc, TBD)	0,50	1,00	0,50
Empaque primario	1,00	1,00	1,00
Estaño	0,01	1,00	0,01
Servicio de base de datos	0,01	1,00	0,01
Cables (por metro)	0,02		0,00
Pastillero	2,80	1,00	2,80
Envío por unidad	3,00	1,00	3,00
<b>Total (CV)</b>			<b>37,14</b>

Tabla 37: Costos Variables por Unidad de Producto Final

### 5.3.4. Flujo de Fondos

Trimestre	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Precio por unidad vendida (USD)	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Cantidad estimada de ventas	0	400	437,5	800	1300	2275	3450	6250	11175	13140	22350	18650	23000	23660	24130	26510	28600
Ventas (USD)	0	26000	28437,5	52000	84500	147875	224250	406250	726375	854100	1452750	1212250	1495000	1537900	1568450	1723150	1859000

#### CUADRO DE RESULTADOS

Trimestre	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00
Ventas	0,00	26000,00	28437,50	52000,00	84500,00	147875,00	224250,00	406250,00	726375,00	854100,00	1452750,00	1212250,00	1495000,00	1537900,00	1568450,00	1723150,00	1859000,00
(CV)	0,00	-14856,00	-16248,75	-29712,00	-48282,00	-84493,50	-128133,00	-232125,00	-415039,50	-488019,60	-830079,00	-692661,00	-854220,00	-878732,40	-896188,20	-984581,40	-1062204,00
(CF)	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00	-6710,00
(A)	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78	-64,78
UAIG	-674,78	4369,22	5413,97	15513,22	29443,22	56606,72	89342,22	167350,22	304560,72	359305,62	615896,22	512814,22	634005,22	652392,82	665487,02	731793,82	790021,22
(IG) [35%]	2371,17	-1529,23	-1894,89	-5429,63	-10305,13	-19812,35	-31269,78	-58572,58	-106396,25	-125756,97	-215563,68	-179484,98	-221901,83	-228337,49	-232920,46	-256127,84	-276507,43
Uneta	-4403,61	2839,99	3519,08	10083,59	19138,09	36794,37	58072,44	108777,64	197964,47	233548,65	400332,54	333329,24	412103,39	424055,33	432566,56	475665,98	513513,79

#### CALCULO DE FLUJOS DE FONDOS

Trimestre	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00
FEE (cálculo ascendente)	-4338,83	2904,77	3583,86	10148,37	19202,87	36859,15	58137,22	108842,42	198029,25	233613,43	400397,32	333394,02	412168,17	424120,11	432631,34	475730,76	513578,57

#### CUADRO PARA FEE cap de BU

Trimestre	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	
VM																	19531,30	
(VL)																	-97656,48	
UAIG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-78125,18	
(IG)																		27343,81
Uneta																		-50781,37
FEE_BU (cálculo ascendente)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46875,11	

#### CUADRO PARA FEK:

Trimestre	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00
VM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7895,44
(VL)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-9869,3
UAIG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1973,86
(IG)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	690,861
UN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1285,01
FEE_KI (cálculo ascendente)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8586,29
EPN	-4338,83	2904,77	3583,86	10148,37	19202,87	36859,15	58137,22	108842,42	198029,25	233613,43	400397,32	333394,02	412168,17	424120,11	432631,34	475730,76	569039,98

Tabla 38: Análisis Económico

### 5.3.5. Evaluación del Proyecto

Finalmente, se analiza la viabilidad del proyecto mediante el VAN y la TIR.

#### 5.3.5.1. VAN y TIR

Se obtiene un valor de VAN de 106464,38. Al ser mayor a cero, se puede decir que el proyecto es viable y por lo tanto se acepta la propuesta y se decide seguir adelante con el mismo. Se obtiene una TIR de 40,53%. Esto significa que nuestro proyecto nos va a retornar el 40,53% de la inversión por trimestre, confirmando nuevamente la viabilidad de nuestro proyecto en los aspectos económicos.

## 5.4. Factibilidad Legal y Responsabilidad Civil (Regulaciones y Licencias)

### 5.4.1. Responsabilidad Civil

En el ámbito de derecho, la responsabilidad civil refiere a quien paga las reparaciones de los daños causados por una injuria. Para hacer salvedades de esto en caso de un accidente relacionado con el producto, sería necesario tomar precauciones, como advertencias de que el producto no supe el rol de un profesional médico o enfermero. Sin embargo, en este caso la responsabilidad civil refiere a la responsabilidad de los socios para con la empresa o proyecto.

Al encarar una empresa o proyecto económico se asumen riesgos de esta misma índole que pueden conllevar ante una quiebra al resarcimiento de las deudas incurridas, y en caso de no limitar responsabilidades, los receptores de esas deudas podrán acceder a los bienes o fuente económica personales de los dueños de la empresa o líderes del proyecto. Para limitar dicho riesgo y fomentar el impulso económico, la inversión y los proyectos se encuentran a disposición organismos legales que permiten la conformación de personas jurídicas que limitan la responsabilidad económica de sus integrantes a ella misma. La mayoría de estas, también conocidas como sociedades, tienen como fuente la ley de sociedades en el caso de Argentina, pero no se limitan a ella. Estas limitaciones no se extienden a nichos de responsabilidad por actos ilícitos como fraude, evasión de impuestos, etc.

Los distintos tipos de sociedades conllevan distintas limitaciones, requisitos de índole legal, económica y de tiempos e implican procesos y operación distinta. Muchos de estos se relacionan íntimamente con el modelo de negocios que lleve a cabo el proyecto, particularmente de su fuente de financiamiento. Para poder elegir de la mejor manera posible cuál de ellas es óptima para la factibilidad del proyecto, se consultó a un abogado, profesor en materia de sociedades en la UBA.

Las opciones posibles de limitación de responsabilidades son la Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL), la Sociedad Anónima (SA), ambas definidas en la ley de sociedades, y por último la Sociedad de Acciones Simplificadas (SAS) definida el año 2019 en la ley de emprendedores. Según el asesoramiento, la opción que más se adecua a las disposiciones y requisitos de la factibilidad del proyecto es la SAS, que presenta las limitaciones más robustas de una SRL con la libertad económica de los aranceles por acción de una SA, permitiendo la atracción a inversores que podrán adherirse sin necesidad de llevar a cabo los procesos rígidos de una SRL, pero conservando la rigidez del cuerpo principal de socios de esta. Es también particularmente atractiva desde el punto de vista impositivo, dado que la formación de una SAS bajo el marco de la ley de emprendedores brinda beneficios impositivos a los inversores que hacen del negocio particularmente atractivo, facilitando la financiación de este. Finalmente brinda mayor libertad del punto de vista operativo y conlleva requisitos de formación mucho menores que las otras dos opciones disponibles, requiriendo solo 4 veces el salario mínimo vital y móvil para ese propósito, evitando la necesidad de buscar inversores previos a la formación de la sociedad.

### 5.4.2. Regulaciones

#### 5.4.2.1. Seguridad Eléctrica

La Norma 4486 es la norma aplicable a pilas primarias, en particular la 4486-3 para pilas de relojes de pulsera. Da las especificaciones que deben seguir las baterías de relojes pulsera bajo la reglamentación de IEC 60086-3:2004. Las pilas utilizadas en la pulsera deberán estar ajustadas a la norma.

#### 5.4.2.2. Compatibilidad Electromagnética

La norma técnica 2491 de la IRAM define a la Compatibilidad Electromagnética (EMC) como la aptitud de un aparato o un sistema para funcionar en forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo lo que se encuentra en su entorno, y a la vez funcionar de forma satisfactoria bajo perturbaciones electromagnéticas provenientes de un entorno electromagnético. La norma 2491 de la IRAM se adecúa a la IEC 61000-4.

La pulsera siendo la única parte del producto que emite y puede ser afectado por emisiones electromagnéticas deberá adecuarse a las normas definidas en la 2491 de la IRAM. Dado que es una aplicación de baja tensión de alimentación, si la batería utilizada se adecúa a esta norma, la única fuente de EMI considerable será la antena de Wi-Fi, y si la misma se adecúa también a la norma, la misma se limita en el resto del producto a la inmunidad frente a emisiones externas.

Es así que la norma se delimita a 4 áreas de interés:

- IEC 61000-4-2: inmunidad a cargas electrostáticas.
- IEC 61000-4-3: Immunity to conducted disturbances induced by radio-frequency fields.
- IEC 61000-4-6: inmunidad a transmisiones RF en 150k-80MHz.
- IEC 61000-4-8: inmunidad a emisiones a 50Hz.

La pulsera debe adecuarse a las mismas.

#### 5.4.2.3. Privacidad

Dado el uso de una base de datos para albergar información que podría llegar a ser de carácter de datos sensibles según la ley 25.326, se deben tomar recaudos particulares sobre la manipulación de los mismos, lo cual implica, pero no se limita a:

- La pulsera jamás deberá tratar ni almacenar información que no sea un color que se asocie a un valor que represente un horario. No deberá dar ningún tipo de indicio de que implican estos colores u horarios de alarma ni potencialmente asociar quienes son sus usuarios.
- Siguiendo lo anterior ninguna señal de emergencia deberá indicar quien tiene dicha emergencia más allá de la pulsera que está asociada a la aplicación correspondiente y su almacenamiento a modo de historial o reporte debe ser almacenado de forma separada a la base de datos de compra de tal manera de no poder asociarse los datos.
- La aplicación de celular no deberá tener ninguna forma de acceder a los datos de compra de la pulsera ni requerir los datos personales de sus usuarios. Su única relación con los mismos será la GUI en el celular y la asociación con la pulsera por capa 2 de comunicación. La información utilizada por la pulsera no deberá almacenarse en el dispositivo, requiriendo por ende una conexión con la base de datos activa donde se podrán guardar los nombres de los medicamentos y los colores asociados a los mismos, siempre que esta esté encriptada. A lo sumo podrán almacenarse los horarios y los colores, pero no los nombres que le dé a los mismos el usuario.
- La base de datos que alberga los datos de compra y por ende datos personales que se asocien a una pulsera en particular, además de ser encriptada, deberá estar completamente separada de la base de datos que almacene información que pueda acceder la aplicación y de la cual

dependa la pulsera de tal manera de que no se puedan relacionar ambas a partir de la asociación de la aplicación con la pulsera en particular.

- En ningún momento se deberán utilizar en conjunto los datos personales de un comprador con la información albergada en la base de datos de la pulsera del mismo, de tal manera de que los datos albergados en esta no cobren el carácter de sensibles.
- El usuario deberá poder borrar por completo la información ingresada en la base de datos.

#### 5.4.2.4. Ingress Protection

La norma IRAM 2444 define el código IK derivado de la designación IPXX utilizada para determinar el nivel de protección de ingreso de líquidos y polvo para una determinada carcasa o recubrimiento de un aparato. La misma delinea los tests requeridos para adquirir la certificación de una determinada designación IP. Esto es requerido por cualquier designación deseada exceptuando únicamente IP00 que no conlleva ninguna protección. Si se considera que la carcasa debe tener un código diferente más restrictivo se deberá aplicar los tests adecuados para determinar que se cumpla o si la misma puede tener una designación mayor sin requerirla por especificación es factible adquirir designaciones hasta IP42 con una carga de tests muy baja.

#### 5.4.3. Licencias

##### 5.4.3.1. Seguridad Eléctrica

La primera licencia que afecta a la mayor cantidad de dispositivos electrónicos es la emitida por la Secretaria de Comercio basada en la Resolución 169/2018 modificada por la Resolución 836/2019. En el Artículo 2° de la misma se indica el Ámbito de Aplicación de la resolución que requiere que los dispositivos obtengan una certificación de seguridad eléctrica:

*“ARTÍCULO 2º.- Ámbito de aplicación. La presente medida se aplicará:*

*a) Al equipamiento eléctrico a utilizarse con una tensión nominal de entrada, para material consumidor, y/o de salida, para material generador entre CINCUENTA VOLT (50 V) y MIL VOLT (1.000 V) en corriente alterna, y entre SETENTA Y CINCO VOLT (75 V) y MIL QUINIENOS VOLT (1.500 V) en corriente continua.*

*b) A los siguientes productos que operen con tensiones de entrada y/o salida diferente a las establecidas en el inciso a): (i) lámparas dicróicas o bi-pin, a excepción de las de tecnología LED;(ii) los portalámparas para las lámparas alcanzadas en el punto (i); y (iii) electrificadores de cercas.*

*c) A las fuentes, cargadores y transformadores que operen con las tensiones de entrada y/o salida previstas en el inciso a), y de los productos mencionados en el inciso b) del presente artículo.*

*Esta resolución no se aplicará al equipamiento eléctrico, ni a las fuentes, cargadores y transformadores a utilizarse con una tensión no comprendida en el inciso a) de este artículo, con excepción de los productos mencionados en los puntos (i), (ii) y (iii) del inciso b), ni al detallado en el Anexo I que, como IF-2018-09913486-APN-DNCI#MP, forma parte integrante de la presente medida.”*

Dado que el producto diseñado no supera la alimentación a 50V c.a. y 75V c.c. y no se encuentra especificado en los incisos b) i), ii), iii), ni forma parte del inciso c) y tampoco se encuentra

incluido en el ANEXO III de la Resolución 836/2019 [AGREGAR REFERENCIA A ANEXO], se comprende entonces que la certificación relacionada no es obligatoria para este producto.

#### 5.4.3.2. R.o.H.S

La certificación R.o.H.S. es una certificación obligatoria en los países del primer mundo que busca expandirse a otras áreas. En Argentina no tiene carácter obligatorio pero su valor no es despreciable. La misma se refiere a Restriction of Hazardous Substances o restricción de sustancias peligrosas, y se trata de asegurar que el producto a certificar no contenga o utilice sustancias que podrían ser dañinas para el ser humano y el medio ambiente.

La obtención de la certificación es beneficiosa desde el punto de vista de mercado expansivo internacional en caso de buscar en un futuro llevar el producto a un mercado internacional donde esta sería obligatoria, o sino también esta certificación lleva consigo un peso de seguridad para el usuario que entrara en contacto constante con la pulsera para indicar que el producto y sus componentes no son de ninguna manera nocivos para la persona o el ambiente.

Dado que cualquier aparato electrónico importado deberá tener esta certificación, cualquier componente electrónico importado (lo cual incluye a la gran mayoría en Argentina) tendrá su propia certificación R.o.H.S., dado esto lo único que quedaría por completar la certificación es la matriz de la carcasa de la pulsera y sus materiales de inyección, facilitando así lograr los requerimientos para adquirir dicha certificación en caso de ser de interés.

#### 5.4.3.3. ANMAT

Al no designar el diseño como un producto médico tampoco se requiere certificaciones del ANMAT. A saber, siguiendo las definiciones obtenidas de la Disposición ANMAT: 2318/02 en la sección de DEFINICIONES bajo todos los ítems que incluyen “Producto Médico” ninguna de estas definiciones incluye el objetivo, modo de uso o intención elegido para el producto, tampoco siendo este clasificable bajo el ANEXO II, al no tratarse de contactos fisiológicos, diagnóstico o similares.

#### 5.4.3.4. INPI

##### 5.4.3.4.1. Modelos de Utilidad

Dada la preexistencia de competidores en el ámbito de pulseras con botón de emergencia y de pulseras para recordatorio de toma de medicamentos, se descarta la posibilidad de obtener una patente para proteger al producto en el mercado. Sin embargo, la falta de existencia en el mercado de productos que cumplan ambos roles simultáneamente da a luz la posibilidad de la obtención de un modelo de utilidad para el producto, el cual lo protegería de copia por competidores por derecho exclusivo de explotación de duración de 10 años. La misma se encuentra definida en la ley de patentes 24.481, y además del requerimiento de ofrecer una mejor utilización en la función a que estén destinados las partes que lo componen, requiere de tener capacidad económica para realizar una explotación eficiente de la invención patentada y disponer de un establecimiento habilitado al efecto por la autoridad competente.

#### 5.4.3.4.2. Diseño Industrial

Dado que el diseño estético del producto no busca asemejarse a un producto en circulación, el mismo podrá ser candidato a la obtención de un registro en el INPI para obtener protección para impedir imitación o reproducción de sus características estéticas. Esta protección dura 5 años y requiere un depósito. El registro debe obtenerse antes de empezada la explotación y el producto entra bajo la clasificación 10:06 "Signalling apparatus and devices" de Locarno.

#### 5.4.3.4.3. Marcas

Finalmente se considera la obtención de una marca para el producto, delimitado por la ley de marcas 22.362, que requeriría darle un nombre propio, la creación de un logotipo, entre otras salvedades para darle una posible última protección en el mercado que le permita adquirir una reputación representada por esta, aumentando su visibilidad en el mercado y protegiendo al producto de competidores. La misma podrá tener vigencia por 10 años inicialmente permitiéndose su renovación perpetua cada 5 años siempre que se compruebe la explotación de la marca a lo largo de cada periodo.

## 6. Ingeniería de Detalle

### 6.1. Hardware

#### 6.1.1. Diagrama de Bloques

El siguiente es el diagrama en bloques del hardware en la pulsera.

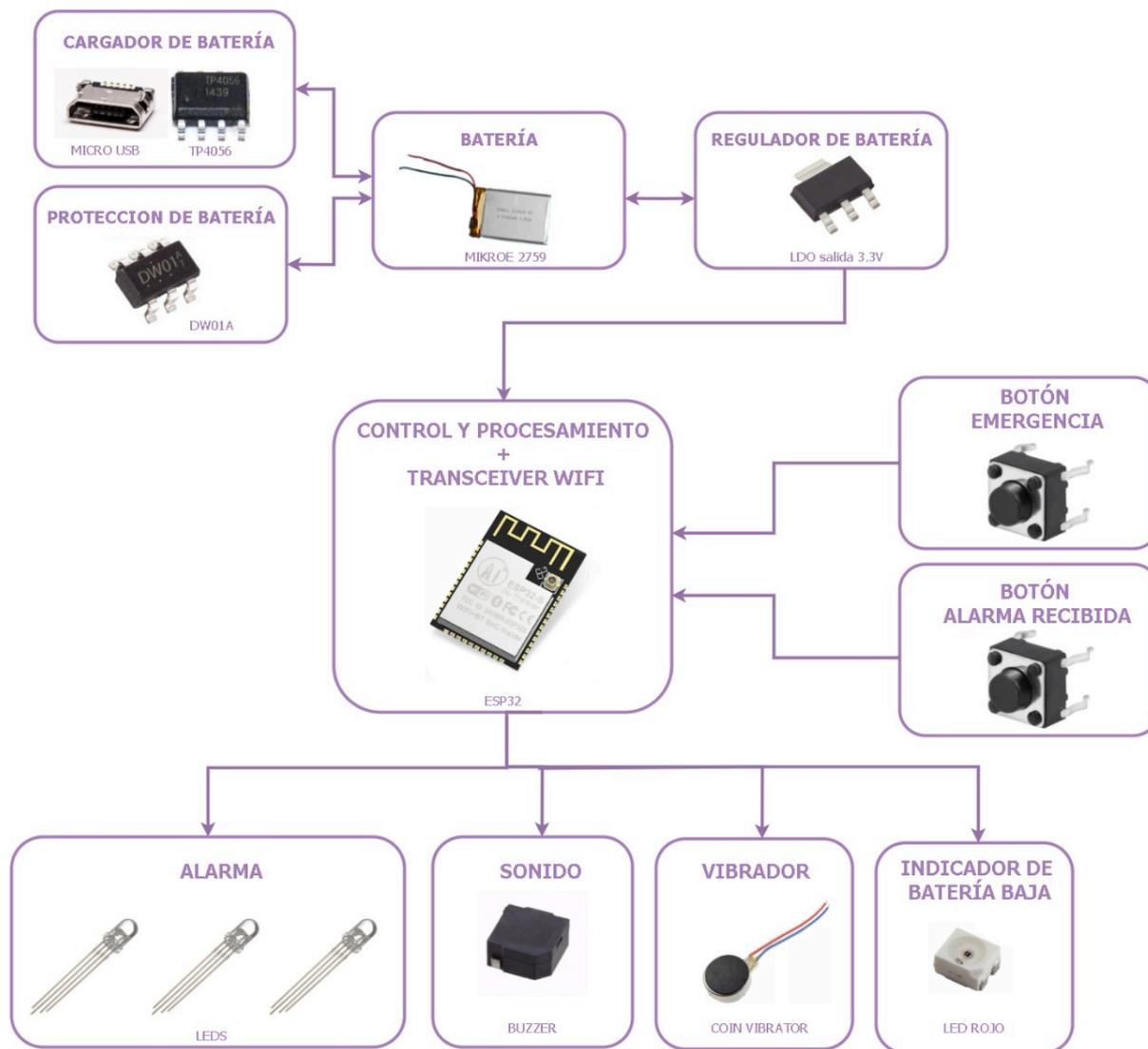


Ilustración 18: Diagrama en Bloques del Hardware

Como se puede ver en el diagrama anterior, los bloques que constituyen el hardware son los siguientes:

- Iluminación
- Sonido
- Vibración
- Botones
- Control y procesamiento
- Transceiver Wi-Fi y procesador
- Batería
- Regulador de batería
- Protección de batería

## 6.1.2. Descripción Detallada de Cada Bloque

### 6.1.2.1. Iluminación

Este bloque consiste en el hardware necesario para brindar alarmas lumínicas en el momento en el que se deben tomar medicamentos. Para una alarma lumínica se necesita un led RGB (ya que se quiere poder brindar alarmas de distintos colores con un mismo led) y una resistencia en serie para limitar la corriente que circule sobre él. Dado que se necesitan tres alarmas lumínicas, se necesitan tres leds y tres resistencias para esto. Los LEDs RGB empleados requieren tres pines de salida. Las tres terminales de cada LED van directo a LEDs discretos R, G y B que tienen distintas características tensión-corriente, con lo cual no se puede simplemente utilizar una resistencia única en la salida del ánodo o cátodo común para limitar la corriente del LED, se necesita calcular una resistencia por cada entrada.

