



Proyecto final de ingeniería electrónica

E-Signs

Pantallas de tinta electrónica con Wi-Fi para
visualización de actividades en aulas del ITBA

Autores: Aguilar, Nahuel 54607
Franco, Tomás 53777

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

Fecha: 17/02/2021

1 Agradecimientos

A nuestras familias, que nos dieron su apoyo y motivación durante todo nuestro transcurso en la carrera.

A todo el personal y profesores del departamento de ingeniería electrónica del ITBA, que nos brindaron las herramientas necesarias para avanzar en nuestra formación, y fueron para nosotros una segunda familia en los años de cursada.

2 Índice

2.1 Contenidos

1 Agradecimientos	1
2 Índice.....	1
2.1 Contenidos	1
2.2 Lista de tablas	8
2.3 Lista de figuras	10
3 Acrónimos y definiciones	12
4 Resumen	15
5 Introducción	16
5.1 Antecedentes	16
5.2 Contexto del proyecto	17
6 Objetivos	17
6.1 Finalidad del proyecto	17
6.2 Planteamiento del problema a resolver	17
6.3 Alcance	18
7 Definición de producto	19
7.1 Requerimientos de cliente	19
7.1.1 Relevamiento de datos	19
7.1.2 Requerimientos finales para trazabilidad	20
7.2 Potenciales clientes.....	22
7.2.1 Requerimientos para escalabilidad	23
7.3 Diagrama funcional de interfaces	23
7.4 Especificaciones de diseño.....	24

7.4.1 Especificaciones funcionales	24
7.4.2 Especificaciones de interfaz	25
7.4.3 Especificaciones de performance	27
7.4.4 Especificaciones de implementación	28
7.4.5 Especificaciones de servicio (RAMS)	29
8 Plan de validación	31
8.1 Bancos de pruebas	31
8.2 Pruebas	32
8.3 Matriz de trazabilidad	42
9 Análisis de Factibilidad	45
9.1 Factibilidad tecnológica	45
9.1.1 Propiedades de pantalla de tinta electrónica	45
9.1.1.1 Análisis del beneficio económico del menor consumo de una pantalla E-ink contra LCD:	46
9.1.2 Exploración del uso de paneles solares en interiores	47
9.1.2.1 Consideraciones de panel solar estándar	47
9.1.2.2 Consideraciones de tecnología GCell: celdas optimizadas para interiores	48
9.1.3 Propuesta de alternativas de diseño	48
9.1.3.1 Opciones de Alimentación	48
9.1.3.2 Opciones de comunicación	49
9.1.4 Elección de una solución	50
9.1.4.1 Esquema modular	50
9.1.5 Estudio de fallas y mitigación	51
9.1.5.1 Diagrama de espina de pescado para fallas posibles	51
9.1.6 DFMEA	52
9.2 Factibilidad de tiempos	54
9.2.1 Programación (Gantt)	55
9.3 Factibilidad económica	56
9.3.1 Tamaño de mercado argentino	56
9.3.1.1 Museos	56
9.3.1.2 Universidades	56
9.3.1.3 Empresas	57

9.3.1.4 Conclusión.....	58
9.3.2 Casa de calidad	59
9.4 Costos.....	60
9.4.1 Costos variables	60
9.4.1.1 Costo de PCB:	61
9.4.2 Costos fijos	62
9.4.3 Costos de inversión	63
9.5 Precio	63
9.5.1 Precios de referencia	64
9.5.2 Proyecto de inversión	65
9.6 Factibilidad legal y responsabilidad civil.....	67
9.6.1 Tipo de Sociedad	67
9.6.2 Factibilidad Legal	69
9.6.2.1 Seguridad eléctrica	69
9.6.2.2 Normativa Europea:.....	69
9.6.2.3 Declaración de conformidad.....	69
9.6.2.3.1 Directiva de baja tensión (LVD: The low voltage directive (LVD) (2014/35/EU)	70
9.6.2.3.2 Compatibilidad electromagnética: según (artículo 3.1 (b) de la directiva R&TTE) EN 301 489-1 V1.8.1/-17 V1.3.2.....	70
9.6.2.3.3 Directiva sobre restricciones de sustancias peligrosas ((RoHS) 2011/65/EU).....	70
9.6.2.3.4 Directiva sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (WEEE). 2012/19/EU.....	71
9.6.2.3.5 Normativas de seguridad.....	71
9.6.2.4 Patentes y copyright	72
9.6.2.5 Marca Registrada (Trademark)	72
9.6.2.6 Normas IRAM:.....	73
9.6.2.6.1 Hardware:	73
9.6.2.6.2 Software:.....	73
9.6.2.7 Normativa Americana	73
10 Ingeniería de detalle	74
10.1 Hardware	74
10.1.1 Diagrama de bloques (hardware)	74

10.1.2 Bloque Batería	74
10.1.3 Microprocesador de bajo consumo	76
10.1.3.1 Comparación de microprocesadores.....	76
10.1.4 Módulo Wi-Fi (ESP-12E)	78
10.1.5 Pantalla de tinta electrónica	80
10.1.6 PDU (Unidad de Distribución de Potencia)	81
10.1.6.1 Llaves de paso	82
10.1.6.2 Circuito de entrada para alimentación doble:.....	83
10.1.6.3 Diodos de baja corriente de pérdidas:.....	84
10.1.6.4 Consumos PDU.....	85
10.1.7 Módulo Alimentación	85
10.1.8 Carcasa	87
10.1.9 Gabinete de seguridad:	87
10.1.10 Seguridad	88
10.1.11 Análisis de consumo y autonomía esperada del dispositivo	90
10.1.12 Pruebas y métricas para producto final	91
10.1.13 Diseño de PCB para producto final	92
10.2 Software.....	94
10.2.1 Diagrama de estados y flujogramas	94
10.2.2 Proceso de desarrollo	96
10.2.3 Desarrollo en Raspberry Pi 3	96
10.2.4 Módulo Wi-Fi	97
10.2.5 Desarrollo del servidor	97
10.2.5.1 AulamaticaRetriever.py	97
10.2.5.2 imageDrawer.py.....	97
10.2.5.3 imageDeveloper.py	98
10.2.5.4 imageMaker.py	98
10.2.5.5 api.py.....	98
10.2.5.6 Ngrok.....	98
10.2.5.7 Servidor final	98
10.2.6 Desarrollo en microcontrolador	99
10.2.7 Interfaz de configuración	103
11 Construcción del prototipo	105