#### 6.1.2.1.1. Detalles de Selección

Los LEDs a utilizar son los RGB through hole de 5mm de diámetro, como se muestran a continuación:



Ilustración 19: LED Through Hole, 5mm de Diámetro

#### 6.1.2.1.2. Elementos Circuitales

Como se mencionó, es necesario agregar resistencias en serie con los leds. El valor de estas resistencias se calculó de la siguiente manera:

$$R_{LED_{R/G/B}} = \frac{V_{Y\#} - V_{LED_{R/G/B_{ON}}}}{I_F}$$

Donde  $V_{Y\#}$  es la tensión en la salida Y# seleccionada (donde # es un número de 0 a 15), que siempre será Vcc o sea 3.3V. Luego  $V_{LED_{R/G/B_{ON}}}$  y  $I_F$  se obtienen de la gráfica de característica de tensión y corriente para cada LED de color R, G y B, obtenido de la hoja de datos:

Forward Current Vs. Forward Voltage

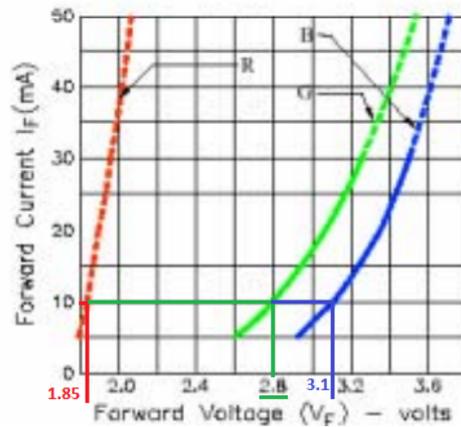


Ilustración 20: Gráfico de Relación entre Tensión y Corriente de los LEDs, Obtenido de la Hoja de Datos

Dado que se utiliza una tensión de alimentación de 3.3V y que el LED azul tiene una tensión de encendido de 3.3V a 20mA, se optó por bajar las corrientes de operación a 10mA para reducir el consumo y lograr que la tensión de encendido del LED azul se adecue a la tensión de alimentación utilizada. Y así se obtienen las resistencias de los LEDs:

LED	$V_{LEDON}$	$R_{LED}$
R	1.85V	150Ω
G	2.8V	100Ω
B	3.1V	100Ω

Tabla 39: Valores de Resistencias para cada LED

### 6.1.2.2. Sonido

Este bloque consiste en el hardware necesario para brindar alarmas sonoras en el momento en el que se deben tomar medicamentos. Para una alarma sonora se necesita un buzzer.

#### 6.1.2.2.1. Detalles de Selección

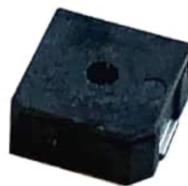


Ilustración 21: Buzzer para Alarmas

Se elige el buzzer con las siguientes características:

- Tamaño: 4mm x 4mm x 1.4mm
- Tensión de operación: 2V – 4V DC
- Corriente máxima: 90mA
- Sonido de salida: ≥ 70dB a 10cm
- Frecuencia de resonancia: 4KHz
- Rango de temperatura de operación: -40°C to 85°C

#### 6.1.2.2.2. Elementos Circuitales

Debido a la corriente que necesita el buzzer, se la toma desde los +3V3 provenientes del regulador de batería. Para lograr esto, es necesario emplear un transistor cuya base esté conectada a un GPIO del controlador por medio de una resistencia, para habilitar su funcionamiento. Es por eso que para que funcione el buzzer se requiere:

- Buzzer
- Transistor NPN
- Resistencia de  $1K\Omega$

#### 6.1.2.3. Vibración

Este bloque consiste en el hardware necesario para brindar alarmas mediante vibración en el momento en el que se deben tomar medicamentos. Para una alarma por vibración se necesita un motor vibrador.

##### 6.1.2.3.1. Detalles de Selección



*Ilustración 22: Motor de Vibración*

Este vibrador tiene las siguientes características:

- Tensión de operación: 2.7V – 4V DC
- Rango de temperatura de operación: -30°C to 70°C

##### 6.1.2.3.2. Elementos Circuitales

Para alimentar al motor con los +3V3 provenientes del regulador de batería, se requiere, al igual que para el buzzer, un transistor NPN y una resistencia de base para el mismo, conectada a un GPIO del controlador. Además, al tratarse de una carga inductiva, se coloca un diodo en paralelo al motor para que, al cortar la alimentación, la corriente tenga por donde circular. Es por eso que se terminan necesitando:

- Motor de vibración “Coin Vibrator”
- Transistor NPN.
- Resistencia de  $1K\Omega$
- Diodo

Se decide emplear un integrado que contiene dos transistores NPN: uno se emplea para habilitar corriente en el motor y el otro para habilitar corriente en el buzzer.

#### 6.1.2.4. Botones

Este bloque consiste en el hardware necesario para brindar una interfaz física al usuario con la cual acceder las funcionalidades de la señal de emergencia e indicar la ingesta de medicamento para interrumpir las alarmas luego de tomar medicamentos. Para una interfaz física de este tipo se utiliza un botón.

#### 6.1.2.4.1. Detalles de Selección

Se muestra a continuación una imagen de los botones empleados.



Ilustración 23: Pulsador

#### 6.1.2.4.2. Elementos Circuitales

Se requiere una resistencia de pull down para cada uno de los pulsadores, resultando en:

- Pulsador
- Resistencia de 10 K $\Omega$

#### 6.1.2.5. Control, procesamiento y transceiver Wi-Fi

Se lo emplea para el control de las alarmas de la pulsera, botón de emergencia y comunicación a través de Wi-Fi para acceder a Internet y comunicarse con la aplicación de celular a través de la base de datos.

#### 6.1.2.5.1. Detalles de Selección

Se usa el esp32 wroom.



Ilustración 24: ESP32 WROOM

#### 6.1.2.5.2. Elementos Circuitales

Es necesario agregar seis pines para poder cargarle los programas. Se observa más adelante en los esquemáticos de la placa de la pulsera.

## 6.1.2.6. Alimentación

### 6.1.2.6.1. Detalles de Selección

Se requiere usar un cargador de batería, una protección de cortocircuito, sobrecarga y sobredescarga. Dado que la batería empleada tiene una tensión nominal de 3,7V, pero comenzando con 4,2V cuando está completamente cargada, es necesario agregar un LDO (low dropout voltaje regulator) para obtener 3,3V para alimentar al esp32.

Este bloque se ocupa de darle energía al dispositivo y otorgarle su portabilidad. La batería debe poder proveer suficiente energía pico en momentos de alta demanda energética del dispositivo como contener suficiente carga para que el mismo se mantenga energizado por lo menos un día como indican los requerimientos asociados. La batería además deberá estar dimensionada dentro de los límites físicos del dispositivo y ser recargable mediante un cargador USB estándar. A su vez debe poder soportar una cantidad de ciclos que superen la vida útil del dispositivo. En la subsección siguiente se encuentra plasmado el calculo de duración de la batería para el dispositivo.

### 6.1.2.6.2. Elementos Circuitales

Para cumplir con las especificaciones y requerimientos de la duración de la batería se debe lograr que su capacidad real, que es menor que la nominal en la mayoría de las circunstancias, supere el consumo del peor caso de operación en 24hs. Para lograr calcular este consumo se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Una comunicación (Tx y Rx) a través del protocolo de Wi-Fi (802.11 n, 2.4GHz, 72.2Mbps) del módulo de comunicación lleva siempre menos que 50ms.
- El tiempo de set-up cuando el dispositivo se despierta de Deep Sleep mode no supera los 5 segundos.
- El tiempo de presión de botones es de 1 segundo.
- Solo un LED se encuentra activo a la vez cuando se encienden los LEDs.
- El ESP8266 se encuentra en modo operación normal cuando se comunica con la base de datos; modo modem-sleep si se encuentra una alarma en proceso; y de lo contrario en modo Deep Sleep.

Antes de describir el peor caso, se presenta la siguiente tabla tabulando los consumos de todas las fuentes:

Módulo	Consumo instantáneo pico
Iluminación	10mA por LED
Sonido	90mA
Vibrador	61mA
ESP32(operación normal)	90mA
ESP32(Deep Sleep)	0.0065mA
ESP32(Modem-Sleep)	3mA
Comunicación	120mA
Boton de Confirmación	0.33mA

Regulador	0.03mA
Cargador	0.006mA
Protección	0.003mA

Tabla 40: Consumo instantáneo pico de todas las fuentes relevantes del circuito.

Para el peor caso de consumo se asume operación normal del dispositivo, no se consideran casos de error y se ignoran casos como presionar el botón las 24hs del día. Se define primero la operación normal de la siguiente forma:

- Las alarmas ocurren en los horarios de ingesta, estos se configuran con una comunicación con la base de datos desde la pulsera, la cual transmite a la base de datos para revisar si hay nueva información para recibir siempre luego de salir de un periodo de Deep Sleep.
- Las alarmas se activan por 10 minutos, con el sonido y la vibración encendiéndose intermitentemente durante un minuto, resultando en 5 minutos totales máximo por instancia de alarma
- Si el usuario no presiona el botón de confirmación, la alarma finaliza y se envía un mensaje a la base de datos
- Si el usuario presiona la confirmación una sola vez, la vibración y el sonido se desactivan, pero se mantienen los LEDs encendidos junto con el ESP8266 durante 20 minutos desde que se presiona el botón, o hasta que se presione una segunda vez para confirmar la ingesta y luego se envía un mensaje a la base de datos
- Cuando es el horario de una alarma, el ESP8266 se despierta de Deep Sleep antes de finalizar los 71 minutos máximos del modo, de lo contrario se despierta pasados los 71 minutos y vuelve a Deep Sleep.

El peor caso resulta cuando se presentan la máxima cantidad de alarmas estipuladas para un mismo día, que fue relevado de la encuesta y resultan ser 6 alarmas. Las mismas suceden poco después de entrar a Deep Sleep, se presume 1 minuto, cortando el modo de bajo consumo y aumentando la cantidad de wake-ups. Cuando las alarmas se activan, el botón de confirmación se presiona en el último instante antes de que se cancelen, resultando en 10 minutos + 20 minutos con los LEDs consumiendo y el ESP8266 en modo operación, mientras que el sonido y vibración suenan por 5 minutos por alarma.

Módulos	Tiempo de actividad en un periodo de 24hs	Consumo total en 24hs
Iluminación	30 minutos, 6 veces (3hs)	30mAh
Sonido	5 minutos, 6 veces (30min)	45mAh
Vibrador	5 minutos, 6 veces (30min)	30.5mAh
ESP32(operación normal)	2 minutos	3mAh
ESP32(ModemSleep)	3hs	9mAh
ESP32(Deep Sleep)	20hs 57 minutos y 58.5 segundos	0.136mAh
Comunicación	1.5 segundos	0.05mAh

Botón de confirmación	12 veces, 1 segundo cada vez, (12 segundos)	0.0011mAh
Regulador	24hs	0.72mAh
Cargador	24hs	0.144mAh
Protección	24hs	0.072mAh
Dispositivo completo	24hs	118.62mAh

Tabla 41: Consumo de Batería en un periodo de 24hs de cada fuente relevante del circuito.

Para calcular el consumo del ESP8266 se debe calcular sus tiempos de operación normal y Deep Sleep. Para obtener el ultimo se requiere conocer el tiempo total utilizado por el primero dado que se divide el tiempo restante en periodos de 71 minutos + 5.05 segundos de wake-up y comunicación. El ESP8266 opera durante comunicaciones Wi-Fi, las cuales duran 50ms y suceden 1 vez por cada wake-up y otra por cada alarma, resultando en 12 comunicaciones; opera también en la duración de las alarmas, 30 minutos 6 veces; finalmente cada vez que hace un set-up luego de despertar de Deep Sleep opera por 5 segundos. Asumimos que cada alarma despierta al dispositivo de un periodo de Deep Sleep de 1 minuto, resultando en 6 minutos de Deep Sleep y 30 segundos de Set-up. Sumando todos estos tiempos se obtiene 3hs, 6 minutos y 30.6 segundos, sobrando entonces 20hs, 53 minutos y 29.4 segundos para separar en periodos de 71 minutos de Deep Sleep, resultando en 17 periodos completos de Deep Sleep y uno final de 46 minutos y 29.4 segundos al cual se le restan los 5 segundos de set-up y 50ms de comunicación propios y de los otros 17 periodos, resultando en 20hs 57 minutos y 58.5 segundos totales de Deep Sleep, 3hs de Modem-Sleep y 2minutos y 1.5 segundos de operación normal en un periodo de 1 día del peor caso.

Periodo de consumo (peores casos)	Tiempo en 24hs	Consumo total en 24hs
Alarma (30 min)	3hs	114.5mAh
Alarma Snooze (20 min)	2hs	36mAh
Alarma intermitente (10 min)	1hs	78.5mAh
Comunicaciones	1.5 segundos	0.05mAh
Set-up	2 minutos	3mAh
Idle	20hs 57 minutos 58.5 segundos	0.136mAh

Tabla 42: Consumo de Batería en un periodo de 24hs por aspectos funcionales del circuito.

Se concluye que se podrá lograr una duración mayor a 24hs utilizando una batería de 190mAh con un margen de seguridad del 33% en el peor caso. La batería elegida es de 3.7V, MIKROE-2759. A partir de las graficas de vida útil, tensión según % de carga, se obtuvo en el peor caso una perdida de capacidad respecto de la reportada por el fabricante de un 28%, resultando en 136.8mAh reales, que superan los 118.62mAh requeridos en el peor caso con un margen del ~10%.

Se necesita:

- Batería: MIKROE 2759
- Cargador de batería: TP4056
- Protección de batería: DW01A

- LDO: NCP164
- Resistencias, mosfets y capacitores necesarios para el circuito.

### 6.1.3. Plan de Pruebas de Cada Módulo

#### 6.1.3.1. Plan de Pruebas Módulo Iluminación

Primero probar, para cada uno de los tres leds:

- Componente R
- Componente G
- Componente B

Luego probar los 8 colores generados en cada led para alarmas:

- Amarillo
- Verde
- Azul
- Cyan
- Violeta
- Rosa
- Rojo
- Naranja
- Finalmente probar:
- Los tres leds encendidos a la vez, con distintos colores

#### 6.1.3.2. Plan de Pruebas Módulo Sonido

El buzzer debe sonar y escucharse correctamente a por lo menos a un metro de distancia.

#### 6.1.3.3. Plan de Pruebas Módulo Vibración

El motor debe vibrar de forma que, estando apoyado en la carcasa o en el pcb, se sienta su vibración desde la carcasa apoyada en la muñeca.

#### 6.1.3.4. Plan de Pruebas Módulo Control, Procesamiento y Transceiver Wi-Fi

Las pruebas de este módulo corresponden a la sección de software.

#### 6.1.3.5. Plan de Pruebas Módulo Alimentación

Para las pruebas mencionadas a continuación, al mencionarse leds se hace referencia a leds smd que se encuentran en el inferior de la placa. Estos leds sirven a modo de test del funcionamiento de la parte de alimentación.

- Debe probarse que la batería se carga correctamente con 5V mediante un conector micro USB. Mientras se está cargando debe encenderse un led rojo. Cuando la batería esta cargada, debe encenderse un led azul.
- Debe corroborarse que entre los bornes de la batería hayan entre 3,7V y 4,2V.

- Debe corroborarse, previamente a conectar la alimentación al resto del circuito, que a la salida del LDO hay 3V3. Ese es el valor con el que luego se debe alimentar al resto del circuito (ESP y componentes cuyo funcionamiento controla).
- Si la batería tiene carga, debe verse encendido un led verde.
- Si la batería brinda menor tensión, es porque hay baja carga de batería y se debe encender un led rojo.

## 6.2. Software

### 6.2.1. Pulsera

#### 6.2.1.1. Flujograma

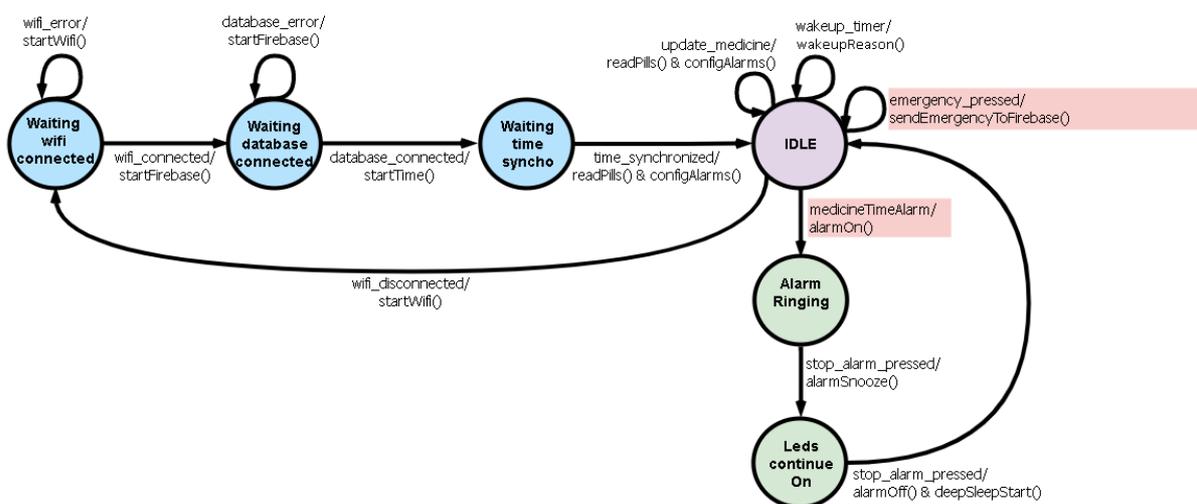


Tabla 43: Diagrama de Flujo de la Pulsera

#### 6.2.1.2. Funcionamiento y subrutinas

La programación de la pulsera cuenta con los siguientes seis estados:

- **Waiting wifi connected:** la pulsera se conecta a wifi a través del ESP32. En caso de recibir el evento “wifi connected”, pasa al estado *Waiting database connected*. Por lo contrario, en caso de recibir el evento “wifi error” se ejecuta la función *startWifi()* para re-conectarse.
- **Waiting database connected:** la pulsera se conecta a Firebase a través del ESP32. En caso de recibir el evento “database connected”, pasa al estado *Waiting time syncho*. Por lo contrario, en caso de recibir el evento “database error”, se ejecuta la función *startFirebase()* nuevamente para reconectarse.
- **Waiting time syncho:** en este estado la pulsera se sincroniza con fecha y hora actual para luego poder configurar las alarmas adecuadamente. Si llega el evento “time synchronized” entonces se ejecutan las funciones *readPills()* y *configAlarms()* y se pasa al estado IDLE.
- **IDLE:** en el estado IDLE pueden ocurrir los siguientes eventos:
  - “*medicineTimeAlarm*”: llega el horario de una alarma programada y se pasa al estado *Alarm Ringing* con la función *AlarmOn()* que activa led/s correspondiente/s, vibración y sonido.
  - “*Emergency\_pressed*”: se presiona el botón de emergencia. Como consecuencia, se ejecuta la función *sendEmergencyToFirebase()* y se retorna al estado IDLE.

- “update\_medicine”: se debe actualizar la información de las alarmas por lo que se ejecutan las funciones *readPills()* y *configAlarms()* y se regresa al estado IDLE.
- “Wakeup\_timer”: el ESP se despierta y ejecuta la función *wakeupReason()* que ejecuta distintas subrutinas según si fue despertado por timer o por el botón de emergencia.
- *Alarm Ringing*: en este estado están led/s, vibración y sonido activos. Si se detecta que se pulsa una vez el botón para detener la alarma, pasa al estado *Leds continue On* ejecutando la función *alarmSnooze()* que detiene el vibrador y el sonido.

*Leds continue On*: en este estado el/los led/s de la/s alarma/s continúan encendido/s y si se detecta que se presiona por segunda vez el botón para detener la alarma, apaga los leds con la función *AlarmOff()* y se retorna al estado IDLE.

Subrutina PULSERA	Descripción
<i>startWifi</i> (ID, password)	Inicializa la librería <Wifi.h> para conectarse al Wifi del usuario con su ID de red y contraseña.
<i>startFirebase</i> (databaseURL)	Inicializa <FirebaseESP32.h> para conectarse a Firebase y habilitar el envío o recepción de datos.
<i>startTime</i> ()	Inicializa las librerías <Time.h> y sincroniza día y hora actual.
<i>readPills</i> (braceletID)	Lee los medicamentos cargados para una determinada pulsera en la base de datos e interpreta el color, día y horario de cada medicación.
<i>configAlarms</i> (pillsData)	Recibe la información entregada por <i>readPills()</i> y configura las alarmas que suenen en el horario/día configurado y con el color correspondiente a cada medicación.
<i>initPins</i> ()	Inicializa los pines de los leds, vibrador, buzzer y botones.
<i>alarmOn</i> (r,g,b)	Enciende led, vibrador y buzzer.
<i>alarmSnooze</i> ()	Apaga vibrador y buzzer si el botón de “detener alarma” fue presionado una sola vez.
<i>alarmOff</i> ()	Apaga los leds si el botón “detener alarma” es presionado por segunda vez. Además, enciende el flag “MedicineTaken” en la base de datos para indicar que la alerta de medicación fue recibida.
<i>sendEmergencyToFirebase</i> ()	En caso de que el botón de emergencia sea presionado, enciende el flag “Emergency” en Firebase.
<i>wakeupBut2</i> (GPIO)	Despierta al micro cuando se presiona el botón de emergencia configurado como GPIO.
<i>deepSleepStart</i> (timeToSleep)	El micro entra en modo <i>deepSleep</i> por el tiempo configurado en <i>timeToSleep</i> .

wakeupReason()	Ejecuta diferentes rutinas según el motivo por el cual fue despertado el micro (por hardware o por timer).
----------------	--

Tabla 44: Subrutinas Pulsera

### 6.2.2. Aplicación de Celular

La aplicación de celular se encuentra en Play Store, en el siguiente enlace:  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.SmartPills>

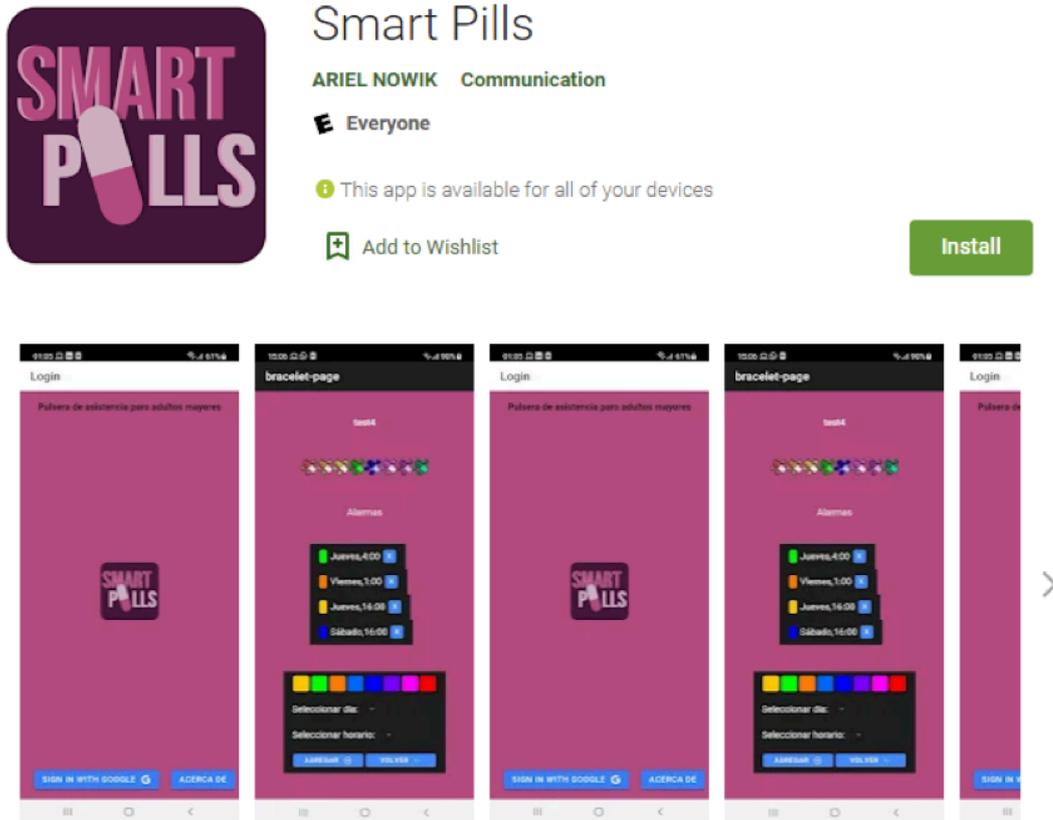


Tabla 45: Aplicación de Celular en Play Store

### 6.2.2.1. Esquema de Menús

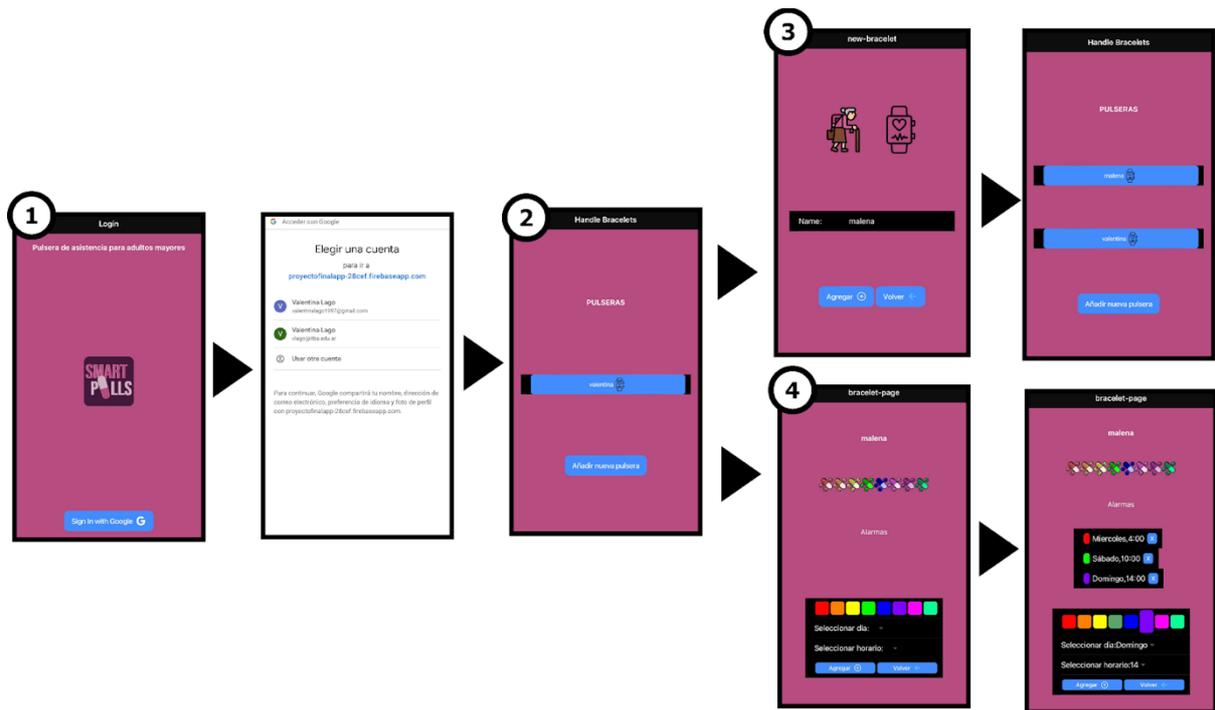


Tabla 46: Esquema de Menús de la Aplicación de Celular

La aplicación de celular tiene cuatro menús que son:

1. Menu Login: Presionando el botón "Sign in with Google" se solicita elegir una cuenta de google para vincularla con la App.
2. Menu Handle Bracelents: Se muestran las diferentes pulseras que el usuario ha cargado y se le permite:
  1. Presionar alguna pulsera previamente añadida para pasar al menú 4
  2. Presionar el botón "Añadir nueva pulsera" para pasar al menú 3
3. Menu New Bracelet: Le da la posibilidad al usuario de agregar una nueva pulsera al menú 2 ingresando un nombre identificador.
4. Menu Bracelet Page: Permite añadir un medicamento asignándole un color, día y horario de la semana.

En caso de que se presione el botón de emergencia, se muestra el siguiente cartel:



Ilustración 25: Botón de Emergencia Presionado

En caso de que se haya tomado una medicación, se muestra el siguiente cartel:

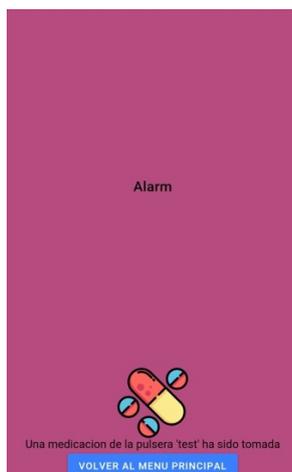


Ilustración 26: Indicación de Medicación Tomada

A su vez, se reciben las siguientes notificaciones, en caso de que se haya tomado una medicación y en caso de que se presione el botón de emergencia, respectivamente:

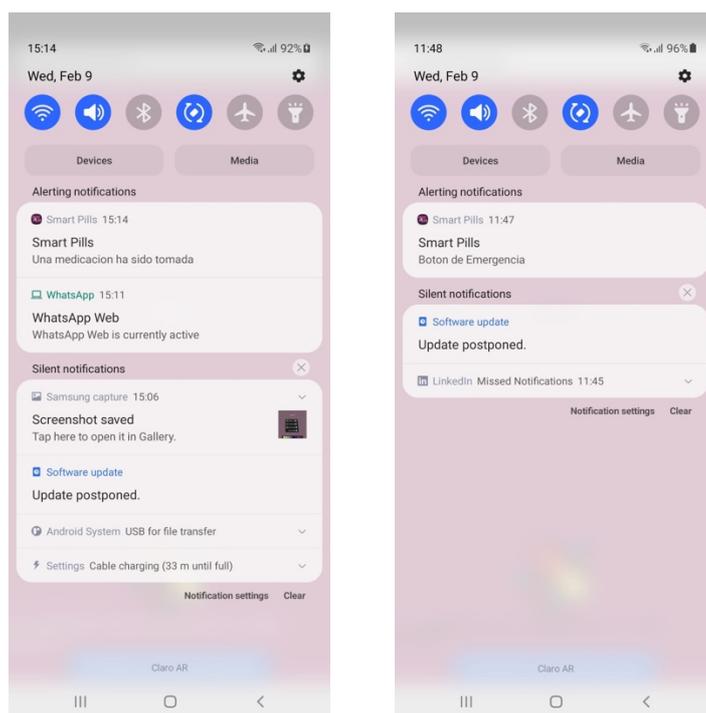


Ilustración 27: Notificaciones de la Aplicación de Celular

#### 6.2.2.2. Funcionamiento y subrutinas

Subrutina APP	Descripción
logIn()	Realiza el log in del usuario con usuario de google.

addNewBracelet()	Carga el nombre de la pulsera en la base de datos.
deleteBracelet()	Elimina una pulsera de la base de datos.
loadMedicine()	Carga color, hora y día de un medicamento en la base de datos.
deleteMedicine()	Elimina una medicación cargada de la base de datos.
checkEmergencyButton()	Genera una notificación de emergencia en la App en caso de que el flag de emergencia en la base de datos se encuentre activo.
checkMedicineTaken()	Genera una notificación cuando la persona mayor ha apagado la alarma indicando que la alarma de la medicación fue recibida.

Tabla 47: Subrutinas Aplicación de Celular

### 6.2.3. Plan de Prueba de Módulos y de Depuración de Software

A continuación se muestran las pruebas que deben realizarse para corroborar el correcto funcionamiento del software tanto de la aplicación de celular como del esp32.

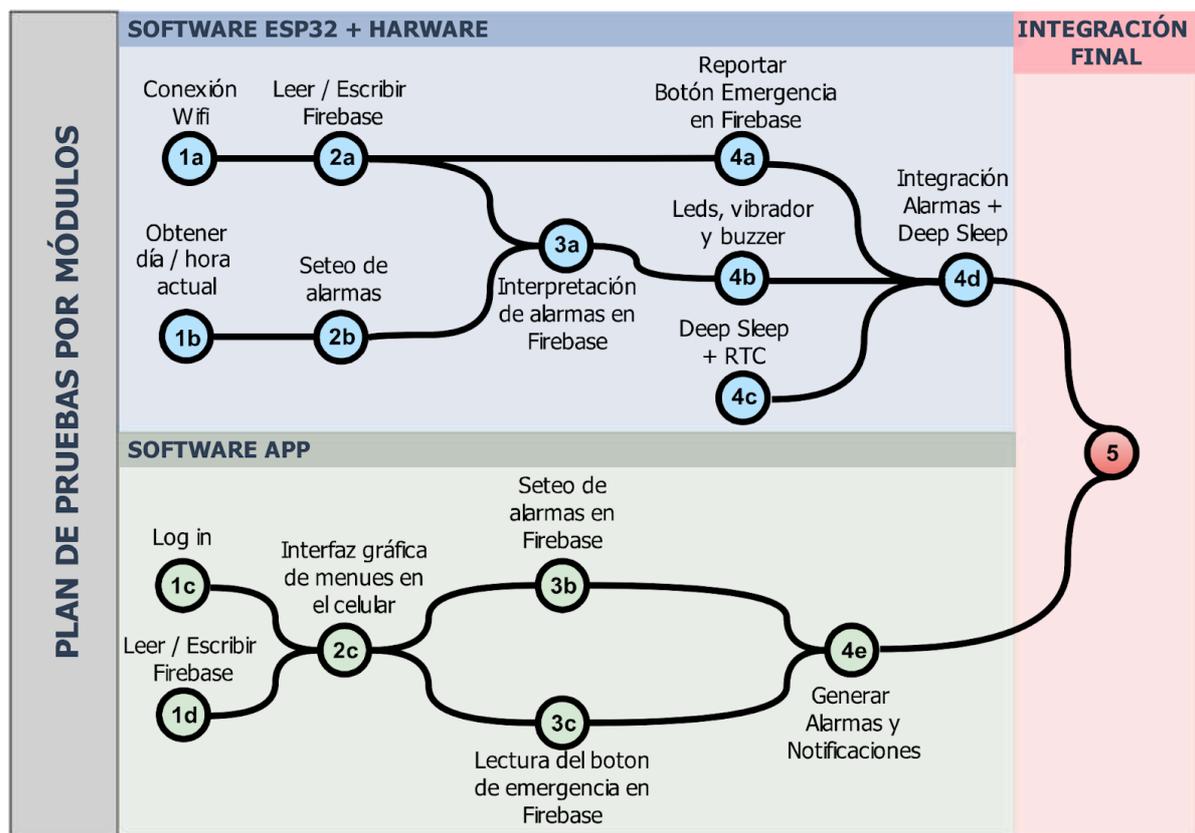


Ilustración 28: Plan de Pruebas de Software

N° Prueba	Resultado esperado
-----------	--------------------

1a	Se prueba el funcionamiento de la conexión a Wifi del ESP32 imprimiendo en consola la dirección IP utilizando la librería <Wifi.h>.
1b	Se prueba imprimir en consola el día y hora actual desde pool.ntp.org(*) para sincronizarse y poder setear las alarmas en distintos horarios correctamente. Para esto, se utiliza la librería <Time.h>, <NTPClient.h> y <WifiUDP.h>.
2a	Se prueban lecturas y escrituras de distintos tipos de datos en Firebase haciendo uso de <FirebaseESP32.h>.
2b	Se prueban setear alarmas e imprimir un mensaje en consola llegado el horario programado. Se utiliza la librería <TimeAlarms.h>.
3a	Se prueba la lógica del código que interpreta la base de datos para determinar día y horario de las alarmas programadas por el usuario desde la App. El resultado esperado es que se imprima un mensaje en consola llegado el horario seteado en la base de datos como alarma.
4a	Se prueba presionar un botón y que cambie de estado el flag de emergencia en la base de datos.
4b	Se prueba que llegado el horario de una alarma programada se active led de color correspondiente, vibrador y buzzer. Se prueban hasta tres alarmas en simultáneo (límite máximo porque contamos con tres leds rgb). Se prueba el funcionamiento del botón que apaga las alarmas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al presionarlo por primera vez se apagan el vibrador y el buzzer dejando el/los led/s de la/s alarma/s encendido/s</li> <li>• Al presionarlo por segunda vez se apagan todos los leds.</li> </ul>
4c	Se prueba el funcionamiento del Deep Sleep accionado por medio de un botón y por medio de timer. Se prueba realizar distintas rutinas según el motivo por el cual se despierta el ESP32 y la correcta retención de las variables persistentes.
4d	Se prueba la integración de las alarmas leídas en la base de datos, el funcionamiento del botón de emergencia y el deep sleep.
1c	Se prueba que desde la App en el celular se pueda acceder mediante una cuenta de Google.
1d	Se procede a realizar una prueba de escritura y de lectura sobre la base de datos por medio de la App.
2c	Se procede a verificar que las distintas interfaces de la aplicación se carguen correctamente en el celular y que su contenido sea equivalente a la versión programada (evitando mismatch de versiones).
3b	Se procede a verificar que la interfaz y los métodos utilizados para actualizar la base de datos funcionen correctamente y logren utilizar los tipos de datos programados correctamente. De esta manera, verificamos que se carguen correctamente los horarios de las medicaciones en la base de datos.
3c	Se prueba que se pueda leer el flag de emergencia en la base de datos independientemente de cuando es presionado.

4e	Se procede a verificar que las notificaciones consecuencia de la presión del botón de emergencia funcionen correctamente.
5	Se procede a verificar el correcto funcionamiento de la aplicación para cargar las alarmas en la base de datos y que la pulsera interprete correctamente de acuerdo a la información cargada en la base de datos. En particular esta prueba se realizó con distintos usuarios para verificar que la interfaz funcione en diversos dispositivos. También se realizó en distintos horarios y con distintos colores de medicaciones. Por último, se procede a verificar el funcionamiento del conjunto integrando el circuito de la batería junto con su led indicador de batería baja.

(\*)pool.ntp.org es una colección dinámica de computadoras de voluntarios para proveer la hora exacta a través del Network Time Protocol a clientes de todo el mundo

## 7. Diseño del prototipo

El En el Anexo se encuentra el manual de usuario del producto / prototipo.

### 7.1. Esquemáticos modulares

El esquemático de la placa de la pulsera está separado en distintos bloques correspondientes a distintos módulos. Cuenta de tres páginas.

#### 7.1.1. Control y Comunicación

Esta página del esquemático muestra las conexiones de las distintas interfaces de usuario con el controlador (ESP 32 WROOM). A su vez, se muestra su conexión con el módulo de alimentación.

Por otro lado, hay un bloque que consiste en un header de seis pines cuya utilidad es la carga de programas al ESP 32 y se emplean los pines RX y TX del ESP 32 para mostrar de forma serial mensajes de debug en la consola.

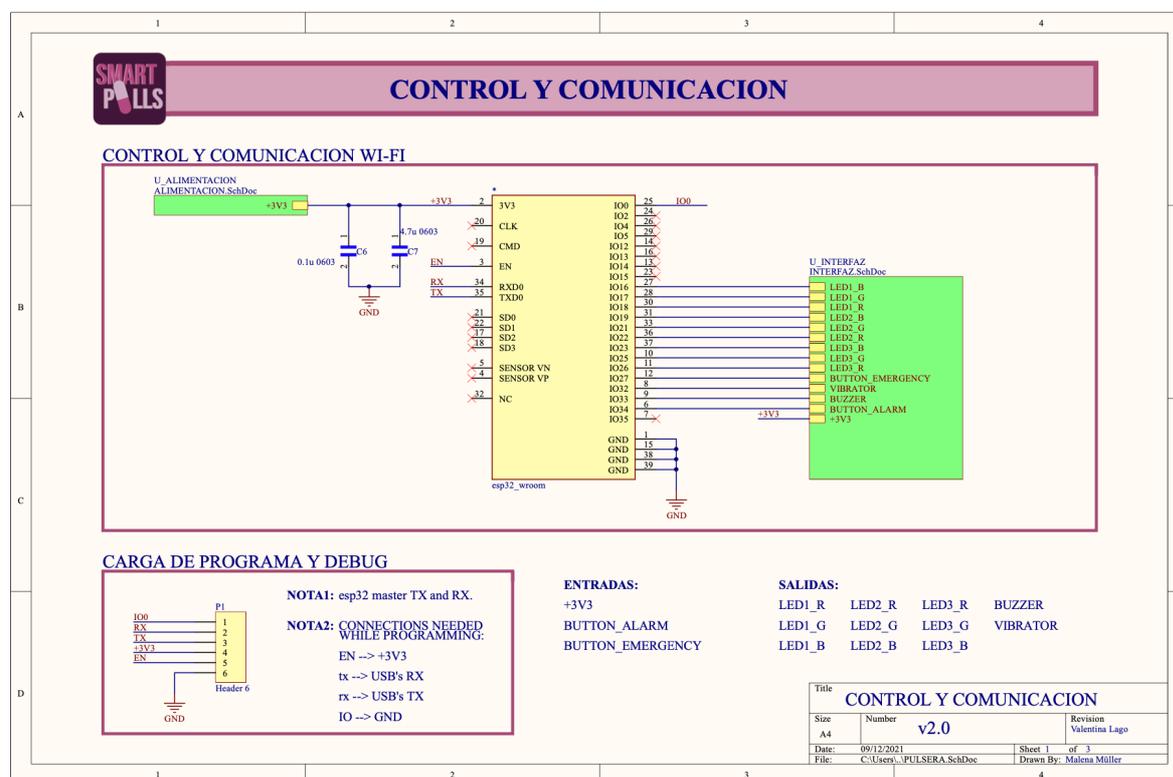


Ilustración 29: Esquemático - hoja 1/3 - Control y Comunicación

#### 7.1.2. Alimentación

El siguiente esquemático corresponde al módulo de alimentación, el cual a su vez se lo muestra separado en submódulos para mayor claridad. A la izquierda se muestran las conexiones de alimentación externa (5V y GND a través de un conector micro USB) y de los bornes de la batería de 3V7 nominales.