11.1 Módulos Internos.....	105
11.2 Diseño mecánico	106
11.3 Detalles de construcción y precauciones de montaje	106
11.3.1 Proceso de ensamble y prueba de producto final	106
12 Validación del prototipo	107
12.1 Pruebas realizadas	107
12.1.1 TEST-DIM-DIM	107
12.1.2 TEST-DIM-SCP	107
12.1.3 TEST-FUN-WIFI	108
12.1.4 TEST-FUN-RES	108
12.1.5 TEST-VIS-LEG	108
12.1.6 TEST-PER-ACT	108
12.1.7 TEST-PER-AUT	109
12.1.7.1 Observaciones adicionales.....	109
12.1.7.2 Aprendizajes adicionales	109
13 Estudios de confiabilidad	111
13.1 Confiabilidad de Hardware	111
13.2 Confiabilidad de Software.....	113
13.2.1 Aplicación método de ROME	113
13.2.2 Aplicación del método de MUSA	114
13.2.3 Cálculo de fiabilidad mediante modelo de estimación	115
14 Conclusiones	116
14.1 Objetivos alcanzados	116
14.2 Recomendaciones para futuros diseños.....	117
15 Bibliografía	118
15.1 Libros.....	118
15.2 Notas de aplicación	118
15.3 Normativas.....	118
15.3.1 Normativa Argentina	118
15.3.2 Normativa Europea	119
15.4 Páginas web:	120
15.4.1 Organismos Públicos	120
15.4.2 Museos	120

15.4.3 Universidades	120
15.4.4 Empresas	120
15.4.5 Comparaciones de tipos de redes	120
15.4.6 Celdas Fotovoltaicas	121
15.4.7 Baterías	121
15.4.8 Comparación entre celdas primarias y secundarias	121
15.4.9 Otros productos similares	121
15.4.10 Gabinete de seguridad	122
15.4.11 ATAVRXPLAIN-ND (Atmel XMEGA 128A1U):	122
15.4.12 Microprocesador (MSP-EXP430FR5969)	122
15.4.13 ESP-8266	122
15.4.14 SLG59M1649V (GreenFET3™ Single P-Channel Reverse Blocking Integrated Power Switch)	123
15.4.15 TPS22919 (Load switch)	123
15.4.16 INA240 – Amplificador de corriente para mediciones	123
15.4.17 Pantallas de tinta electrónica:	123
15.4.18 Normativa Europea	124
15.4.19 Normativa Estadounidense	124
15.4.20 Kindle	124
15.4.21 Deposición final	124
16 Anexo 1: Resumen de entrevistas	126
16.1 Entrevista 1 (ENT-LOG)	126
16.2 Entrevista 2 (ENT-ADM)	126
16.3 Entrevista 3 (ENT-TI)	127
16.4 Entrevista 4 (ENT-MAG)	127
17 Anexo 2: “Brainstorming” de fallas.....	129
17.1.1 Funcionales:	129
17.1.2 Sueltas:	130
18 Anexo 3: Confiabilidad de pantallas Pervasive	131
18.1 Agregado de comunicación por email:	131
18.2 Especificación de confiabilidad referenciada (2.13” EPD)	131
19 Anexo 4: Hoja de datos batería AA Energizer	132
20 Anexo 5: Carcasa de prototipo	133

21 Anexo 6: Esquemático de PCB	134
22 Anexo 5: Sub-circuito driver Pervasive v231	135
23 Anexo 6: BOM extension board & driver Pervasive v231.....	136
24 Anexo 7: Imagen para prueba de legibilidad	137
25 Anexo 8: BOM	138
26 Anexo 9: Código fuente.....	139
26.1 Código del microcontrolador	139
26.2 Código para descarga de actividades.....	156
26.3 Código para estructurar imágenes	159
26.4 Código para generar imágenes	162
26.5 Código para revelar imágenes	164
26.6 Código del servidor de pruebas	165

2.2 Lista de tablas

Tabla 1. Acrónimos	13
Tabla 2. Definiciones	14
Tabla 3. Entrevistas	19
Tabla 4. Requerimientos	21
Tabla 5. Requerimientos de escalabilidad	23
Tabla 6. Leyenda de uso en especificaciones	24
Tabla 7. Especificaciones funcionales	25
Tabla 8. Especificaciones de interfaz eléctrica	25
Tabla 9. Especificaciones de interfaz mecánica	26
Tabla 10. Especificaciones de interfaz de conectividad	26
Tabla 11. Especificaciones de interfaz visual	27
Tabla 12. Especificaciones de performance	27
Tabla 13. Especificaciones de compatibilidad electromagnética	28
Tabla 14. Especificaciones de operación	28
Tabla 15. Especificaciones de costo	29
Tabla 16. Especificaciones dimensionales y de peso	29
Tabla 17. Especificaciones de confiabilidad	29
Tabla 18. Especificaciones de disponibilidad	29
Tabla 19. Especificaciones de mantenibilidad	30
Tabla 20. Especificaciones de seguridad	30
Tabla 21. Especificaciones de seguridad	31
Tabla 22. Validaciones	41
Tabla 23. Matriz de trazabilidad de validación	44
Tabla 24. Consumo pantalla tecnología LCD	46
Tabla 25. Consumo de pantallas de tinta digital	47
Tabla 26. Potencia de panel solar estándar	47
Tabla 27. Potencia de panel solar GCell	48
Tabla 28. Estimación de consumo	48
Tabla 29. Auto descargas de diferentes tecnologías de baterías	49
Tabla 30. DFMEA del producto y primera revisión de diseño	53
Tabla 31. Rangos de aceptabilidad para DFMEA	53