- El submódulo “Cargador de Batería” incluye al integrado TP4056 (cargador de batería y sus conexiones correspondientes. Se agregan dos leds : uno para indicar que la batería se está cargando y el otro para indicar que la batería ya se encuentra cargada.
- El submódulo “Protección de Batería”, como su nombre lo indica, cuenta con los integrados necesarios para proteger a la batería de sobrecarga y de sobredescarga.
- El módulo “Regulador → Alimentación Interna” es el encargado de obtener los +3V3 necesarios para alimentar al resto del circuito. Esto se hace empleando un LDO.
- Finalmente, el submódulo “Indicador Batería Baja” tiene un led verde para indicar que la tensión recibida por la batería es adecuada y un led rojo para indicar carga baja de batería. Este led debe ser visible para el usuario.

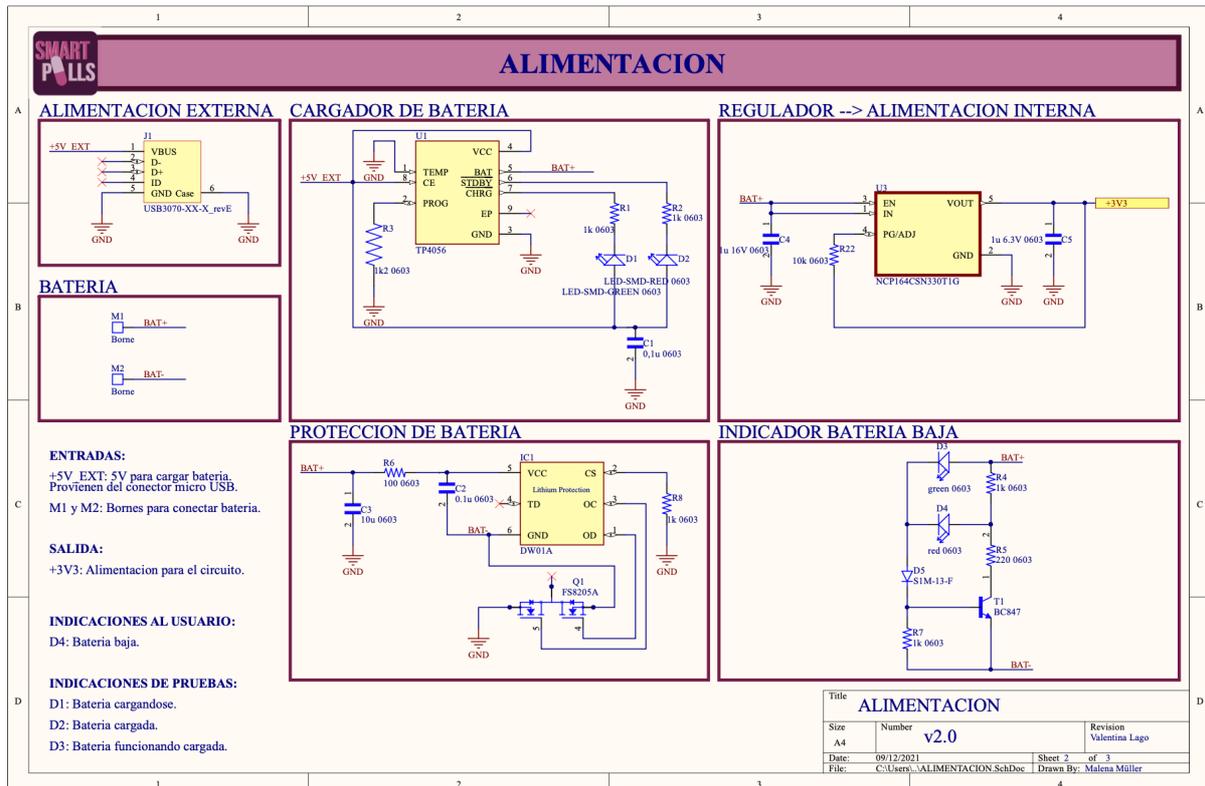


Ilustración 30: Esquemático – hoja 2/3 – Alimentación

### 7.1.3. Interfaces de Usuario

La siguiente página del esquemático cuenta con los módulos de interfaz de usuario: botones, iluminación, vibración y sonido.

Los botones cuentan con resistencias de pull down.

Los leds empleados, que son RGB, necesitan adicionalmente una resistencia para cada una de sus componentes de color, cuyos valores fueron determinados en la sección de selección de componentes.

Tanto el buzzer como el vibrador son alimentados directamente de la batería con la finalidad de poder demandar la corriente necesaria. Ambos son controlados mediante GPIOs del ESP 32 empleando BJTs NPN. Se decidió para eso emplear un integrado que incluye dos de estos transistores. Al motor se le agrega un diodo para que funcione como snubber, dado que se trata de una carga inductiva.

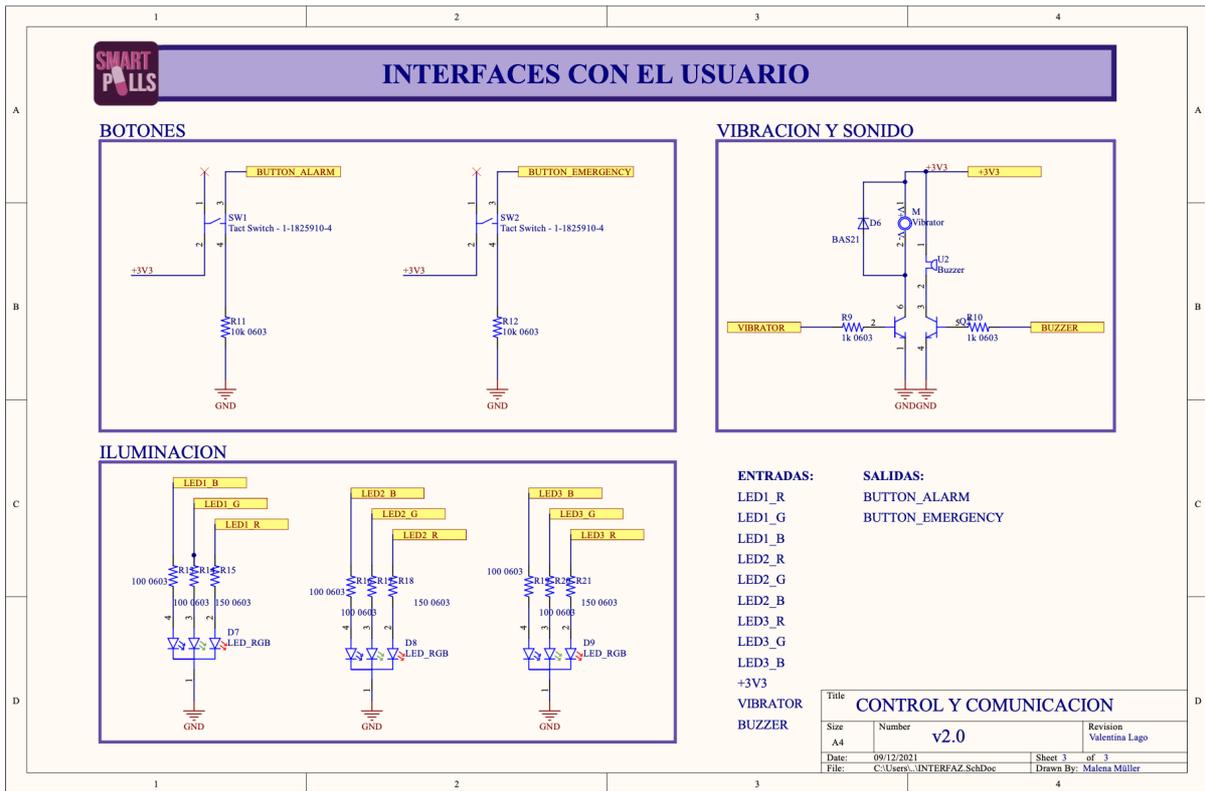


Ilustración 31: Esquemático – hoja 3/3 – Interfaces con el Usuario

### 7.1. Bill Of Materials (BOM)

Componente	Cantidad
Resistencia 1K $\Omega$	8
Resistencia 1K2 $\Omega$	1
Resistencia 10K $\Omega$	3
Resistencia 220 $\Omega$	1
Resistencia 100 $\Omega$	7
Capacitor 0.1uF	3
Capacitor 1uF 16V	1
Capacitor 1uF 6.3V	1
Capacitor 10uF	1
NCP164 (LDO)	1
150 $\Omega$	3
Tactile switch	2

LED RGB through hole	3
Buzzer	1
Motor	1
Diodo bas21 sot23	1
Doble NPN	1
NPN bc847 sot23	1
Diodo S1M-13-F	1
LED rojo smd 0603	2
LED verde smd 0603	2
Capacitor 4.7uF	1
Conector micro USB	1
ESP 32 wroom	1
Header 6 pines	1
TP4056 (cargador batería)	1
dw01a (protección batería)	1
Batería Mikroe	1

Tabla 48: Bill of Materials

## 7.2. Diseño del Circuito Impreso

### 7.2.1. Primera versión

Consiste en un PCB cuya dimensión es de 30 x 45mm.

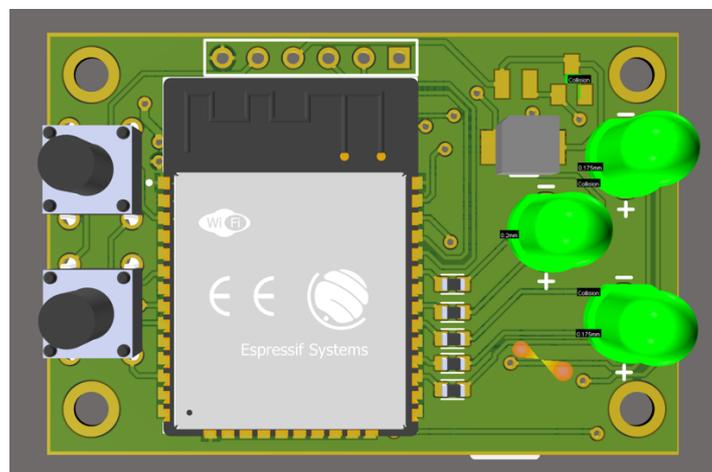


Ilustración 32: Vista 3D de Top Layer

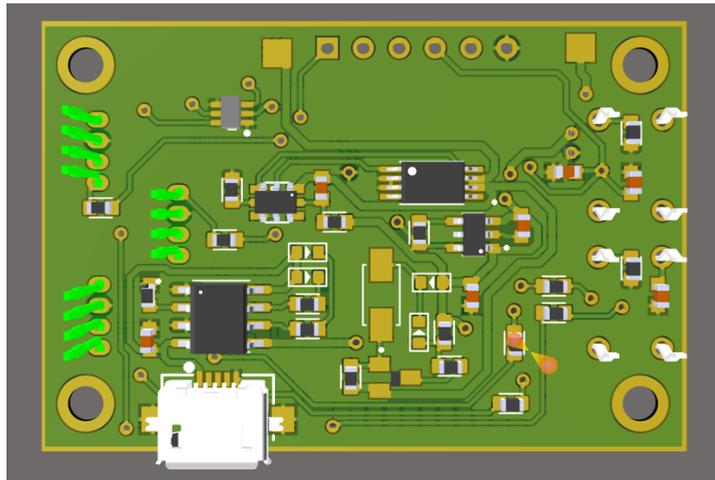


Ilustración 33: Vista 3D de Bottom View

### 7.2.2. Segunda Versión

Esta versión surge con la finalidad de disminuir el tamaño de la pulsera. Mientras que la primera versión del PCB mide 30x45mm, esta placa tiene un tamaño de 29x31mm. Este tamaño está limitado por los componentes elegidos. Si bien se podría elegir otros con la finalidad de seguir disminuyendo las dimensiones, comenzaría a ser una pulsera muy chica para el uso que se le quiere dar, haciendo que los botones se encuentren muy próximos entre sí y permitiendo entonces que se presione un botón indeseadamente al querer presionar el otro. Además, se le agregó el logo y un espacio para colocar el ID o número de serie propio del dispositivo. También se agregaron las indicaciones necesarias de la ubicación de componentes y de los pines para la programación del ESP32. Se cambió el led de indicación de baja batería por uno de mayor tamaño para que pueda ser ubicado más cómodamente para una buena visualización por parte del usuario. Estas mejoras de diseño surgen luego de haber hecho y armado un primer diseño

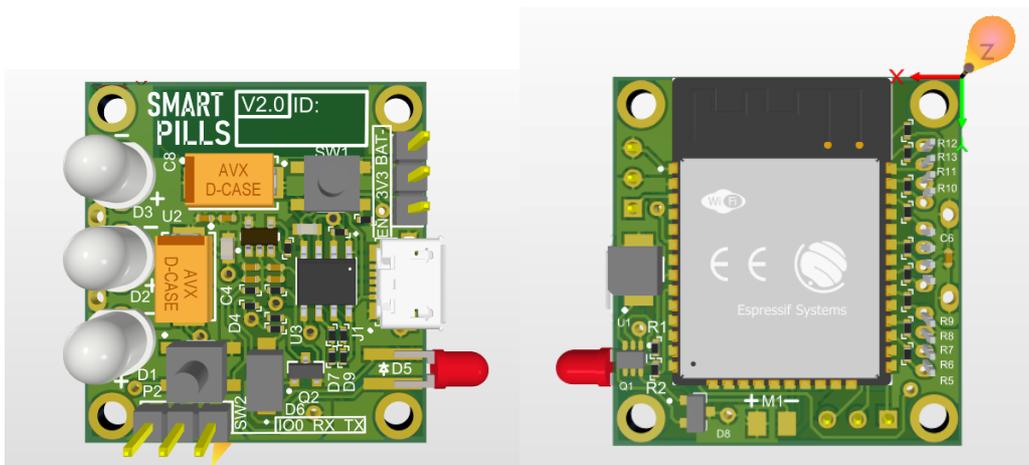


Ilustración 34: Segundo Versión del Diseño del PCB

## 7.3. Diseño Mecánico

### 7.3.1. Carcasa de la Pulsera

Se diseña, por un lado, la carcasa que contendrá al circuito de la pulsera. El diseño se realiza con SolidWorks. A continuación se describen los aspectos constructivos tenidos en cuenta:

- Curvaturas externas de 1.2 mm de radio como mínimo.
- Encastres entre las uniones de la tapa superior e inferior.
- Cuatro tornillos de sujeción para la placa con el objetivo de lograr mayor robustez.
- Ranura para pasar una malla de reloj de ancho 20 mm.
- Dos ranuras para los botones y otras cuatro para que los leds sean vistos desde afuera de la carcasa.
- Tamaño y posición de la batería, que se coloca debajo de la placa.
- Tamaño de la placa.
- Se requieren tornillos M2x13mm.

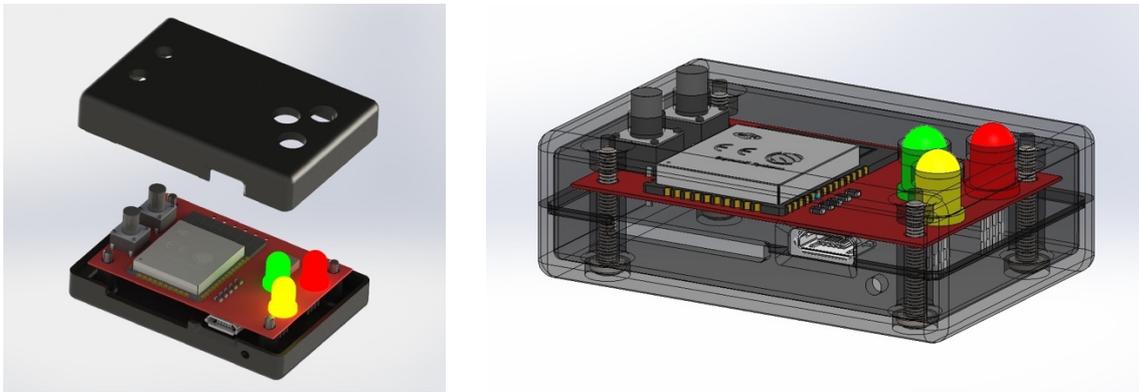


Ilustración 35: Diseño de la Carcasa en Solidworks



Tabla 49: Render de Pulsera en Uso

### 7.3.2. Sujeción de la Pulsera

Se emplean mallas genéricas que se encuentran a la venta en el mercado local.



*Tabla 50: Mallas de Sujeción de la Pulsera*

### 7.3.3. Pastillero

El pastillero consiste en una base con ocho posiciones para ocho potes de distintos colores (Los colores asociados a cada alarma de medicaciones diferentes). Los envases que se colocan en la base son cilíndricos con tapa a rosca.



*Ilustración 36: Pastillero*

## 8. Construcción del Prototipo

La construcción del prototipo cuenta con dos instancias. Como primera instancia se prueban los módulos por separado:

- Leds
- Botones
- Buzzer
- Vibrador
- Batería (carga y descarga)

Como segunda instancia, se prueba la integración completa de los distintos módulos.

### 8.1. Circuito de la Pulsera

#### 8.1.1. Primera instancia

En esta instancia se empleó una placa multiperforada y protobard con la finalidad de hacer pruebas iniciales que permitieran validar los funcionamientos de cada módulo por separado.

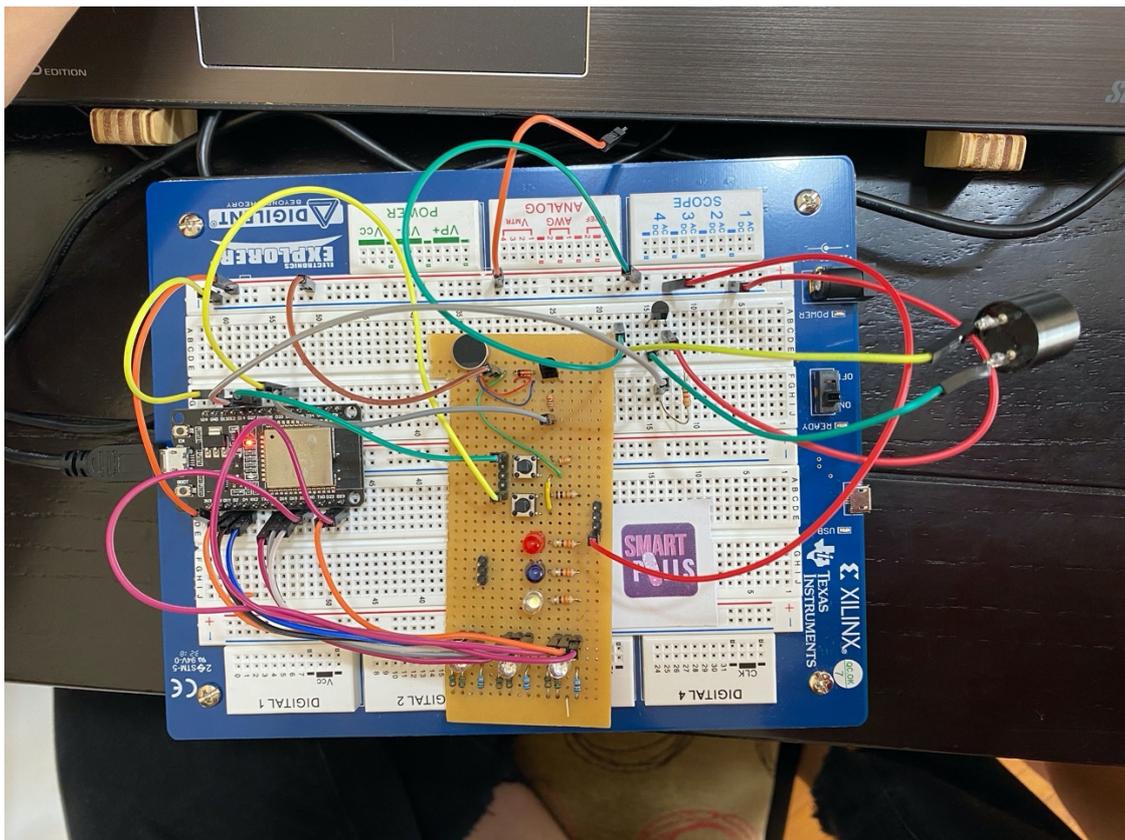


Tabla 51: Primer prototipo de la pulsera

### 8.1.2. Segunda Instancia

Esta instancia consiste en el armado de la pulsera con la placa, carcasa y malla.

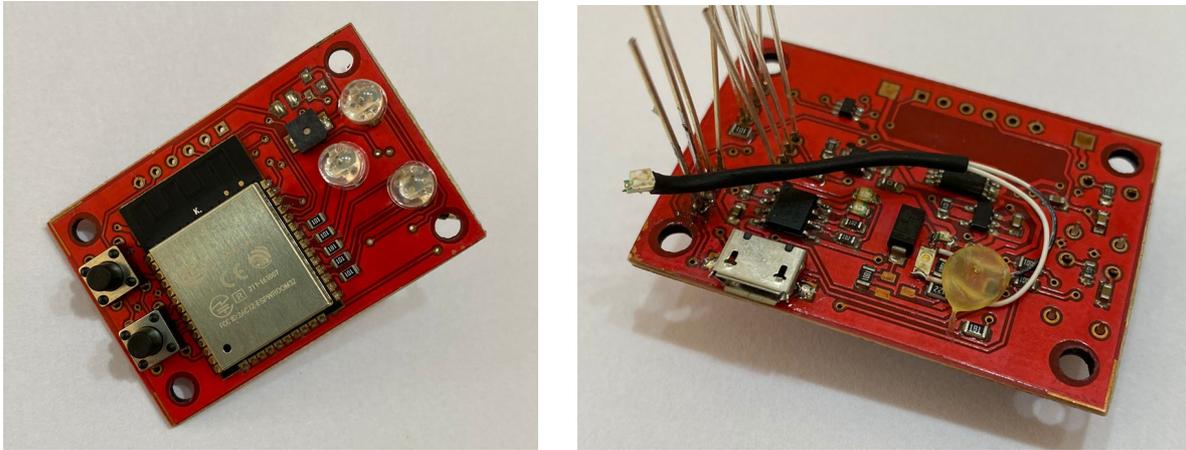


Tabla 52: Placa del circuito de la Pulsera

Este es el resultado final de la pulsera. Se la muestra junto a un reloj deportivo para una mejor noción del tamaño. Se nos sugirió agregarle indicación de los botones con calcomanías diseñadas específicamente para nuestro producto, para mayor claridad de la función de cada botón: el verde corresponde a confirmación de medicamento tomado mientras que el rojo corresponde al botón de emergencia.



Ilustración 37: Pulsera Final - Comparación de Tamaño

## 8.2. Pastillero

A continuación se muestra el pastillero, que cumple con sus requerimientos. Es un pastillero portable, tiene ocho compartimentos de colores diferentes, permitiendo almacenar ocho medicaciones distintas.



Tabla 53: Pastillero

## 8.3. Aplicación de Celular

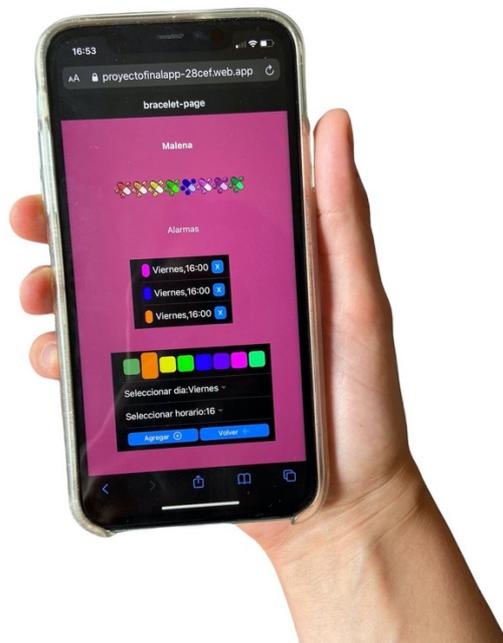


Tabla 54: Aplicación de Celular

## 9. Validación del Prototipo

### 9.1. Estudios de Confiabilidad de Hardware y de Software

#### 9.1.1. Aspectos Generales de Hardware

En la factibilidad técnica y en ingeniería de detalle se analizaron alternativas de componentes que por otros aspectos parecieron ser los adecuados para el uso. Se procede a analizar si dichos componentes cumplen con las especificaciones de confiabilidad.

Primero se procede a revisar la confiabilidad de los circuitos integrados, cuya vida útil y MTBF será en cierta forma obtenida por los datos otorgados del fabricante y los datos de uso de los usuarios de los mismos.

Elemento	Consideraciones y Confiabilidad
ESP32	Utilizado por su costo y su doble funcionalidad en este sistema (transceiver WIFI y núcleo de procesamiento) junto con la cantidad de pines GPIO disponibles. Su MTBF estimado es 1652346hs. Dicha estimación se realiza dadas las siguientes consideraciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• De existir, no se tiene registro disponible de los ensayos acelerados de confiabilidad de este producto.</li> <li>• El dispositivo no estuvo en el mercado durante un período mayor a ese, por lo que las pruebas empíricas (fuera de lo que puedan ser ensayos acelerados) no pueden sugerir un MTBF mayor a ese.</li> </ul>
HPL402323-2C-190mAh	Batería elegida por su tamaño y capacidad. Dada una garantía de 500 ciclos de carga-descarga de vida útil, como su uso se estipula para cargarse cada 24hs, la vida útil será mayor a 1.3 años. Por lo tanto se estima un MTBF de 1193990hs, $\lambda=0.8375$
NCP164	Se estima su MTBF a 12.82 millones de hs.

Tabla 55: Consideraciones

Para el cálculo de confiabilidad del sistema, se consideran dos modos de falla con igual importancia: (a) falla de sistema de emergencias; (b) falla de sistema de alarmas. Se analizan ambos casos por separado para sacar conclusiones de la confiabilidad total del sistema.

La falla (a) se modela de la siguiente manera:



Ilustración 38: Diagrama Confiabilidad Emergencia

Donde se puede ver que es un sistema compuesto por subsistemas en serie. En el caso de la falla (b) se modela el sistema de la siguiente forma:

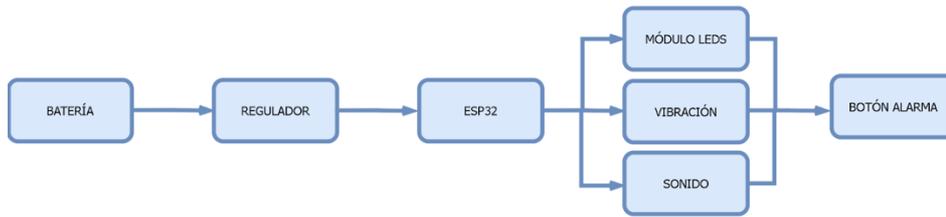


Ilustración 39: Diagrama Confiabilidad Alarmas

El sistema en este caso está compuesto por una serie de subsistemas donde uno de ellos, los módulos de alarma, es un sistema paralelo donde el subsistema falla si fallan todos los módulos al mismo tiempo.

A partir de los diagramas obtenemos para (a):

$$R_{SYSTEM-E} = R_{Bat} \cdot R_{Reg} \cdot R_{ESP} \cdot R_{BE} \quad \therefore \quad \lambda_{SYSTEM-E} = \lambda_{Bat} + \lambda_{Reg} + \lambda_{ESP} + \lambda_{BE}$$

Y para (b):

$$R_{SYSTEM-A} = R_{Bat} \cdot R_{Reg} \cdot R_{ESP} \cdot R_{ModulosA} \cdot R_{BA} \quad \therefore \quad \lambda_{SYSTEM-A} = \lambda_{Bat} + \lambda_{Reg} + \lambda_{ESP} + \lambda_{BA} + \lambda_{MA}$$

Donde a su vez:

$$Q_{MA} = Q_{LED} \cdot Q_S \cdot Q_V \Rightarrow R_{MA} = 1 - (1 - R_{LED})(1 - R_S)(1 - R_V)$$

Habiendo definido los sistemas, se calculan los  $\lambda$  para componentes de los módulos:

Componentes	$\lambda$ en millon de hs
Resistencias	0.031
Capacitores de desacople	0.075434
LEDs	0.01472
Switch Alarma	2.5
Switch Emergencia	0.417
Resistencias Pull-Down	0.007562
Vibrador	5
Buzzer	2.5
Transistores PNP	0.0273

Tabla 56:  $\lambda$  Para Componentes de los Módulos

Para los switches se utilizo su cantidad de ciclos minimos: 100000, y se asumio 6 presiones por dia para el switch de alarma y 1 al día para el de emergencia. Luego se obtienen los  $\lambda$  para los subsistemas:

Subsistema	$\lambda$ en millones de horas
Regulador	$\lambda_{NCP}+2\lambda_{CAP}+\lambda_{Res}=0.26$
ESP	$\lambda_{ESP}32+2\lambda_{CAP}=0.15$
Boton Emergencia	$\lambda_{SwitchE}+\lambda_{Pull-Down}=0.425$
Boton Alarma	$\lambda_{SwitchA}+\lambda_{Pull-Down}=2.508$
Modulo LEDs	$3\lambda_{LED}+3\lambda_{Res}=0.13716$
Modulo Sonido	$\lambda_{Buzzer}+\lambda_{Res}+\lambda_{NPN}=2.5583$
Módulo Vibración	$\lambda_{Vibrador}+\lambda_{Res}+\lambda_{NPN}=5.0583$

Tabla 57: Cálculos Auxiliares

Finalmente con estos datos se puede obtener facilmente el MTBF del sistema de emergencias: MTBFE=597907.32hs, o  $\lambda_{SYSTEM-E}=1.6725$ .

Luego para el sistema de alarmas, se obtiene primero el MTBF del subsistema paralelo "MA", que resulta ser 7313542.35hs y por ende un  $\lambda=0.1367$ . Luego se calcula el MTBF del sistema que resulta ser: MTBFA=256924.1hs o  $\lambda_{SYSTEM-A}=3.8922$ .

Se concluye finalmente que el tiempo medio entre fallas del sistema de alarmas es más del doble que el de emergencia, siendo este el limitante. Al ver los resultados del MTBF de "MA" se muestra que el punto crítico de falla, que se obtiene contrastando el caso del sistema de alarmas contra el de emergencia, es el desgaste mecánico del pulsador de alarma. La redundancia del módulo de alarmas hace que la alta tasa de fallas relativas del buzzer y el vibrador no impacten en gran medida la confiabilidad entre los dos sistemas. Habiendo considerado un peor caso para el uso del botón de alarma, se considera que el MTBF del sistema será el obtenido para el sistema de alarmas, o sea 256924hs o ~30 años, que supera ampliamente las especificaciones. A partir de este se puede obtener la vida útil a 90%, 95% y 99% de confiabilidad.

Confiabilidad	Vida útil
90%	3 años
95%	1.5 años
99%	100 días

Tabla 58: Estimación Vida Útil

A partir de estos valores se puede satisfacer la especificación de vida útil. A su vez estos resultados sugieren que se podría dar una garantía de 1 año, resultando en menos del 5% de retorno que en la gran mayoría de casos se podrán reparar con un cambio de pulsador de alarma.

Si se desea aumentar el tiempo de vida en mejoras futuras a este diseño, se deberá empezar por mejorar la selección del pulsador u obtener un mejor valor para la cantidad de ciclos que pueda soportar al 95% de confiabilidad. Los siguientes dos puntos de mejora serían la batería y el regulador, que tienen la segunda y tercera mayor tasa de fallas del sistema. Se podría considerar utilizar un albergue para la batería que permite reemplazarla tras su desgaste por ejemplo.

### 9.1.2. Aspectos Generales de Software

Para el análisis de la confiabilidad del software de la pulsera, utilizamos el Modelo de tiempo de ejecución de MUSA que predice la intensidad inicial de las fallas. Estas fallas por unidad de tiempo inicial, es una función de las no conocidas pero estimadas fallas esperadas (N) en un tiempo infinito. La ecuación para ejecutar esta predicción es:

$$\lambda_0 = k * p * w_0$$

Donde k es una constante cuantizada para la estructura dinámica del programa y de las máquinas que su valor adoptado cuando se desconoce es  $4,2 \cdot 10^{-7}$ . Por otro lado, p estima el número de ejecuciones por unidad de tiempo y  $w_0$  es la estimación del número inicial de fallas del programa. Podemos determinar p y  $w_0$  como:

$$p = r / \text{SLOC} / \text{ER}$$
$$w_0 = (6 \text{ fallas}/1000) \cdot \text{SLOC}$$

Donde r es el promedio de la velocidad de ejecución de instrucciones (asumimos 150 líneas por segundo), SLOC las líneas de código fuente (1021 para el código de programación del ESP32) y ER para el lenguaje C es igual a 2,5.

De esta manera, el calculo queda definido como:

$$\lambda_0 = k * p * w_0$$
$$\lambda_0 = 4,2E-7 * (150 / 1021 / 2,5) * (6/1000) \cdot 1021$$
$$\lambda_0 = 1,512 \cdot 10^{-7}$$

Dicho resultado significa que se espera una falla cada 21 años. Es importante aclarar que la medida del tiempo es tiempo de ejecución, no de calendario, el modelo de Musa está pensado exclusivamente para tiempo de ejecución.

#### 9.1.2.1. Modelo de Shooman

Se tiene en cuenta el siguiente modelo:

$$R(t) = e^{-k \varepsilon_r(\zeta)t} = e^{-k(\varepsilon_T - \varepsilon_c(\zeta))t}$$

Se procedió a calcular el modelo de Shooman utilizando valores de errores en función de datos recolectados a medida que avanzó la implementación del proyecto. Fue realizado para su cálculo una estimación del tiempo promedio de desarrollo en 30 minutos.

Meses	Errores	Errores corregidos	Errores residuales	H(hrs)	$\lambda$	$\lambda_2/\lambda_1$	$E_{tot}$	$k$
1	4	3	1	15	0.267			
2	7	6	1	30	0.100	0.375	7.800	33.333
3	9	8	1	45	0.044	0.444	9.600	16.667
4	11	10	1	60	0.033	0.750	16.000	3.333
5	13	11	2	75	0.027	0.800	15.000	4.000
6	16	15	1	90	0.033	1.250	-5.000	-1.000
7	18	17	1	105	0.019	0.571	19.667	4.286
8	21	19	2	120	0.025	1.313	10.600	-1.786
9	24	23	1	135	0.022	0.889	55.000	0.417
10	27	26	1	150	0.020	0.900	53.000	0.444
11	29	27	2	165	0.012	0.606	28.538	4.727
12	35	33	2	180	0.033	2.750	23.571	-2.121
							21.252	5.664
<b>Líneas de código</b>								
<b>600</b>					$\lambda$	11.327		
					<b>MTTF</b>	0.088		

El resultado final de la aplicación del modelo fue de **un lambda de 11.327 y un MTTF de 0.088 hr.**

## 9.2. Resultados

### 9.2.1. Validaciones de Hardware

Primero se probaron los distintos módulos de forma independiente, en placa multiperforada y protoboard; para después unir las distintas partes y probar el funcionamiento del sistema. Luego se fabricó el PCB y se repitió el mismo procedimiento. A continuación se detalla el procedimiento para las validaciones del funcionamiento del PCB. Para estas primeras pruebas aisladas se alimentó al circuito con 3V3 externos (es decir, sin la batería conectada).

#### 9.2.1.1. Chequeos de Continuidad y Cortocircuitos en la Placa

Condiciones de la prueba: Placa sin alimentar.

Procedimiento: Empleando un tester se chequeó que hubiera continuidad entre los distintos puntos de la placa en los que hubieran señales de alimentación (+BAT, -BAT, GND, +3V3, 5V), chequeando cada una de dichas ramas por separado, mirando el diseño del PCB y el esquemático en Altium Designer. Luego se chequeó que no hubiera cortocircuito entre pistas de un par de estas señales.

Resultados: Tanto la señal de +3V3 como la de +BAT tuvieron puntos sin continuidad, producto de mala realización de vías por parte del fabricante de PCB. Fue necesario soldarlas entre sí.

#### 9.2.1.2. Circuito de Programación del ESP 32

Condiciones de prueba: Placa sin alimentación. Medición de continuidad empleando tester.

Procedimiento: Se midió continuidad entre cada pin del header al que se conectaría una placa con un FT232 (conectada por USB a la computadora), con la finalidad de cargar un programa.

Resultados: Se encontró que dos de dichas señales no tenían continuidad y se las soldó apropiadamente. Se debió a falta de continuidad en vías, debido a mala fabricación de la placa. Luego de los arreglos, se pudo cargar el programa correctamente.

#### 9.2.1.3. Módulo iluminación

Condiciones de la prueba: Circuito alimentado con +3V3 externos, provenientes de un Analog Discovery.

Procedimiento: Primero se probaron individualmente los leds, verificando que cada una de sus componentes (roja, verde y azul) estuvieran funcionando como se esperaba. Luego se probaron distintas combinaciones de los leds encendidos con los 8 colores empleados para alarmas.

Resultados: Para la componente verde del LED 1 (conectado al GPIO 16 del ESP 32) fue necesario soldar un cable dado que no había continuidad en una vía de su rama en el circuito. Resultando en el correcto funcionamiento de todas las componentes de los leds. En cuanto a las pruebas de combinación de colores, se puede decir que resultó exitosa. Sin embargo, manipulando la placa fácilmente se desoldaban pines de los leds y era necesario volver a soldarlas.

#### 9.2.1.4. Módulo Botones

Condiciones de la prueba: Circuito alimentado con 3V3 externos, provenientes de un Analog Discovery. El programa encendía un led y enviaba un mensaje de debug en caso de que se presionara un botón.

Procedimiento: Se presionó de a un botón por vez, esperando que se encendiera un led y se recibiera un mensaje de debug en la computadora.

Resultados: Funcionaron correctamente, gracias a que previamente sus terminales conectadas a +3V3 fueron soldadas a los +3V3, dado que se encontraban aisladas.

#### 9.2.1.5. Módulo Vibración

Condiciones de la prueba: Circuito alimentado con 3V3 externos, provenientes de un Analog Discovery. Se le cargó al ESP 32 un programa que únicamente encendía el motor.

Resultados: Anduvo como se esperaba.

#### 9.2.1.6. Módulo Sonido

Condiciones de la prueba: Circuito alimentado con 3V3 externos, provenientes de un Analog Discovery. Se le cargó al ESP 32 un programa que únicamente encendía el buzzer.

Resultados: El programa cargado inicialmente encendía el GPIO al cual se alimentaba el buzzer con una señal continua y no andaba dado que habíamos cometido el error y deberíamos haberlo controlado con PWM. El haber chequeado de forma aislada, se pudo detectar la causa fácilmente y se modificó el código que luego controlaría al buzzer en el programa completo. Esto no se había observado previamente en la multiperforada ya que el buzzer empleado en aquella placa era otro más grande que funcionaba con continua correctamente.

#### 9.2.1.7. Módulo Alimentación

Condiciones de la prueba: Salida del LDO desconectada de la alimentación del resto del circuito, para evitar problemas en caso de que algo no funcionara bien en el circuito de alimentación.

Procedimiento: Se conectó la batería en BAT+ y en BAT- y se enchufó el micro USB a 5V y GND externos.

Resultados: Se observó que se encendieron los leds de debug correspondientes: el que indica que se está cargando la batería y luego el que indica que la batería está cargada. Se midieron +3V3 a la salida del LDO, que era lo esperado. Sin embargo, después de conectar y desconectar un par de veces se observó que habían 3,7V a la salida del LDO (cercanos a los 3,8V que entregaba la batería. Se observó también que el GND del circuito estaba en 3,1V. Inicialmente se pensó que había un cortocircuito entre GND y algún punto del circuito de alimentación (ya que el resto del circuito no estaba conectado, esto permitía encontrar más rápido el problema). Sin embargo, la hipótesis no era correcta. Se trataba del circuito de protección de la batería. Investigando se concluyó que la batería incluye circuito de protección de sobrecarga y sobre descarga, por lo que se decidió esquivar esta protección diseñada por nosotros. Así se obtuvieron los 3V3 a la salida del LDO, permitiendo finalmente conectar el circuito de alimentación al resto del circuito de la placa.

#### 9.2.1.8. Funcionamiento completo de la Placa

Al conectar las distintas partes y cargar el programa final a la placa, resultó funcionar todo de la forma esperada y de forma segura ya que el procedimiento de pruebas de cada módulo se lo hizo aislado evitando que algún inconveniente en un punto afectara al resto de las partes, y permitiendo resolver los problemas de fabricación más rápido.

#### 9.2.1.9. Mediciones

##### 9.2.1.9.1. Tensión entre Bornes de Batería

Se midió la tensión entre los bornes de batería en distintos momentos para chequear que se encontrara dentro de los valores de operación correctos y se corroboró el correcto funcionamiento. En los casos en los que la tensión estaba cerca de los 3V, se encendía el led de indicación de baja batería, como era de esperarse.

##### 9.2.1.9.2. Tensión a la salida del LDO

Se verificó que hubieran 3V3 a la salida del LDO independientemente de la tensión entre bornes de la batería ya que esta tensión es la que alimenta al resto del circuito, el cual necesita recibir 3V3.

#### 9.2.1.9.3. Consumo de Corriente Durante el Intento de Conexión a Wi-Fi

Durante el intento de conexión a Wi-Fi, se midió el consumo de corriente proveniente de la fuente y resultó ser de 170mA.

#### 9.2.1.9.4. Consumo de Corriente Durante el Presionado del Botón de Emergencia

Durante el presionado del botón de emergencia, se envía dicha información a través de internet a la base de datos y además se encienden los leds en rojo. En esta situación, se midieron 100mA.

#### 9.2.1.9.5. Consumo de Corriente Durante Alarmas

Durante las alarmas se midieron 120mA. En esta situación, habían dos leds encendidos, el buzzer sonando y el vibrador vibrando.

### 9.2.2. Validaciones de Software

Primero se probaron por separado los programas de la pulsera y de la aplicación de celular y luego se integraron las dos partes.

#### 9.2.2.1. Software en la Pulsera

##### 9.2.2.1.1. Iluminación

Condiciones de la prueba: Programa que únicamente encendiera LEDs RGB.

Procedimiento: Se comenzó por probar la obtención de distintos colores deseados a partir de las componentes roja, verde y azul de los leds RGB. Se habían pensado previamente 8 colores distinguibles entre sí para la clasificaciones de 8 medicaciones distintas en el pastillero, por lo que se comenzó por probar esos colores.

Resultados: se observó que varios colores deseados no se veían bien en los LEDs o generaban confusiones con otros de los colores. Fue entonces un proceso iterativo hasta conseguir los 8 colores definitivos que luego fueron empleados para el armado del pastillero. Esto permitió que los colores empleados actualmente efectivamente sean distinguibles por el usuario.

##### 9.2.2.1.2. Botones

Condiciones de la prueba: Programa que únicamente recibiera señal de un botón presionado y el programa entonces encendiera un LED y enviara un mensaje de debug.