Tabla 32. Empresas Argentinas.....	57
Tabla 33. Participación de mercado en los primeros 5 años	58
Tabla 34. Costos directos de producción.....	60
Tabla 35. Costos PCB.....	61
Tabla 36. Configuración PCB	61
Tabla 37. Costos fijos	62
Tabla 38. Costos de inversión	63
Tabla 39. Precios de referencia.....	64
Tabla 40. Cash flow simplificado y rentabilidad del proyecto (en USD).....	65
Tabla 41. Cuadro de Resultados del proyecto	66
Tabla 42. Comparación de Microprocesadores.....	76
Tabla 43. Módulo Wi-Fi.....	79
Tabla 44. Modelo pantalla de tinta electrónica prototipo	80
Tabla 45. Propiedades pantalla de tinta electrónica	81
Tabla 46. Características Diodo Zenner	85
Tabla 47. Características de consumo de componentes de la PDU	85
Tabla 48. Características regulador	86
Tabla 49. Grado IP de carcaza.....	87
Tabla 50. Consumo esperado por subsistema y modo de funcionamiento	90
Tabla 51. Autonomía esperada para el producto final	90
Tabla 52. Métricas para evaluación de Hardware de Dispositivo final	92
Tabla 53. Descripción de subrutinas del microcontrolador.....	102
Tabla 54. Resultados de medidas dimensionales	107
Tabla 55. Resultados de áreas de pantalla y superficie frontal	107
Tabla 56. Mediciones de tiempos de actualización	108
Tabla 57. Confiabilidad	112
Tabla 58. Confiabilidad de componentes pasivos/auxiliares	112
Tabla 59. Bugs estimados en Software (ROME)	114

2.3 Lista de figuras

Figura 4:1: Imagen de producto.....	15
Figura 7:1: Diagrama funcional de interfaces.....	23
Figura 9:1: Ejemplo de celda bi-estable (fuente: E-ink).....	45
Figura 9:2: Diagrama en bloques	50
Figura 9:3: Diagrama espina de pescado para posibles fallas	51
Figura 6: Esquema tentativo de tiempos considerando dedicación exclusiva de 2 ingenieros (A y B)	54
Figura 9:5: Ejemplo de instalación de Artec Design en el museo nacional de Estonia	56
Figura 9:6: Ejemplo de instalación de Artec Design en la Universidad de Tartu (2020) ...	57
Figura 9:7: Ejemplo de aplicación médica de Yonglin Biotech Corp. (2019)	58
Figura 9:8: Proyección de ventas en los primeros 5 años	59
Figura 9:9: Casa de calidad	59
Figura 9:10: La marca CE a colocar sobre el dispositivo	70
Figura 9:11: Marca RoHS.....	71
Figura 9:12: Marca de desechos	71
Figura 9:13: Ejemplo de Logotipo	72
Figura 9:14: Marca de FCC	73
Figura 10:1: Diagrama en bloques	74
Figura 10:2: Configuración de pilas	75
Figura 10:3: Kit de desarrollo de microprocesador	76
Figura 10:4: Diagrama de bloques interno del microprocesador.....	77
Figura 10:5: Ejemplo Tag-Connect.....	78
Figura 10:6: Pulsador	78
Figura 10:7: Módulo Wi-Fi versión final (Izquierda) y kit de desarrollo (derecha).....	78
Figura 10:8: Comparación footprints Tag-connect.....	79
Figura 10:9: Pantalla de tinta electrónica v230	80
Figura 10:10: Pantalla de tinta electrónica v231	81
Figura 10:11: Diagrama de PDU.....	81
Figura 10:12: TPS22919 llave de salida.....	82
Figura 10:13: Resultados de simulación de alimentación doble	83

Figura 10:14: Circuito discreto para entrada de alimentación	83
Figura 10:15: Diagrama de bloques del SLG59M1649V	84
Figura 10:16: Curva típica diodo Zenner.....	84
Figura 10:17: Regulador de tensión con modo bypass.....	86
Figura 10:18: Eficiencia de regulador de tensión	86
Figura 10:19: Carcasa de prototipo	87
Figura 10:20: Muestra de gabinete de seguridad.....	88
Figura 10:21: Otros ejemplos de Imageholders.....	88
Figura 10:22: PCB modelo – Cara superior	92
Figura 10:23: PCB modelo – Cara inferior.....	93
Figura 10:24: Diagrama de estados del dispositivo	94
Figura 10:25: Diagrama de Flujo y Comunicación	95
Figura 10:26: Modos del módulo Wi-Fi	103
Figura 10:27: Ejemplo de interfaz de configuración de red (modo AP)	104
Figura 10:28: Aplicación móvil para la configuración de los dispositivos	104
Figura 11:1: Prototipo	105
Figura 11:2: Módulos internos prototipo	105
Figura 12:1: Imagen corrupta	110
Figura 13:1: Esquema de confiabilidad.....	111
Figura 13:2: Cálculo de tasa de fallas en serie	111

3 Acrónimos y definiciones

Acrónimo	Descripción
AP	Punto de acceso (<i>Access Point</i>)
B2B	Comercialización entre empresas (<i>Business to Business</i>)
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
DFMEA	Análisis modal de fallas y efectos (<i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>)
EB	Placa de evaluación (<i>Evaluation Board</i>)
E-ink	Tinta digital (<i>Electronic Ink</i>)
EUR	Euros
FOB	Valor de origen (<i>Free On Board</i>)
IDE	Entorno integrado de desarrollo (<i>Integrated Development Environment</i>)
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación
IP	Protección de Intrusiones (<i>Ingress Protection</i>)
ISO	Organización internacional de estandarizaciones (<i>International Organization for Standardization</i>)
ISR	Rutina de interrupción (<i>Interrupt service routine</i>)
ITBA	Instituto Tecnológico de Buenos Aires
IVA	Impuesto al Valor Agregado
LAN	Red de área local (<i>Local Area Network</i>)
LCD	Pantalla de cristal líquido (<i>Liquid Crystal Display</i>)
PCB	Circuito Impreso (<i>Printed Circuit Board</i>)
PIR	Período de Repago de Inversión
RAMS	Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (<i>Reliability, Availability, Maintainability, and Safety</i>).