Procedimiento: Se presionó un botón y se observó la respuesta del programa. Luego se repitió con el otro botón.

Resultados: La lectura de las señales de los botones, por cada uno de sus GPIOs, anduvo como se esperaba.

#### 9.2.2.1.3. Sonido

La prueba y resolución del problema de la forma en la que se controlaba en buzzer se explicó en la sección de validación de hardware.

#### 9.2.2.1.4. Vibración

El programa para encender el vibrador anduvo como se esperaba.

#### 9.2.2.1.5. Conexión a Wi-Fi

La conexión a Wi-Fi funcionó como se esperaba. En caso de desconectarse, el programa intentaba reconectarse nuevamente, que era parte de lo que se esperaba que sucediera.

#### 9.2.2.1.6. Conexión con la base de datos

La conexión con la base de datos anduvo como se esperaba, tanto para la lectura como para la escritura de datos. Se observó que la respuesta era prácticamente instantánea, lo cual era algo esperado principalmente para dar aviso en caso de que se presione el botón de emergencia.

#### 9.2.2.1.7. Horarios para las alarmas

Se observó que tanto el día de la semana como la hora funcionaban como era esperado, gracias al uso de librerías que se conectan a internet y consultan la hora del momento. No se probó el desfase de tiempo que puede surgir luego de mucho tiempo con desconexión de internet, dado que la pulsera es útil si la pulsera periódicamente puede tener acceso a internet. De lo contrario, su funcionalidad se vería disminuida. De más está decir que una pequeña variación horaria (segundos o unidades de minutos) para la toma de una medicación no es relevante.

### 9.2.2.2. Software de la Aplicación de Celular

#### 9.2.2.2.1. Conexión con la base de datos

Se probó que se pudiera leer y escribir información casi instantáneamente en la base de datos, como era de esperarse.

#### 9.2.2.2.2. Funcionamiento de la aplicación

Se probó que se pueden agregar y eliminar alarmas, se pueden agregar pulseras y funciona correctamente la elección de horarios y días y colores para las alarmas.

#### 9.2.2.2.3. Notificaciones

Se probó que se reciben correctamente avisos (en el instante) en caso de que se haya tomado una medicación o que se haya presionado el botón de emergencia. La rapidez se debe a la buena latencia de la conexión a la base de datos Firebase.

#### 9.2.2.2.4. Posibilidad de controlar varias pulseras a la vez

Se probó que se puede tener correctamente información de distintas pulseras (es decir, de medicaciones correspondientes a diferentes personas). A su vez, se probó que como se inicia sesión con Google, la información que un usuario carga en la aplicación de celular queda guardada en su cuenta y si entra desde otro dispositivo puede acceder a aquella información de las alarmas previamente programadas.

### 9.3. Evaluación

#### 9.3.1. Evaluación de Resultados Técnicos

Si bien el prototipo funciona como se esperaba, no hay conformidad en cuanto a la fabricación del PCB, dado que como muchas vías no fueron construidas correctamente con continuidad, el prototipo tiene varios arreglos para conectar puntos cuya continuidad es necesaria y fundamental. Esto a su vez imposibilitó que la placa y la batería entraran en la carcasa diseñada en una primera instancia y que haya habido que agrandarla especialmente para adaptarla a la placa actual con sus respectivos arreglos. Por ende, se concluye que si se enviara el diseño del circuito a fabricar a un lugar de mejor calidad, la prolijidad sería mayor, el circuito no presentaría inestabilidad en cuanto a des soldaduras de componentes por simples movimientos e incluso la carcasa podría ser más chica, resultando mejor estéticamente.

#### 9.3.2. Evaluación de la Planificación

En cuanto a la planificación, si bien no se respetaron los tiempos pensados originalmente, se rescata que se hizo un rediseño de esquemáticos y construcción del prototipo e integración de sus distintas partes en muy poco tiempo, corroborándose la eficiencia de la forma de trabajo y organización de las distintas partes comprendidas por el proyecto.

## 10. Conclusiones

### 10.1. Cumplimiento de Objetivos

El objetivo principal del diseño en términos del producto es simplificar un aspecto de vida del día a día de adultos mayores y sus cuidadores aumentando la fiabilidad de la toma de medicamentos regulares de los primeros. Esto se logra cumpliendo con los requerimientos y especificaciones determinados para el producto, por lo que en este aspecto se cumplieron los objetivos planteados.

Por otra parte, el objetivo del diseño en términos de sus diseñadores fue lograr un proyecto de ingeniería en su totalidad para un dispositivo con un propósito determinado, donde se lleven a cabo todos los aspectos del diseño. En estos términos, se logró desarrollar un producto con un prototipo funcional que demuestra las capacidades de los diseñadores y de su trabajo en conjunto. El desafío más grande se dio en lograr un dispositivo de bajo consumo, portable y concreto que funcione cumpliendo las funciones que fueron propuestas al inicio del proyecto. Este objetivo fue logrado satisfactoriamente. Por encima de lo que se encuentra en este informe, se destaca el logro de haber coordinado el trabajo de los integrantes del equipo para presentar el trabajo en menos de 2 años de desarrollo, lo cual se logró a partir de un gran esfuerzo y dedicación de los integrantes.

### 10.2. Lecciones Aprendidas

El desarrollo de esta ardua tarea fue en gran medida un proceso colaborativo que solo es posible a través de la acumulación de esfuerzos en tiempo y entre colaboradores tanto directos como indirectos, ya sea en forma de división del trabajo o pulido de ideas, o por la siempre creciente acumulación de conocimiento y experiencias técnicas de tutores, compañeros y la comunidad ingenieril a nivel mundial.

La documentación es un proceso continuo de acumulación y corrección que logra plasmar en forma concisa el trabajo de más de un año de desarrollo que comienza como un simple objetivo, una solución a un problema, y termina con un producto de calidad.

### 10.3. Recomendaciones para Futuros Diseños

Para los lectores de este informe que buscan comenzar el diseño de su primer producto en su totalidad, se le recomienda priorizar la organización de la investigación y documentación del proyecto de tal manera de que los avances sean distinguibles y accesibles a lo largo del desarrollo del proyecto. Se recomienda compartimentar de la mejor manera posible toda la información encontrada, todo avance documentado, toda fuente de desarrollo desde los componentes y el software hasta las referencias de detalles, cuanto más ínfimos sean, que fueron utilizados para avanzar el diseño final. De esta forma se logra un desarrollo más suave de todas las tareas a realizar.

Si lo que el lector busca es mejorar el diseño presentado, se recomienda entrar en contacto más estrecho con proveedores para obtener alternativas de diseño de los componentes con mejor confiabilidad, particularmente los componentes mecánicos y de alimentación, como ser pulsadores o baterías, dado que en diseños portátiles de bajo consumo estas demostraron ser las partes más críticas para la calidad final del producto.

## 11. Referencias

Consumo De Medicamentos En Los Ancianos: Resultados De Un Estudio Poblacional:  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57271998000300006](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271998000300006)

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo:  
<https://www.indec.gob.ar>

Por qué hay tantos pacientes que no toman correctamente su medicación:  
<https://www.infobae.com/salud/2021/11/30/por-que-hay-tantos-pacientes-que-no-toman-correctamente-su-medicacion/>

Producto similar ya existente. Pastillero con alarma:  
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/multi-function-lcd-alarm-promotional-7-compartments-pill-box-60227568655.html>

Producto similar ya existente. Pill Buddy:  
<https://ortopediaencasa.com/pastillero-inteligente-para-app-pill-buddy-6075.html>

Producto similar ya existente. Pulsera de adherencia a medicamentos Ivy Health:  
<https://holatelcel.com/internet-de-las-cosas-i-o-t/salud/esta-pulsera-jamas-olvidaras-tomar-tus-medicamentos/>

Producto similar ya existente. Teleasistencia Domiciliaria:  
[http://ciapat.org/es/catalogo\\_producto/TeleasistenciaDomiciliaria](http://ciapat.org/es/catalogo_producto/TeleasistenciaDomiciliaria)

Producto similar ya existente. MedMinder:  
<https://www.medminder.com/pill-dispenser/>

Producto similar ya existente. MedFolio Cellular PillBox:  
<https://www.medfoliopillbox.com/product/medfolio-pillbox/>

Diferencias modelos ESP8266:  
<https://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=esp8266-module-family>

Costos de módulos Wi-Fi en Argentina:  
<https://listado.mercadolibre.com.ar/esp8266-wemos-d1-mini#D%5BA:esp8266%20wemos%20d1%20mini%5D>

Bienes Inmuebles de Dominio Privado:  
<https://www.economia.gob.ar/digesto/resoluciones/sh/1997/aresolsh047.htm>

Alternativas de iluminación:  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15502724.2015.1004412>

Calor de disipación:  
[http://burncentrecare.co.uk/about\\_burned\\_skin.html#:~:text=A%20burn%20is%20damage%20to,\(less%20than%20a%20second\)](http://burncentrecare.co.uk/about_burned_skin.html#:~:text=A%20burn%20is%20damage%20to,(less%20than%20a%20second))

Batería recargable modelo LQ-S1:

[https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-869402292-bateria-reloj-smartwatch-lq-s1-lq-s1-smart-watch-\\_JM#position=1&type=item&tracking\\_id=065e9247-e056-48bb-884](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-869402292-bateria-reloj-smartwatch-lq-s1-lq-s1-smart-watch-_JM#position=1&type=item&tracking_id=065e9247-e056-48bb-884)

Batería recargable modelo ZH-01:

[https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-845206734-bateria-reloj-smartwatch-modelo-zh-01-\\_JM#position=17&type=item&tracking\\_id=0bd453f0-699b-4ac5-944a-cab3c3ba9378](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-845206734-bateria-reloj-smartwatch-modelo-zh-01-_JM#position=17&type=item&tracking_id=0bd453f0-699b-4ac5-944a-cab3c3ba9378)

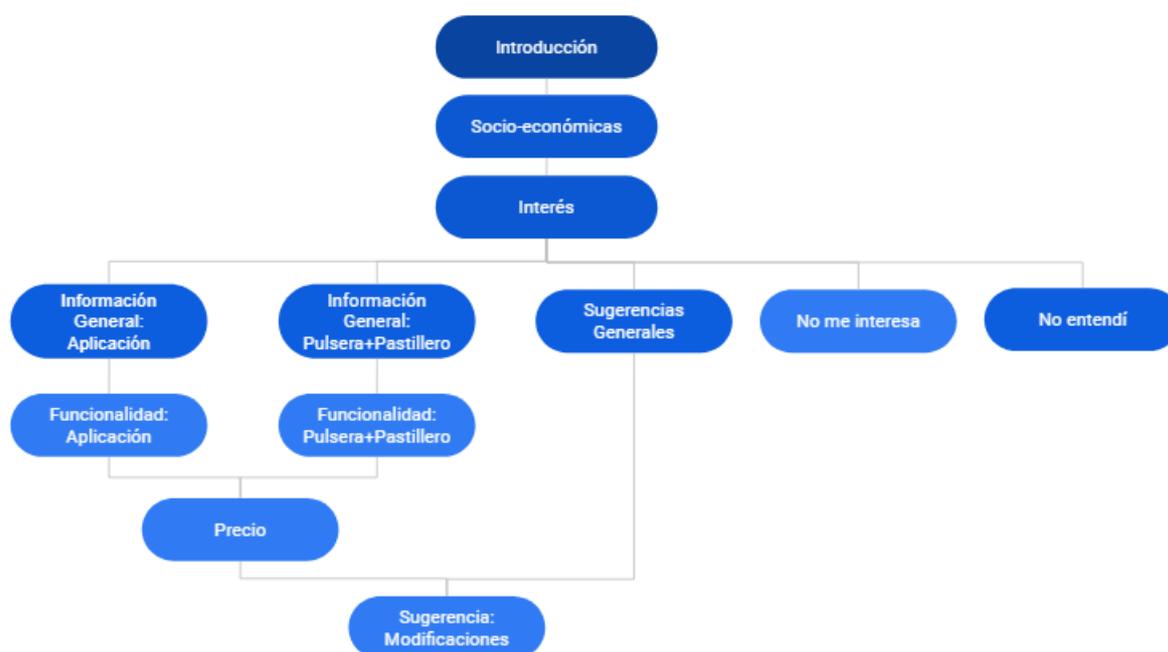
Batería recargable modelo Q18:

[https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-793485134-bateria-reloj-inteligente-smartwatch-q18-500mah-litio-37v-\\_JM#position=2&type=item&tracking\\_id=0bd453f0-699b-4ac5-944](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-793485134-bateria-reloj-inteligente-smartwatch-q18-500mah-litio-37v-_JM#position=2&type=item&tracking_id=0bd453f0-699b-4ac5-944)

## 12. Anexos

### 12.1. Recolección de Datos: Encuesta

Para obtener los requerimientos de los potenciales clientes del producto a desarrollar se llevó a cabo una encuesta. A continuación, se muestra un esquema general de la misma y también se adjunta en el anexo. La finalidad de las ramificaciones es poder identificar distintos perfiles dentro de posibles clientes y a cada uno de estos hacerles las preguntas adecuadas. Dentro de los usuarios de nuestro producto hay dos públicos distintos: las personas que toman medicaciones y que usarían la pulsera a modo de recordatorio, y aquellos que usarían la aplicación de celular para tener un seguimiento de la toma de medicaciones de otra persona. Es por eso que, quienes resultan interesados en hacer uso del producto, se dividen en estas dos categorías, que en el diagrama se identifican como “Información General: Aplicación” e “Información General: Pulsera + Pastillero”.



La encuesta realizada, como se muestra en el esquema anterior, está formada por doce secciones:

- Introducción
- Socioeconómica
- Interés
- Información General: Aplicación
- Información General: Pulsera + Pastillero
- Funcionalidad: Aplicación
- Funcionalidad: Pulsera + Pastillero
- Precio
- Sugerencias Generales
- Sugerencia: Modificaciones
- No me interesa
- No entendí
- A continuación, se detalla el objetivo de cada una de estas secciones en la encuesta y sus preguntas.
- Se utiliza el formato:

- Pregunta
- Opción de respuesta
- Justificación.

### **Sección 1: Introducción**

En esta sección se pidió que los encuestados completaran con su E-mail, con la finalidad de poder contactarse con los encuestados en caso de que sea necesario, además de utilizarlo como identificador para cada encuestado a la hora de compilar y procesar la información de la encuesta.

### **Sección 2: Sociodemográficos**

El objetivo de esta sección fue poder distinguir las clases sociales de aquellas personas que estarían interesadas en el producto y que por lo tanto serían potenciales clientes. Las preguntas en esta sección fueron las siguientes:

- ¿En qué provincia vive Ud.?
- ¿En qué ciudad o zona vive dentro de la provincia mencionada?
- ¿Cuál es el último nivel de estudios que finalizó quien aporta mayores ingresos en su hogar?
  - Ninguno
  - Preescolar
  - Primaria
  - Secundaria
  - Terciario
  - Universitario
  - Posgrado
- Marque cuáles de estas cosas tiene en su casa o apartamento:
  - Televisión
  - Teléfono celular
  - Heladera
  - Lavarropas
  - Equipo de música
  - Moto
  - Auto o camioneta
- ¿Cuenta con conexión a internet en su casa o apartamento?
  - Si
  - No

El método utilizado es un cuestionario para obtener el nivel socioeconómico A,B,C del encuestado. Las primeras dos preguntas se utilizan como segmentación geográfica específica para el target del producto y las tres preguntas restantes ubican al encuestado en una categoría del nivel socioeconómico A,B,C.

### **Sección 3: Interés**

La finalidad de esta sección fue poder separar a las personas encuestadas para redirigirlos a las preguntas pertinentes y así limpiar la población de los datos y lograr que los mismos se mantengan representativos de la demográfica buscada. Por ejemplo, se separó a los encuestados interesados en ser usuarios de la pulsera y el pastillero a las preguntas relacionadas con éstas en su uso y funcionalidad, que no afectarían a los usuarios de la aplicación. Se consideró que los encuestados podrían ser divididos en cinco grupos diferentes:

- Encuestados que serían usuarios de la pulsera y/o del pastillero, dado que toman medicación y les podría resultar útil el producto para realizar estas actividades de manera más ordenada. A estos encuestados se les hicieron preguntas acerca de cómo se organizan actualmente con sus medicaciones y se les preguntó sobre distintos aspectos funcionales de la pulsera y del pastillero.
- Encuestados que serían usuarios de la aplicación de celular porque necesitan llevar un control sobre las medicaciones de otra persona. A estas personas se les hicieron preguntas sobre la situación actual en la que deben llevar un control sobre medicaciones de otra persona y se les hicieron preguntas acerca de la funcionalidad de la aplicación y de aquellos aspectos que les resultaría útil poder controlar o monitorear desde sus teléfonos celulares. Es este el grupo de personas que serían nuestros potenciales clientes, es decir, quienes comprarían el producto.
- Encuestados que no necesitan ni el pastillero, ni la pulsera, ni la aplicación, pero que de todos modos consideran que la idea del proyecto tiene mérito. A estos encuestados se les valoró la opinión de aspectos generales del producto y se les dio la posibilidad de ofrecer sugerencias para el mismo, pero se los excluyó de aspectos de organización de medicamentos y de la definición del precio dado que no serían usuarios o posibles compradores del producto.
- Encuestados que no le ven utilidad o mérito al proyecto planteado, cuyo valor informativo radica únicamente en sus razones para no encontrar dicha utilidad y sugerencias que podrían haberlo atraído como potencial usuario del producto. Se mantiene a estos encuestados fuera de preguntas directamente referidas a aspectos funcionales del producto.
- Encuestados que no entienden en qué consiste la propuesta del proyecto.

En esta sección, para diferenciar entre los 5 grupos mencionados, se formuló la siguiente pregunta:

- ¿Cuál es su opinión sobre el producto que queremos desarrollar?
  - ¡Me encanta! Sería ideal para recordar el momento de cada una de mis medicaciones diarias.
  - ¡Me encanta! Lo veo útil para tener un seguimiento de la medicación de un familiar o persona a cargo.
  - No lo necesito, pero me parece buena la idea.
  - No le veo utilidad.
  - No entendí bien para qué serviría.

Cada respuesta se corresponde en el orden presentado con los grupos mencionados en orden dado.

#### **Sección 4: Información General: Aplicación**

Esta sección es la primera que se le presenta al grupo de encuestados interesados en ser usuarios de la aplicación de teléfono celular (segundo grupo), que serán los únicos que acceden a ella. Buscando reducir la cantidad de preguntas que se le presentan al mismo tiempo a los encuestados, se separan las preguntas para este grupo entre los aspectos del ambiente en el que el producto se utilizara para dilucidar las necesidades del usuario, que se presentan en esta sección, y los aspectos directamente funcionales del producto para los cuales el usuario expresa sus necesidades y preferencias, cuyas preguntas se encuentran en la sección que le sigue. Las preguntas y sus justificaciones se dan a continuación:

- Edad: Para obtener información demográfica de los usuarios de la aplicación y entender cuál es la edad del target para el producto.
- Edad de la persona asistida: Brinda información demográfica del target de la pulsera y el pastillero.
- ¿Cómo se asegura actualmente de que la persona asistida esté tomando las medicaciones?: Puede brindar información de competidores y ayuda a comprender el estado de los

interesados en volverse usuarios. Indica cuál es la distribución del problema que se busca resolver.

- ¿Cuál es su grado de confianza sobre la persona asistida?: Se busca verificar la fuente del interés por el producto. También define el peso sobre los requerimientos de la información presentada por la aplicación.
- ¿Cuántas personas llevan el control de la persona asistida actualmente?: Define los requerimientos de la aplicación para el uso de una misma instancia por múltiples usuarios.
- ¿Cuántas veces al día la persona asistida toma medicación? (Si no sabe, no complete con lo que supone): Define los requerimientos mínimos de la configuración de alarmas y horarios de la aplicación.
- ¿Cuántas medicaciones distintas toma la persona asistida? (Si no sabe, no complete con lo que supone): Define los requerimientos mínimos de la configuración de código de colores del producto.

### **Sección 5: Información General: Pulsera y Pastillero**

A esta sección se redirige al primer grupo de encuestados, los interesados en volverse usuarios de la pulsera y el pastillero. Siguiendo el interés por no abrumar a los encuestados con demasiadas preguntas al mismo tiempo, se sigue la misma forma de separación que se dio en la sección anterior. En esta instancia se les pregunta a los encuestados sobre el ambiente en el que se utiliza el producto para obtener información de las necesidades de los usuarios. Luego se les presenta con la sección de funcionalidad donde se obtendrá información respecto de las necesidades y preferencias funcionales del producto. A continuación las preguntas de esta sección y sus justificaciones:

- Edad: Brinda información demográfica del target de la pulsera y el pastillero.
- ¿Cómo recuerda actualmente los horarios en los que toma medicación?: Puede brindar información de competidores y ayuda a comprender el estado de los interesados en volverse usuarios de la pulsera y el pastillero. Indica como es la distribución del problema que se busca resolver.
- ¿Cuántas veces al día toma medicación?: Define los requerimientos mínimos del dimensionamiento del pastillero y de la regularidad del uso de los elementos de alarma tanto en la pulsera como en el pastillero.
- ¿Cuántas medicaciones distintas toma?: Define los requerimientos mínimos del dimensionamiento del pastillero, del código de colores del mismo.
- ¿Cada cuánto tiempo estaría dispuesto a cargar la batería de la pulsera?: Define los requerimientos de la batería y los límites de consumo asociados a la misma.

### **Sección 6: Funcionalidad General: Pulsera y Pastillero**

A esta sección acceden los encuestados interesados en ser usuarios de la aplicación (grupo dos) luego de responder las preguntas de la sección de información general. A diferencia de la sección anterior las preguntas en esta se concentran en los aspectos funcionales del diseño del producto a utilizar y las preferencias de los potenciales clientes a cómo debe ser este funcionamiento y si ciertas funcionalidades son deseables o no. Las preguntas y sus justificaciones:

- ¿Quién sería el encargado de llenar el pastillero con las medicaciones correspondientes?

Dado que quien se encarga de rellenar el pastillero puede ser la persona asistida y no la que controla esta pregunta brinda información respecto de si notificar cuando el pastillero tiene un medicamento que se está acabando debe ser notificado en la aplicación por necesidad.

- ¿Qué tan importante le parece recibir una notificación cuando el stock de algún medicamento en el pastillero está por acabarse?

Si bien la pregunta anterior indica si la notificación de restock es una necesidad, la misma puede ser de todas formas una preferencia de los usuarios de la aplicación. De ser una preferencia y no una necesidad el peso a considerar como requerimiento será distinto.

- ¿Qué tan importante le parece que la pulsera tenga un botón de emergencia (que envía alarma a familiar/persona a cargo)?

Brinda información respecto de una funcionalidad extra cuyo valor para el cliente es desconocida.

- ¿Qué tan importante le parece recibir notificación en caso de que NO se haya cumplido con la ingesta de una medicación?

Brinda datos concretos de una necesidad que se presume, dado que es posible que los clientes prefieran únicamente configurar los horarios de ingesta o que sea preferible que la notificación suceda cuando la ingesta se haya cumplido.

- ¿Le gustaría recibir notificación cada vez que se haya tomado una medicación?

Completa la información de la pregunta anterior, brinda información sobre los requerimientos de los clientes sobre las funcionalidades de notificación de la aplicación.

- Además del botón de emergencia en la pulsera, ¿Le sería de utilidad que la pulsera detecte caídas y lo notifique a través de la aplicación?

Brinda información respecto de una funcionalidad extra cuyo valor para el cliente es desconocida. La detección podría brindar al usuario de la aplicación un alivio de ser de interés esta funcionalidad.

### **Sección 7: Funcionalidad: Pulsera y Pastillero**

Llegan a esta sección los encuestados interesados en ser usuarios de la pulsera y pastillero luego de responder las preguntas de la sección de información general correspondiente. La separación sigue el mismo criterio que en el caso de la aplicación, en esta sección las preguntas refieren a aspectos funcionales del producto y si ciertas funcionalidades son deseables o no.

- ¿De qué forma le parecería mejor que la pulsera avise el horario de ingesta del medicamento? Puede combinarlas seleccionando más de una opción.

Se dan tres opciones previstas y la posibilidad de agregar otra escrita por el encuestado, en formato de check-box. Se busca obtener la preferencia sobre la interfaz de la pulsera al momento de indicar el horario de ingesta.

- Además del botón de emergencia que se encuentra en la pulsera, ¿Le sería de utilidad que la pulsera detecte caídas?

Brinda información de una funcionalidad extra de la pulsera. Dado que el encuestado en este caso sería cuya caída la pulsera detectaría, se considera valiosa la preferencia considerando que la persona asistida será más consciente de sus habilidades en dado caso.

### **Sección 8: Precio**

En esta sección se realiza un estudio de mercado obteniendo el precio que los potenciales clientes están dispuestos a pagar por el producto. Esto indicará el precio final y por consiguiente limitará el presupuesto del proyecto. Para mantener los datos lo más representativos posibles solo acceden a esta sección los encuestados de los grupos 1 y 2, aquellos interesados en ser usuarios del producto y comprarlo. Los rangos se obtuvieron a partir del precio en dólares a conversión del momento en que se abrió la encuesta, utilizando como límite inferior productos de consumo cotidiano y como límite

superior precios de aparatos electrónicos de lujo comparables, dejando la posibilidad al encuestado de especificar un precio y limitando la cantidad total de opciones para no abrumar a los encuestados.

- ¿Hasta cuánto estaría dispuesto a pagar por el producto final (Pastillero + Pulsera + App)?
  - Hasta AR\$ 5000
  - Hasta AR\$ 10000
  - Hasta AR\$ 15000
  - Hasta AR\$ 20000
  - Hasta AR\$ 25000
  - Hasta AR\$ 30000
  - Hasta AR\$ 35000
  - Hasta AR\$ 40000
  - Hasta AR\$ 50000
  - Hasta AR\$ 60000
  - Otro: ...

### **Sección 9: Sugerencias Generales**

Se redirige a aquellos que le encuentran mérito al producto, pero no están interesados en volverse usuarios del mismo a esta sección. En la misma se recopilan preguntas relacionadas tanto con la aplicación como con la pulsera y el pastillero particularmente de su funcionalidad evitando las preguntas pertinentes a los aspectos del ambiente donde se utilizarían dado que los encuestados en esta sección no se encuentran en una situación que se corresponda con las necesidades que suple este producto. Se busca obtener información extra e ideas o aspectos que se pudieran haber ignorado en la formulación de la encuesta a través de los encuestados. Las respuestas de esta sección relacionadas con requerimientos de los módulos o del producto se valoran con menor peso que con aquellas obtenidas del grupo de encuestados que están interesados en volverse usuarios del producto. Las preguntas y sus justificaciones:

- ¿De qué forma le parecería mejor que la pulsera avise el horario de ingesta del medicamento? Puede combinarlas seleccionando más de una opción.

Brinda información de la preferencia para los requerimientos de la alarma en el módulo de la pulsera.

- Suponiendo que fueras usuario de la pulsera y pastillero ¿Cada cuánto tiempo estarías dispuesto a cargar la batería de la pulsera?

Brinda información respecto del dimensionamiento de la batería y el consumo de los módulos del producto.

- ¿Qué tan importante le parecería recibir una notificación cuando el stock de algún medicamento en el pastillero está por acabarse?

Brinda información de las preferencias del requerimiento de la información otorgada por la aplicación.

- ¿Qué tan importante le parecería que la pulsera tenga un botón de emergencia (que envíe alarma a familiar/ persona a cargo)?

Brinda información sobre el posible requerimiento de las funciones extra de la pulsera.

- ¿Qué tan importante le parece que en la app se reciba notificación en caso de que NO se haya cumplido con la ingesta de medicación?

Brinda información de las preferencias del requerimiento de la información otorgada por la aplicación.

- ¿Le parecería importante recibir notificación cada vez que se haya tomado una medicación?

Brinda información de las preferencias del requerimiento de la información otorgada por la aplicación.

- Además del botón de emergencia en la pulsera, ¿Le parecería útil que la pulsera detecte caídas y lo notifique a través de la aplicación?

Brinda información sobre la preferencia de funcionalidades extra de la pulsera.

- ¿Le parecería útil que la pulsera sea resistente al agua?

Brinda información sobre los requerimientos de Ingress Protection del producto.

### **Sección 10: Sugerencia: Modificaciones**

Esta es la última sección a la que acceden los encuestados de los primeros tres grupos, aquellos que estaban interesados en ser usuarios y quienes les interesó, pero no lo necesitaban. Se utiliza para dejar que los encuestados ofrezcan ideas a partir de todas las preguntas presentadas u opiniones relevantes o requerimientos que puedan haberse ignorado en el resto de la encuesta.

- ¿Se le ocurre alguna modificación u idea para mejorar el producto que queremos desarrollar?

### **Sección 11: No me interesa**

A esta sección llegan los encuestados que respondieron “No le veo utilidad” en la pregunta de interés sobre el producto. Dado que estos encuestados podrían sesgar los datos de cualquier otra pregunta relevante respecto del producto, se remite a averiguar las razones por las que podría no interesarle el producto y cómo podría cambiarse para que pudiera interesarle en un futuro.

¿Por qué no le interesa el producto?

- ¿Se le ocurre alguna modificación u idea para que le pueda llegar a interesar?

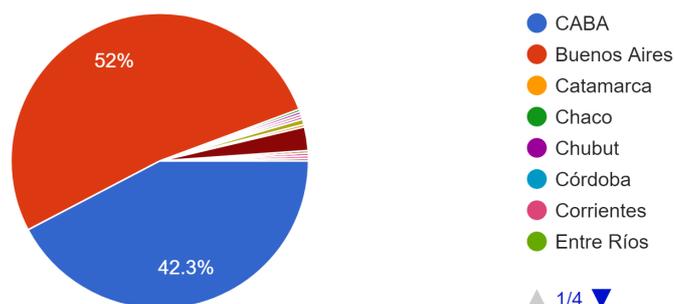
### **Sección 12: No entendí**

Esta sección es accedida por los encuestados que hayan respondido “No entendí bien para qué serviría”, dado que sus respuestas no son representativas para el producto al no entenderlo, se busca ver donde falló la introducción en explicar el fin del producto.

- ¿Qué aspecto le generó dudas sobre la propuesta?

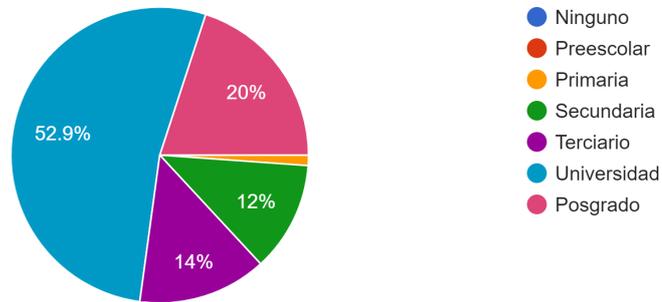
¿En qué provincia vive Ud.?

350 responses



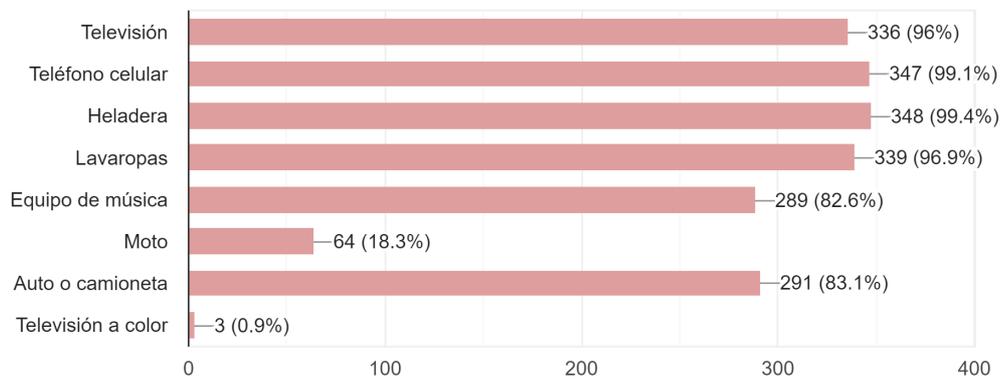
¿Cuál es el último nivel de estudios que finalizó quien aporta mayores ingresos en su hogar?

350 responses



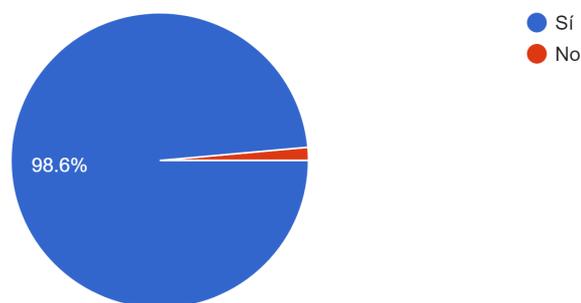
Marca cuáles de estas cosas tienen en tu casa o apartamento

350 responses



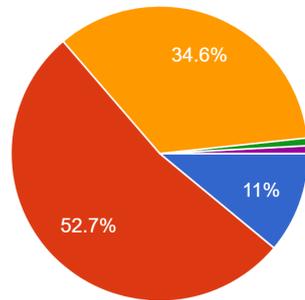
¿Contas con conexión a internet en tu casa o apartamento?

350 responses



¿Cuál es su opinión sobre el producto que queremos desarrollar?

353 respuestas

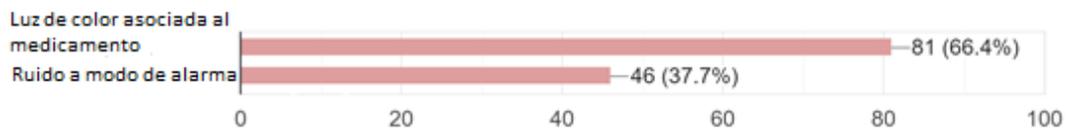


- ¡Me encanta! Sería ideal para recordar el momento de cada una de mis medicaciones diarias
- ¡Me encanta! Lo veo útil para tener un seguimiento de la medicación de un familiar o persona a cargo.
- No lo necesito, pero me parece buena la idea.
- No le veo utilidad
- No entendí bien para qué serviría

¿Cómo le parecería mejor que el pastillero indique el medicamento correspondiente a tomar?

Puede combinarlas seleccionando más de una opción.

122 respuestas



¿De qué forma le parecería mejor que la pulsera avise el horario de ingesta del medicamento?

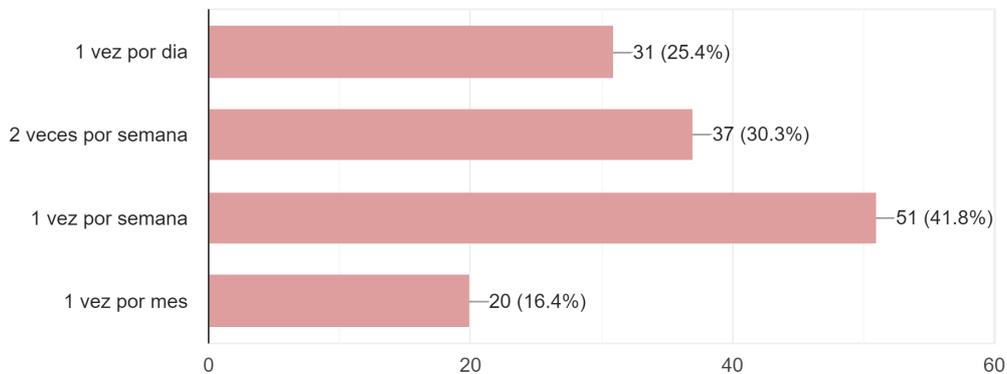
Puede combinarlas seleccionando más de una opción.

122 respuestas



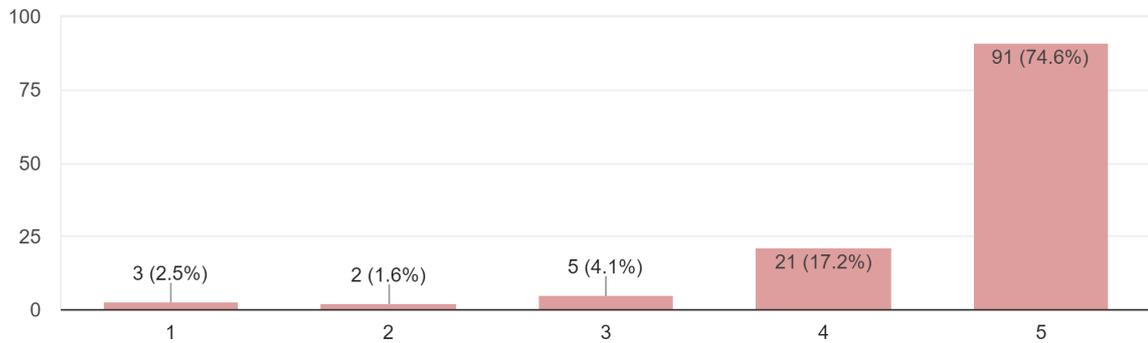
Suponiendo que fueras usuario de la pulsera y pastillero ¿Cada cuánto tiempo estarías dispuesto a cargar la batería de la pulsera o pastillero?

122 respuestas



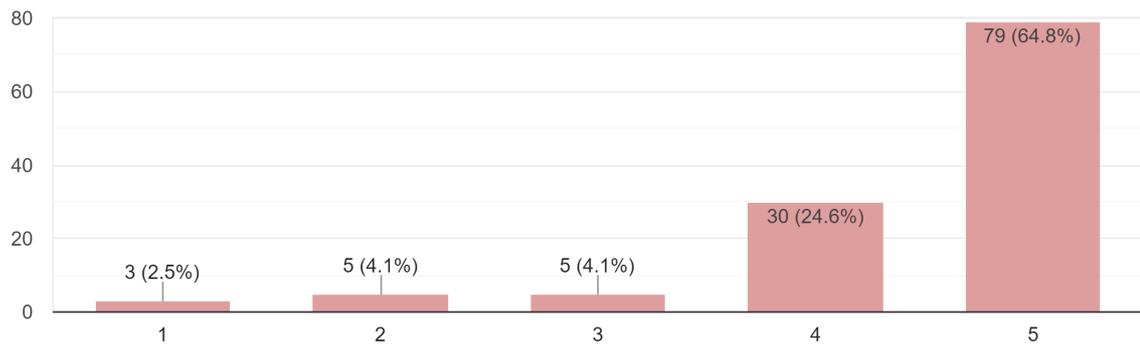
¿Qué tan importante le parecería que la pulsera tenga un botón de emergencia (que envíe alarma a familiar/ persona a cargo)?

122 responses



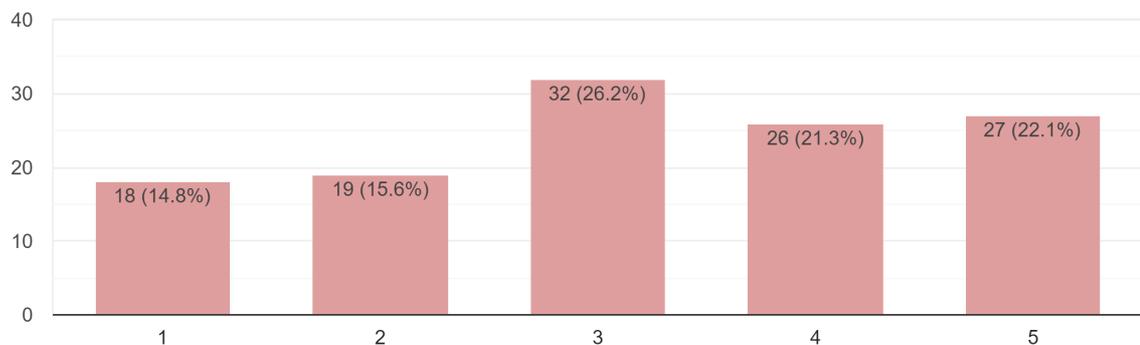
¿Qué tan importante le parecería recibir una notificación cuando el stock de algún medicamento en el pastillero está por acabarse?

122 responses



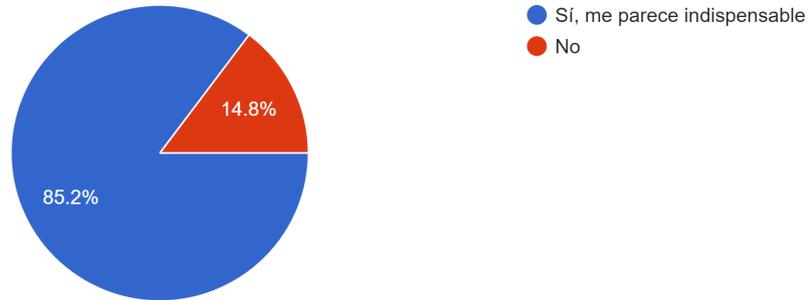
¿Le parecería importante recibir notificación cada vez que se haya tomado una medicación?

122 responses



¿Le parecería útil que la pulsera sea resistente al agua?

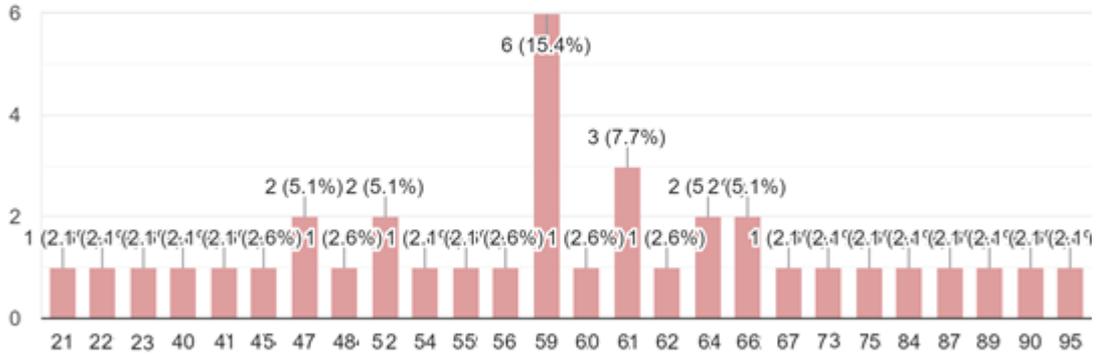
122 respuestas



Edad

39 respuestas

**Información general - Usuario Pulsera y pastillero**



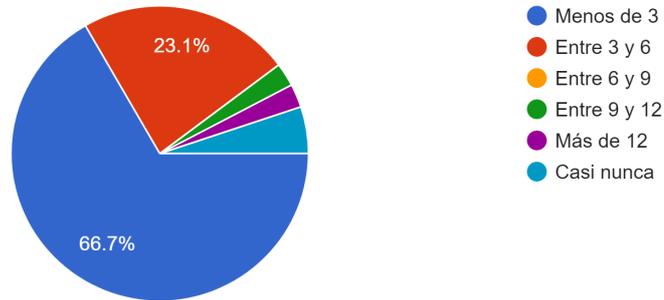
¿Cómo recuerda actualmente los horarios en los que toma medicación?