RISC	Computadora con set reducido de instrucciones (<i>Reduced instruction set computer</i>)
RoHS	Restricción de sustancias dañinas (<i>Restriction of Hazardous Substances</i>)
RTC	Reloj en tiempo real (<i>Real time clock</i>)
TBD	A determinar (<i>To Be Determined</i>)
TDD	Desarrollo orientado a pruebas (<i>Test Driven Development</i>)
TI	Tecnología de la Información
TIR	Tasa Interna de Retorno
USB	Bus Universal en Serie (<i>Universal Serial Bus</i>)
USD	Dólares Estadounidenses (<i>United States Dollar</i>)
VAN	Valor Actual Neto
WEE	Desechos materiales (<i>Waste Electrical & Electronic Equipment</i>)

Tabla 1. Acrónimos

Concepto	Descripción
Microprocesador	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. Se encarga de ejecutar los programas, desde el sistema operativo hasta las aplicaciones de usuario; sólo ejecuta instrucciones programadas en lenguaje de bajo nivel, realizando operaciones aritméticas y lógicas simples, tales como sumar, restar, multiplicar, dividir, las lógicas binarias y accesos a memoria. Puede contener una o más unidades centrales de procesamiento (CPU) constituidas, esencialmente, por registros, una unidad de control, una unidad lógica aritmética (ALU) y una unidad de punto flotante (llamada antiguamente «coprocesador matemático»).
Microcontrolador	Un microcontrolador difiere de un microprocesador, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de circuitos integrados externos de apoyo. La idea es que el circuito integrado se coloque en el dispositivo, enganchado a la fuente de energía y de información que necesite. Un microprocesador

tradicional no permitiría hacer esto, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips. Hay que agregarle los módulos de entrada y salida (puertos) y la memoria para almacenamiento de información.

Raspberry Pi 3

Ordenador de placa reducida de bajo costo. Sacada a la luz en el año 2016, posee un microprocesador Broadcom Quad-Core de 1.20GHz y 1GB de memoria RAM. Cuenta también con módulos integrados de Wi-Fi y Bluetooth (4.1 Low Energy).

Raspbian

Es una distribución del sistema operativo GNU/Linux basado en Debian, diseñado para la serie de ordenadores de placa reducida de Raspberry Pi.

Tabla 2. Definiciones

4 Resumen

Este informe de proyecto final de la carrera de Ingeniería Electrónica plantea las necesidades existentes en el mercado actual y su potencial solución con el producto aquí presentado: una pantalla de tinta electrónica de alta autonomía controlada por Wi-Fi.

Se analizan los requerimientos y especificaciones del producto tomando en consideración a los clientes. En nuestro caso, el cliente inicial es el Instituto Tecnológico de Buenos Aires, su personal docente y sus estudiantes.

Se estudian aquí las posibilidades de realizarlo con distintas opciones de alimentación, analizándose con amplio detalle en cada caso las consecuencias en la autonomía, y la dificultad de instalación, eligiéndose la alimentación por baterías AA como principal característica del diseño.

Luego de la construcción del prototipo, se obtienen validaciones positivas en todos los aspectos excepto en el de compatibilidad electromagnética, en donde no hay ningún test que valide las especificaciones debido al costo que esto representaría, y considerándose inapropiado para un prototipo.

Se analiza la confiabilidad del producto final, llegándose a concluir que podrá tener una vida útil de 5 años, con un tiempo medio entre fallas de 9 años.

El costo final de producción del dispositivo resulta ser de 99 USD, y su precio final de venta de 220 USD.

Finalmente, se concluye que el proceso de diseño fue exitoso, con aprendizajes en lo tecnológico, lo académico y lo personal.



Figura 4:1: Imagen de producto

5 Introducción

5.1 Antecedentes

En el Instituto Tecnológico de Buenos Aires un estudiante puede tener clases en hasta 10 aulas distintas cada semana. Una misma materia no siempre se cursa en la misma aula, por lo que no es difícil confundir el aula de una clase de un martes con la de los jueves. Cuando esto sucede, el estudiante ingresa a un aula, inmediatamente se da cuenta de su error, y se retira. Esto genera frecuentes interrupciones y distracciones en las clases.

El número de interrupciones aumenta durante fechas de exámenes, cuando los cambios de aula son más usuales. Junto a esto, se incrementa también el número de estudiantes en búsqueda aulas vacías como espacio de estudio. Las aulas con exámenes en curso son silenciosas, lo que las hace parecer vacías desde afuera, resultando en que las mismas sean las víctimas más recurrentes de dichas interrupciones.

Tanto las interrupciones como también la falta de un acceso ágil a la información buscada por los causantes de las mismas son dos problemas a solucionar, donde el primero es consecuencia del segundo.

Como una posible solución, se implementó primeramente un monitor en el pasillo principal de la universidad, donde se muestran las actividades y las aulas vacías. Posteriormente, se implementó también una aplicación de celular que permite a los estudiantes ver en qué aulas tienen sus clases, y saber cuáles son las aulas sin actividades. Sin embargo, el problema persiste.

Creemos que el problema continúa porque sigue siendo mucho más rápido y fácil abrir una puerta por un instante y fijarse si el aula está vacía, que ir hasta el pasillo principal del ITBA a consultar el monitor, o que sacar el celular del bolsillo, desbloquearlo, buscar la aplicación, abrirla, iniciar sesión, y verificar en la extensa lista de aulas si el aula que tiene enfrente figura en el sistema como libre o no.

5.2 Contexto del proyecto

El interés en el desarrollo de este proyecto por parte del ITBA, tanto por tratarse de un proyecto final de carrera como también por proveer una solución a una problemática real de la institución, llevó a que los costos de componentes e insumos para la fabricación del prototipo sean totalmente cubiertos por el departamento de ingeniería electrónica.

Por otra parte, para que el proyecto sea exitoso en encontrar una solución a las problemáticas mencionadas, será sumamente necesario que la información provista por la secretaría académica en referencia a las actividades y disponibilidad de las aulas sea precisa y facilitada de forma oportuna. De no ser así, cualquier solución que ofrezca información imprecisa, perderá credibilidad y caerá en desuso.