39 respuestas



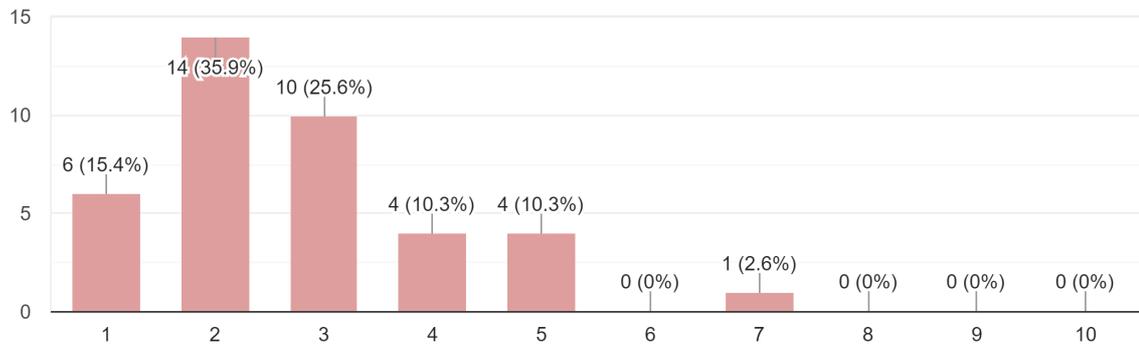
### ¿Cuántas veces al día toma medicación?

39 responses



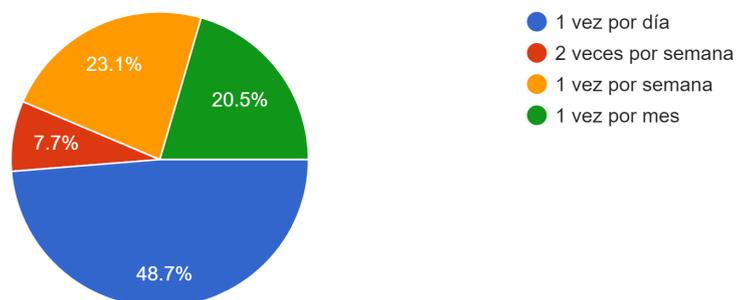
### ¿Cuántas medicaciones distintas toma?

39 responses



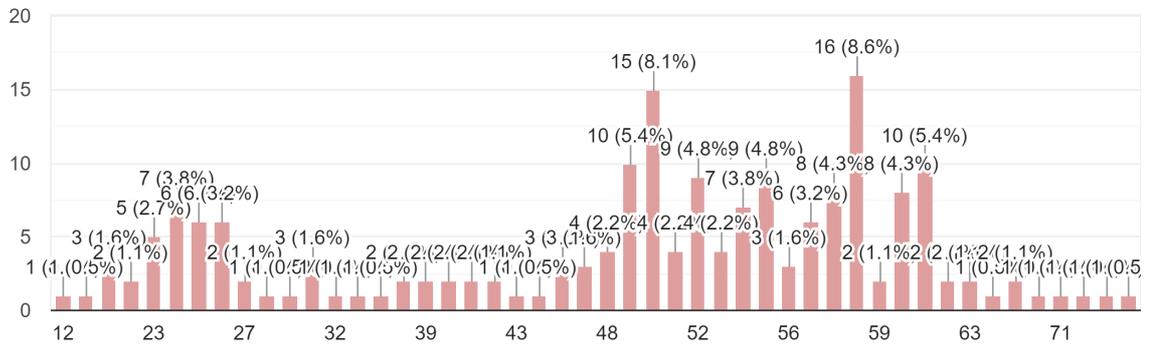
### ¿Cada cuánto tiempo estaría dispuesto a cargar la batería de la pulsera o pastillero?

39 responses



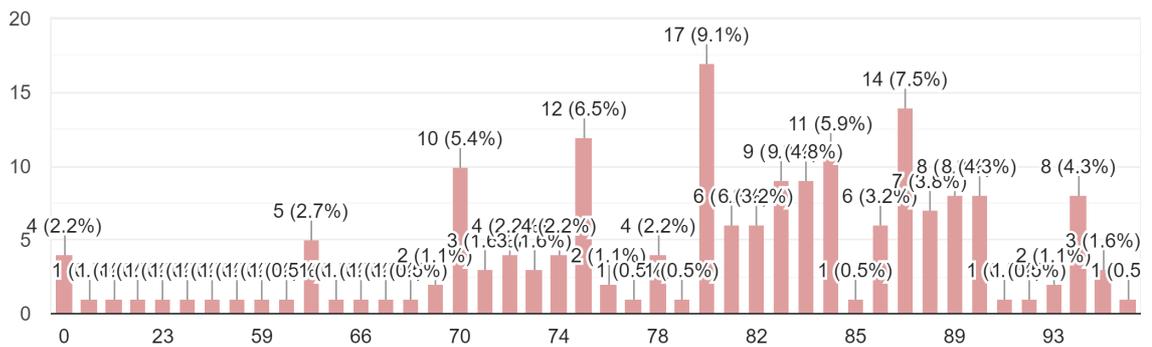
### Edad

186 respuestas



### Edad de la persona asistida

186 respuestas



### ¿Cómo se asegura actualmente de que la persona asistida esté tomando las medicaciones?

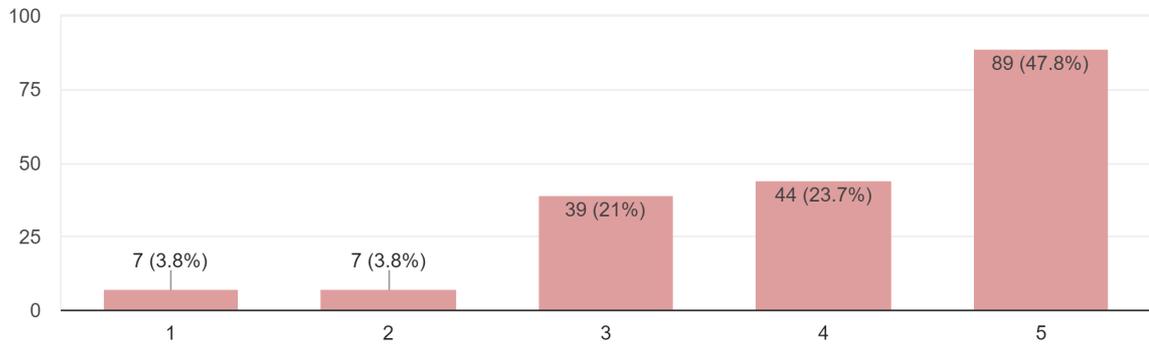
186 respuestas



▲ 1/5 ▼

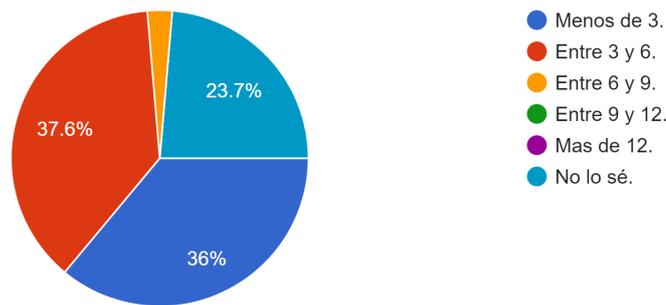
¿Cuál es su grado de confianza sobre la persona asistida?

186 respuestas



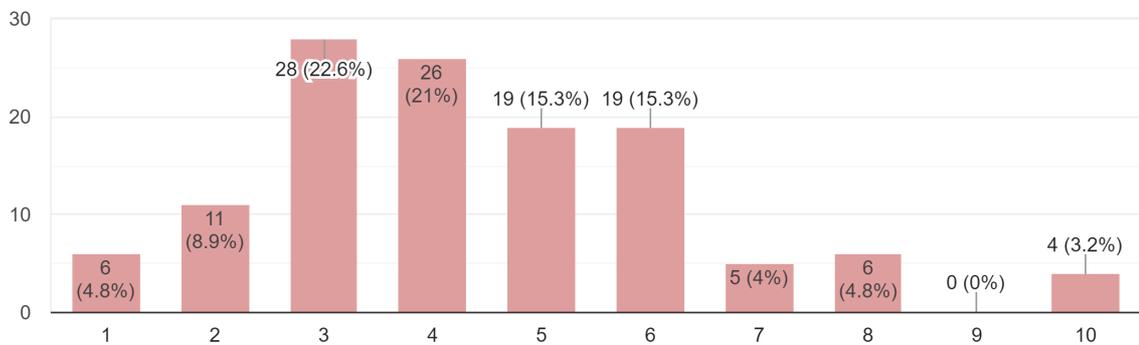
¿Cuántas veces al día la persona asistida toma medicación? (Si no sabe, no complete con lo que supone)

186 respuestas



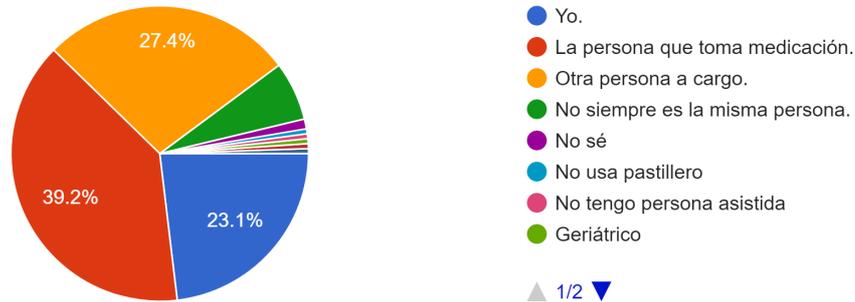
¿Cuántas medicaciones distintas toma la persona asistida? (Si no sabe, no complete con lo que supone)

124 respuestas



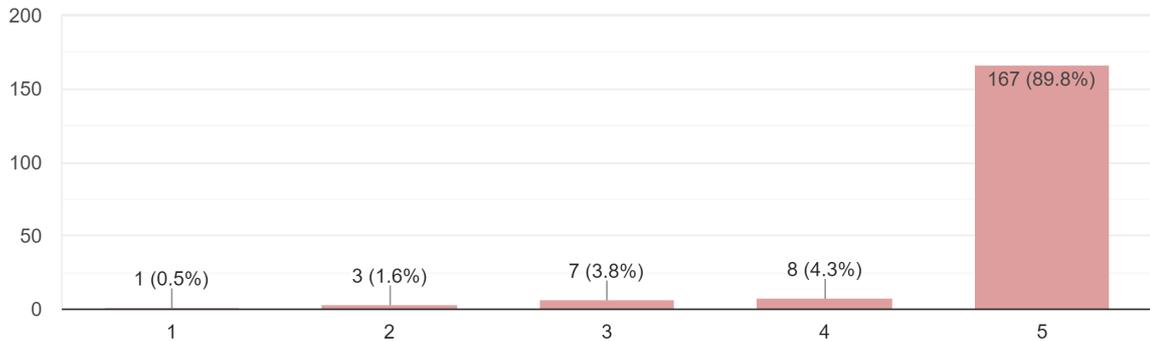
¿Quién sería el encargado de llenar el pastillero con las medicaciones correspondientes?

186 respuestas



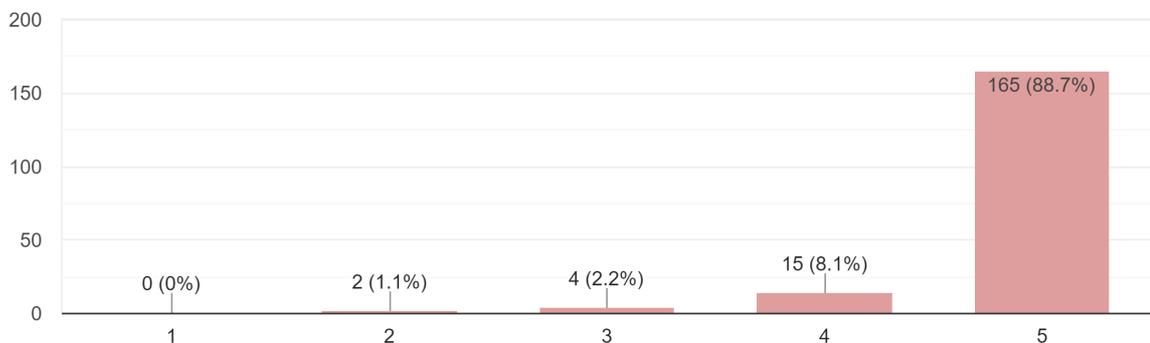
¿Qué tan importante le parece que la pulsera tenga un botón de emergencia (que envía alarma a familiar/persona a cargo)?

186 respuestas



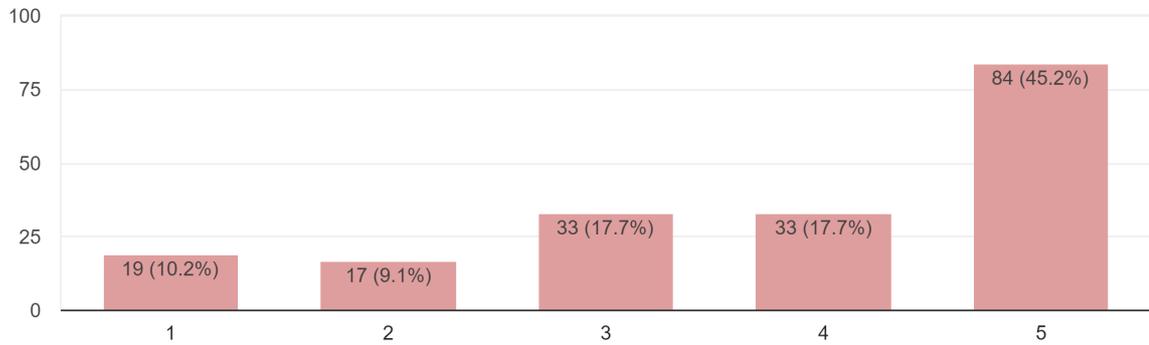
¿Qué tan importante le parece recibir notificación en caso de que NO se haya cumplido con la ingesta de una medicación?

186 respuestas



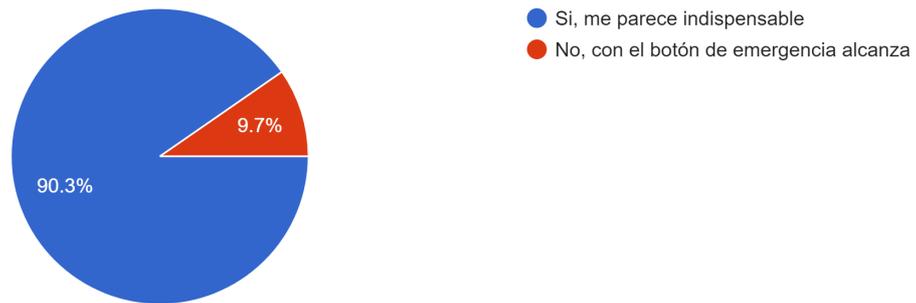
¿Le gustaría recibir notificación cada vez que se haya tomado una medicación?

186 responses



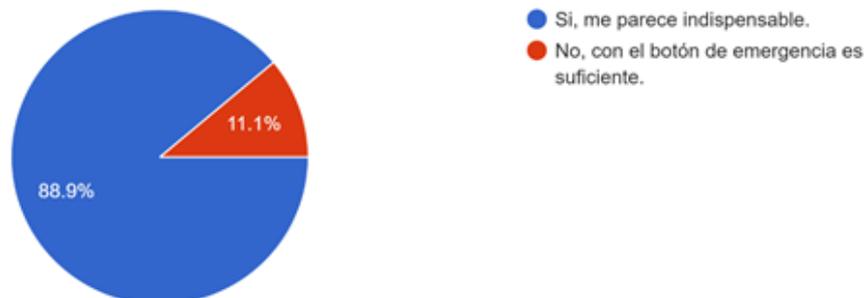
Además de botón de emergencia en la pulsera, ¿Le sería de utilidad que la pulsera detecte caídas y lo notifique a través de la aplicación?

186 responses



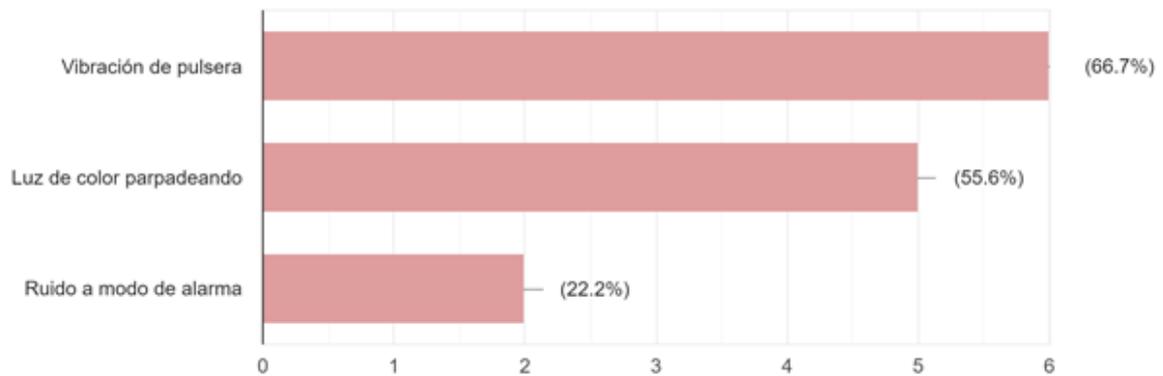
Además del botón de emergencia que se encuentra en la pulsera, ¿Le sería de utilidad que la pulsera detecte caídas?

39 responses



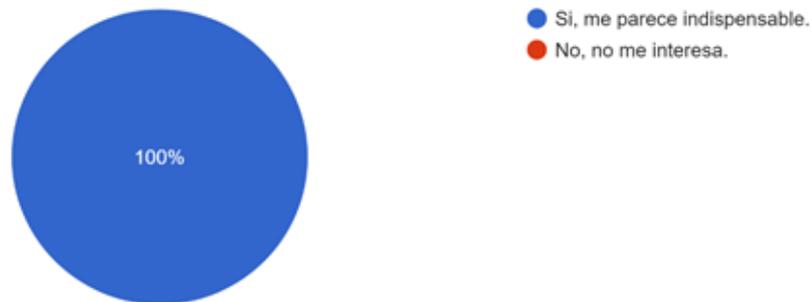
¿De qué forma le parecería mejor que la pulsera avise el horario de ingesta del medicamento?  
 Puede combinarlas seleccionando más de una opción.

39 responses



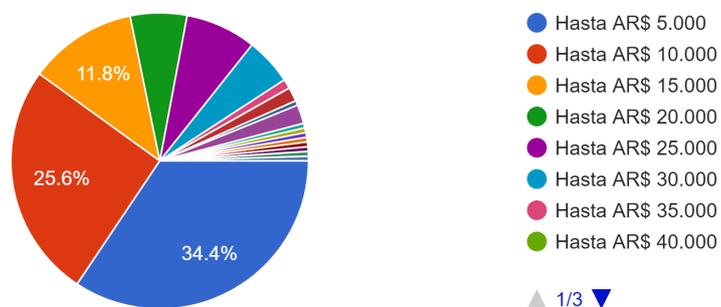
¿Le sería de utilidad que la pulsera sea resistente al agua?

39 responses



¿Hasta cuánto estaría dispuesto a pagar por el producto final (Pastillero + Pulsera + App)?

195 responses



## 12.2. Productos Similares ya Existentes

El siguiente es un pastillero desde el cual se programan alarmas. El inconveniente es que uno debe estar cerca del pastillero para escucharlas.



Ilustración 40: Pastillero Con Alarma

Otro de los sistemas que se encuentran en el mercado internacional se trata de un pastillero que dispone de seis compartimentos de colores distintos para almacenar medicamentos y una aplicación de celular permite programar los horarios de ingesta y controlar el contenido del mismo. Sin embargo, dispone de algunas limitaciones: La gestión de horarios y alarmas para la aplicación requiere, para su uso, que la persona cuente con un Smartphone. El usuario debe conocer las pastillas que debe tomar en cada momento concreto, o bien, debe consultarlas en la aplicación. El stock por cada compartimento es muy pequeño y se debe recargar semanalmente.



Ilustración 41: Pastillero "Pill Buddy"

Existe en el mercado internacional una pulsera que da recordatorio en los horarios de ingesta de medicación diarios y que funciona en conjunto con una aplicación de celular gratuita. En ella, se pueden configurar las alarmas que avisan a qué hora tomar y cuánta dosis de medicamentos específicos. La aplicación de celular asocia cada código de color con cada medicina para que sea más fácil distinguirlas. Una vez asociado cada medicamento con un color y luego de haber configurado las alarmas, el paciente debe usar la pulsera en el transcurso del día. Así, cuando llegue la hora de tomar una pastilla, la pulsera notifica al paciente. Incluso, el usuario tiene la posibilidad de presionar el botón del brazalete y confirmar que se lo ha tomado la medicación. Sin embargo, dado que la pulsera se conecta vía Bluetooth al celular, no se pueden realizar cambios en la programación remotamente. Además, el pastillero no indica a qué medicación corresponde cada color.



*Ilustración 42: Pulsera de Adherencia a Medicamentos IvyHealth*

El siguiente es un producto para dar aviso en caso de emergencia.



*Ilustración 43: Tele Asistencia Domiciliaria*