6 Objetivos

6.1 Finalidad del proyecto

Este proyecto resultará en la posibilidad de proveer al ITBA de una forma de facilitar información al alcance de un simple vistazo sobre las actividades que se llevan a cabo en cada aula, con el fin de evitar las frecuentes interrupciones que tienen lugar hoy en día, por estudiantes o profesores que acceden por error a aulas con clases o exámenes en curso.

Si bien en este proyecto se apunta a resolver una problemática particular, la solución brindada podrá ser escalada y comercializada con otras universidades e instituciones con necesidades similares.

6.2 Planteamiento del problema a resolver

Si bien la implementación de un producto con una pantalla con contenido dinámico descargado de internet no implica un desafío tecnológico en sí mismo, el componente desafiante de este proyecto fue diseñar un producto utilizando una tecnología moderna de pantallas de tinta digital, que alcance altas autonomías sin necesidad de conexiones eléctricas o recargas, con mínima mantenibilidad, alta escalabilidad y portabilidad a otras aplicaciones, y con un precio accesible. Es por esto que este trabajo tendrá como focos los siguientes tres aspectos fundamentales: los requerimientos de nuestro cliente, requerimientos adicionales de escalabilidad para reutilizar el producto en escenarios similares, e integración y validación de producto. En particular, las pruebas de validación serán de extrema relevancia para asegurar un producto de la calidad que se requiere.

6.3 Alcance

Este proyecto contempla el diseño de un sistema de pantallas de tinta digital que mediante una interfaz de comunicación con un servidor descarga y muestra contenido acorde a las necesidades del cliente. Se desarrollará un servidor de pruebas, capaz de descargar información real del cliente inicial, pero no se realizará una implementación final del mismo para funcionar en un ambiente de producción. El proyecto incluye los análisis relevantes para asegurar la viabilidad tecnológica y financiera del producto. La verificación de la calidad del diseño estará basada en un único prototipo no comercial, que no deberá cumplir con todos los requerimientos de producto final. No se contempla en este trabajo la realización de un segundo o tercer prototipo, ni del producto final, aunque sí estarán establecidas todas las decisiones de diseño y análisis necesarios para su fabricación acordes para la manufactura en masa del producto final.

7 Definición de producto

7.1 Requerimientos de cliente

7.1.1 Relevamiento de datos

Se realizaron entrevistas personales a representantes de diferentes sectores del ITBA para determinar los requerimientos de nuestros clientes. Se muestra a continuación el listado de entrevistados:

ID	Entrevistado
ENT-LOG	José Eizaguirre, jefe de logística y servicios del ITBA.
ENT-ADM	Federico Ferrando, administrativo de secretaría académica.
ENT-TI	Martín Barreiro, coordinador de mesa de ayuda de TI.
ENT-MAG	Miguel Aguirre, director del departamento de ingeniería electrónica del ITBA.

Tabla 3. Entrevistas

A cada uno de ellos se le hicieron preguntas diferentes, relevantes al sector al que pertenecen. Los métodos de instalación y alimentación del equipo se le consultaron al jefe de logística. La información a mostrar en pantalla fue discutida con el empleado de secretaría académica. Lo relativo a conectividad a internet y seguridad informática se habló con el coordinador de TI. Otros requerimientos de autonomía, dimensiones, alimentación y conectividad fueron consultados con el director de ingeniería electrónica. Se pueden ver en el Anexo 1, un resumen de las conclusiones de cada entrevista.

Habiendo realizado dos entrevistas a Miguel Aguirre, director del departamento de ingeniería electrónica, y a secretaría administrativa, quienes tendrán la decisión final sobre la adquisición del producto, se han recibido pautas generales para enfocar el diseño.

7.1.2 Requerimientos finales para trazabilidad

ID	Descripción	Origen
REQ-WIFI	El producto deberá conectarse a internet de forma inalámbrica.	ENT-LOG, ENT-TI, ENT-MAG
REQ-AMB	El producto deberá funcionar en todas las condiciones ambientales de los interiores del ITBA.	Tácito
REQ-WALL	El producto debe montarse sobre un marco fijado a la pared, con un sistema de seguridad que sólo permita al personal autorizado removerlo para efectuar mantenimiento o reparaciones.	ENT-LOG
REQ-BNR	Si el dispositivo cuenta con pilas o baterías, estas no deben ser removibles por personal no autorizado, o deberán ser económicas.	ENT-LOG
REQ-REC	La fuente de alimentación del producto deberá poder reemplazarse rápidamente en el sitio de instalación.	ENT-LOG
REQ-MANT	El dispositivo deberá requerir mantenimiento con una frecuencia menor a una vez por mes.	ENT-LOG
REQ-AUT	La autonomía del dispositivo ha de ser mayor a un año.	ENT-MAG
REQ-CAL	El producto debe mostrar en pantalla: Calendario semanal de las actividades del aula, capacidad del aula, clase en curso, horario de última actualización.	ENT-ADM
REQ-WAC	El producto deberá poder conectarse a una red de Wi-Fi de tipo AC.	ENT-TI
REQ-WITB	El producto deberá ser compatible con la red Wi-Fi del ITBA.	ENT-TI
REQ-PUL	El dispositivo debe tener un tamaño de pantalla mayor a 5 pulgadas.	ENT-MAG
REQ-ATM	El producto deberá actualizar automáticamente la pantalla, bajando de internet la información a mostrar.	Tácito
REQ-LEG	El dispositivo deberá contar con resolución suficiente para mostrar una cantidad de información relevante, legible a una distancia apropiada.	Tácito

REQ-REP	Se deberán reportar al usuario las fallas, condiciones de funcionamiento anormales y eventos que requieran de mantenimiento técnico.	Tácito
REQ-RES	El producto deberá poder reanudar automáticamente su normal funcionamiento luego de una pérdida temporaria de alimentación o conectividad.	Tácito
REQ-CONF	El dispositivo deberá permitir configuraciones personalizadas de su código de identificación y red Wi-Fi a utilizar.	Tácito

Tabla 4. Requerimientos

Existe una discrepancia en el requerimiento REQ-WIFI, dado que en la entrevista ENT-ADM se solicitó lo contrario. Se decide seguir la solicitud de ENT-LOG, ENT-TI y ENT-MAG dado a que son mayoría y tienen mayor influencia en dicha decisión debido a sus respectivos sectores laborales.

7.2 Potenciales clientes

Existe una variedad de potenciales clientes que podrían sacar provecho del producto en diseño para satisfacer necesidades similares. Entre ellos:

- **Museos:** Presentación de información de exposiciones o eventos, permitiendo cambiar el idioma.
- **Hotelería:** Actividades diarias, horarios y ubicaciones. (inclusive gimnasios y spas)
- **Restaurantes:** Menú diario, precios variables.
- **Oficinas:** Uso de salas u oficinas con alta rotación. Por ejemplo, consultorios médicos.
- **Hospitales:** Nombre e información de pacientes.
- **Consultorios:** Nombre y orientación de doctores.
- **Supermercados:** Precios, códigos, información de los productos.
- **Exteriores:** Cartelería de tráfico o estacionamiento, señalización para paradas de colectivos, centros de noticias, etc.

A partir de estos, surge una nueva lista de requerimientos apuntada a otorgarle escalabilidad al producto.

La posibilidad de que el producto se alimente con baterías AA, le da la capacidad de ser trasladado libremente en el ambiente de uso, manteniendo su completa funcionalidad siempre que se mantenga dentro del radio de conexión Wi-Fi. Esto puede aplicarse a los ejemplos de restaurantes, hospitales y hotelería.

La posibilidad de alimentar el producto con cable micro USB reduce la tarea de mantenibilidad de reemplazo de pilas, ideal cuando el producto se mantiene mayormente en un lugar fijo. Esto se aplica a los ejemplos de museos, hospitales, hotelería, oficinas y supermercados.

7.2.1 Requerimientos para escalabilidad

ID	Descripción	Origen
ESC-AA	El producto deberá contar con una alternativa de alimentación con pilas estandarizadas con alta adopción, i.e. AA, AAA, etc.	Escalabilidad, tácito
ESC-USB	El producto deberá contar con una alternativa de alimentación cableada.	Escalabilidad, tácito
ESC-IMG	La imagen a mostrar deberá ser completamente controlable desde una interfaz virtual remota, dentro de los límites dispuestos por la pantalla.	Escalabilidad, tácito
ESC-EUR	El producto ha de cumplir la normativa pertinente para ser comercializado en los países de la Unión Europea.	Escalabilidad legal

Tabla 5. Requerimientos de escalabilidad

7.3 Diagrama funcional de interfaces

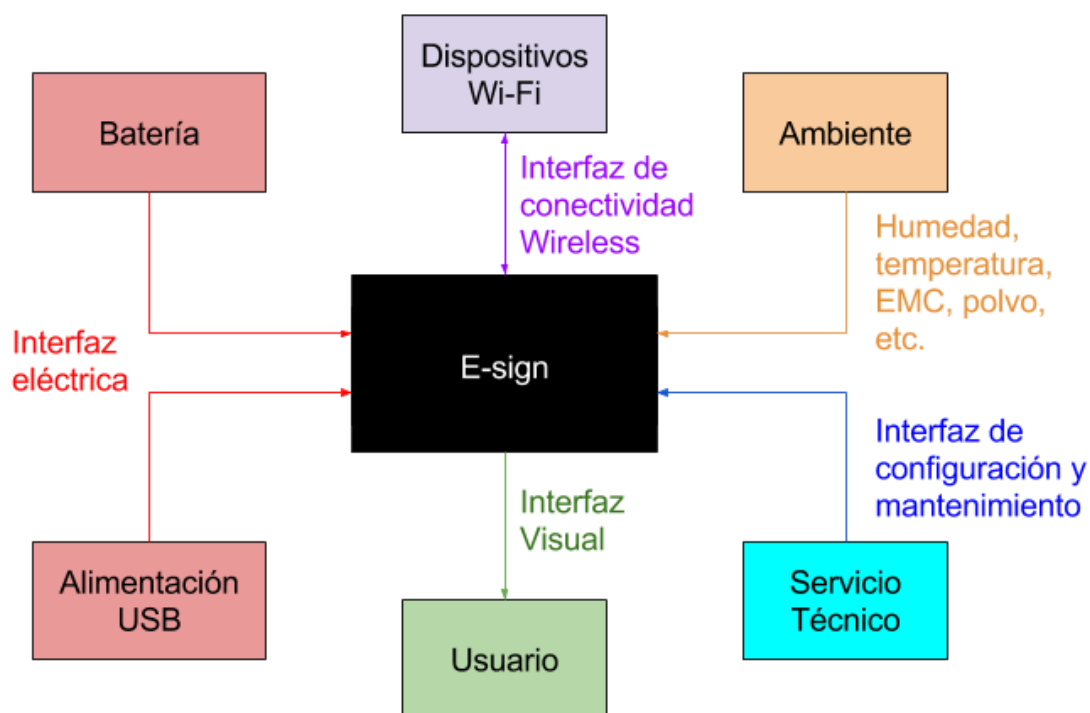


Figura 7:1: Diagrama funcional de interfaces

7.4 Especificaciones de diseño

7.4.1 Especificaciones funcionales

Aplicabilidad	Validación
DP: Dispositivo, prototipo	I: Inspección visual
IP: Instalación, prototipo	D: Documentación de diseño
DF: Dispositivo, producto final	S: Simulación
IF: Instalación, producto final	T: Test

Tabla 6. Leyenda de uso en especificaciones

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
FUN-WIFI	El dispositivo deberá poder utilizar una red Wi-Fi para obtener la información a presentar en pantalla desde un servidor.	REQ-WIFI, REQ-ATM, ESC-IMG	IP, IF D, T
FUN-CONT	El servidor deberá generar las imágenes para cada dispositivo con toda la información deseada, obtenida del sistema de gestión de aulas del ITBA.	REQ-CAL	FUN-CONT
FUN-BAT	El dispositivo deberá comunicar al servidor su estado de batería.	REQ-REP	IF D, T
FUN-SRV	El servidor ha de incluir en las imágenes a mostrar la fecha y hora de la última actualización, y alertas de batería baja o agotada según corresponda.	REQ-REP	IP, IF I, D, T
FUN-WALL	Se deberá tener la opción de incluir un soporte amurable para poder fijar el dispositivo a la pared y asegurarlo bajo llave.	REQ-WALL	IF I, D
FUN-IMG	Se deberá poder enviar a la pantalla cualquier imagen monocromática de la resolución de la pantalla.	REQ-CAL, ESC-IMG	IP, IF I, D, T

FUN-INIT	El dispositivo deberá poseer una interfaz de configuración accesible a través de una red local generada por el mismo.	REQ-CONF	DF, IF D, T
FUN-INIT2	El dispositivo deberá poseer una interfaz de configuración accesible de forma remota a través del servidor.	REQ-CONF	IF D, T
FUN-PULS	El dispositivo deberá poseer un pulsador que permita configurar, reiniciar o realizar un restablecimiento de fábrica borrando toda la información en memoria.	REQ-CONF, RES-EUR	DF D, T
FUN-RES	La información necesaria para normal operación del dispositivo deberá ser persistida en memoria no volátil para no perderse ante pérdidas de alimentación.	REQ-RES	DP, DF, IP, IF D, T
FUN-RTY	Ante una falla de conexión, el dispositivo deberá intentar reconectarse un cierto número de reintentos configurable o hasta que la conexión se reestablezca.	REQ-RES	DF, IF D, T

Tabla 7. Especificaciones funcionales

7.4.2 Especificaciones de interfaz

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
ALI-USB	El producto deberá poder ser alimentado por un puerto estándar micro USB.	ESC-USB	DF I, D, T
ALI-5V0	La alimentación cableada por USB ha de soportar el rango de tensión de la norma USB (5 V $\pm$ 5%).	ESC-USB	DF D
ALI-BAT	La alimentación por pilas ha de ser compatible con el estándar de pilas comunes AA (LR6 (CEI), 15A (ANSI/ANDE)).	ESC-AA, REQ-REC, REQ-BNR	DP, DF I, D, T
ALI-SMRT	El producto deberá poder cambiar entre los modos de alimentación de manera autónoma y sin pérdida de servicio.	REQ-RES	DF I, T

Tabla 8. Especificaciones de interfaz eléctrica

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
MEC-SEG	El gabinete de seguridad contará con un sistema de cierre por cerradura, requiriendo una llave para su apertura.	REQ-WALL	IF I
MEC-IP3X	El producto deberá cumplir con la norma CEI 60529 con un grado de protección IP3X.	REQ-AMB	DF I, T
MEC-INF	Se informará de los requerimientos de la alimentación sobre la carcasa del producto.	ESC-EUR	DF I
MEC-SCRW	El acceso al compartimento de alimentación y pulsador de configuración solo requerirá un destornillador Philips #1 una vez removido del gabinete de seguridad.	REQ-BNR, REQ-REC	DF, IF I, T

Tabla 9. Especificaciones de interfaz mecánica

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
CON-WPAE	El producto deberá poder conectarse a redes Wi-Fi de 2.4GHz de tipo AC, 'WPA2 Enterprise'.	REQ-WAC, REQ-WITB	DF D, T
CON-PRC	La aplicación de servidor ha de generar las imágenes en el formato requerido por la pantalla para minimizar el procesamiento requerido por el dispositivo.	ESC-IMG	DP, DF, IP, IF D, T
CON-RET	El dispositivo ha de pedir la retransmisión de cualquier paquete o dato recibido de manera inválida.	REQ-RES	DP, DF, IP, IF D

Tabla 10. Especificaciones de interfaz de conectividad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
VIS-LEG	El dispositivo deberá poder presentar un texto de 100 palabras, legible por una persona con visión normal a una distancia de 1 metro.	REQ-LEG	DP, DF I, T
VIS-PUL	El dispositivo contará con una pantalla de tinta digital con una longitud diagonal superior a 7 pulgadas.	REQ-PUL	DP, DF I, D

Tabla 11. Especificaciones de interfaz visual

7.4.3 Especificaciones de performance

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
PER-AUT	El dispositivo deberá poder realizar 2100 actualizaciones, el uso anual estimado considerando 10 actualizaciones por cada día de cursada, con la energía de 4 pilas AA de primera marca (1,5V, ~8000mAh totales).	REQ-MANT, REQ-AUT	IP, IF D, T
PER-ACT	El producto el dispositivo deberá demorar menos de un minuto en actualizar la pantalla con la nueva información desde que se inicie o salga de un ciclo de sueño.	REQ-AUT	IP, IF D, T

Tabla 12. Especificaciones de performance

7.4.4 Especificaciones de implementación

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
AMB-EMA	El dispositivo deberá operar con normalidad tolerando el nivel de ruido electromagnético descrito en IRAM 2491, IEC-61000-4, y IEC 60601-1-2:2007.	REQ-AMB	IF D, T
AMB-EMC	El dispositivo deberá operar con normalidad con emisiones de ruido electromagnético permitidas bajo la norma IEC-61000-4.	REQ-AMB	IF D, T

Tabla 13. Especificaciones de compatibilidad electromagnética

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
AMB-HUM	El dispositivo deberá operar con normalidad en un ambiente con humedad relativa en el rango de 0% al 100%.	REQ-AMB	IF T
AMB-TEMP	El dispositivo deberá operar con normalidad en un ambiente con temperaturas en el rango de 0°C a 50°C.		IF T
AMB-PRES	El dispositivo deberá operar con normalidad en un ambiente con presión en el rango de 60kPa (promedio a una altura de 4000m) a 110kPa (máxima a nivel de mar).	REQ-AMB	IF T

Tabla 14. Especificaciones de operación

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
CST-CST	El costo de producción del dispositivo para una producción de 250 unidades no ha de superar los 100 USD por unidad.	Análisis financiero	DF D
CST-PRC	El precio de venta del dispositivo ha de ser 220 USD.	Análisis financiero	DF D

Tabla 15. Especificaciones de costo

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
DIM-SCP	El dispositivo deberá tener una relación pantalla-cuerpo no menor a 50%	Tácito	DF I, D, T
DIM-MAS	El dispositivo deberá pesar menos de 300 gramos, sin considerar el gabinete de seguridad.	REQ-WALL	DF T
DIM-DIM	El dispositivo ha de caber dentro de un volumen de 25cm x 15cm x 7cm	Tácito	DP, DF I, D, T

Tabla 16. Especificaciones dimensionales y de peso

7.4.5 Especificaciones de servicio (RAMS)

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
CNF-LIF	El dispositivo ha de contar con una vida útil no menor a 5 años.	Cliente/Tácito	DP, DF D
CNF-MTF	El dispositivo ha de gozar una MTBF no menor a 720 horas (un mes).	REQ-MANT	DF D

Tabla 17. Especificaciones de confiabilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
DIS-DIS	El producto gozará de una disponibilidad no menor al 99.9%	Tácito	IF D

Tabla 18. Especificaciones de disponibilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
MAN-CBT	La aplicación del servidor informará cuando un dispositivo requiera un cambio de baterías.	REQ-REP	IP, IF I, D
MAN-ERR	La aplicación del servidor informará cuando un dispositivo deje de realizar solicitudes al servidor inesperadamente.	REQ-REP	IP, IF I, D
MAN-REE	Un técnico capacitado ha de ser capaz de realizar el proceso de cambio de baterías en menos de 5 minutos.	REQ-REC	IF T
MAN-USM	El dispositivo incluirá en la documentación un “manual de usuario”.	DFMEA	DF I, D

Tabla 19. Especificaciones de mantenibilidad

ID	Descripción	Origen	Aplicabilidad / Validación
SEG-VOL	El dispositivo deberá cumplir los requerimientos de la IEC para ser considerado un sistema SELV.	ESC-EUR	DP, DF D
SEG-FIS	El dispositivo no deberá contar con esquinas punzantes o cantos cortantes.	ESC-EUR	DP, DF I
SEG-MAS	El dispositivo deberá ser liviano para no ser capaz de causar heridas en caso de que se suelte a una altura de 1.2m.	ESC-EUR	DF T
SEG-TEM	La máxima temperatura de la superficie exterior del dispositivo no superará 45°C, o 10°C por encima de la temperatura ambiente, la que sea mayor.	ESC-EUR	IF D, T

Tabla 20. Especificaciones de seguridad

8 Plan de validación

8.1 Bancos de pruebas

ID	TESTS	Elem. comunes / conds. iniciales	Elementos adicionales	Precondiciones adicionales
BDP-1a	TEST-MEC-IP3X	Dispositivo sin pilas	Sonda de prueba para IP3X	-
BDP-1b	TEST-DIM-DIM, TEST-DIM-SCP		Cinta métrica con precisión de +/- 1 milímetro	-
BDP-2	TEST-DIM-MAS	Dispositivo con 4 pilas AA	Balanza con precisión de +/- 1 gramo	-
BDP-3	TEST-INT-MANT	Dispositivo con 4 pilas AA, gabinete de seguridad y llave del gabinete.	Destornillador Phillips #1, 4 pilas AA adicionales, cronómetro.	El dispositivo deberá tener las pilas iniciales colocadas y estar dentro del gabinete de seguridad montado a la pared, bajo llave.
BDP-4a	TEST-FUN-WIFI, TEST-FUN-RES, TEST-FUN-BAT, TEST-VIS-LEG	- Dispositivo, - 4 pilas AA con tensión no menor a 1.2V, - red Wi-Fi con conectividad a Internet, - servidor de pruebas en ejecución. El dispositivo debe estar pre-configurado para utilizar la red Wi-Fi y el servidor de pruebas.	-	-
BDP-4b	TEST-PER-ACT		Clip, cronómetro	-
BDP-4c	TEST-PER-AUT		Cámara con modo de "timelapse"	-
BDP-4d	TEST-RED-WPAE		Red Wi-Fi WPA2 Enterprise de 2.4GHZ de tipo AC	-
BDP-4e	TEST-SEG-TEM		Pirómetro, termómetro ambiental	-
BDP-4f	TEST-AMB-HUM		Cámara de humedad	-
BDP-4g	TEST-AMB-TEMP		Cámara de temperatura	-
BDP-4h	TEST-AMB-PRES		Cámara de presión	-
BDP-4i	TEST-AMB-EMA		Cámara anecóica	-
BDP-5	TEST-ALI-USB		Cable de alimentación USB - Micro USB, fuente USB.	El dispositivo deberá estar inicialmente sin pilas. La fuente deberá estar conectada a un tomacorriente y con el cable USB conectado.
BDP-6	TEST-FUN-INIT, TEST-FUN-INIT2		Red Wi-Fi alternativa con conectividad a Internet, servidor de pruebas alternativo, clip, computadora o dispositivo móvil.	-

Tabla 21. Especificaciones de seguridad

8.2 Pruebas

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-MEC-IP3X	MEC-IP3X	BDP-1a
Procedimiento		
1. Utilizando la sonda de prueba, y sin aplicar ninguna fuerza excesiva que pueda dañar el equipo, intentar ingresar la punta de la misma al interior de la carcasa. 2. Rotar el dispositivo sobre sus lados y reintentar el paso 1 por todos los ángulos posibles.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo no presenta ningún orificio ni abertura lo suficientemente grande como para ingresar la punta de la sonda al interior de la carcasa.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-DIM-DIM	DIM-DIM	BDP-1b
Procedimiento		
1. Medir el ancho, alto y profundidad del dispositivo. 2. Verificar que sus dimensiones son menores a 25cm x 15cm x 7cm.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo ocupa un volumen menor a 25cm x 15cm x 7cm.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-DIM-SCP	DIM-SCP	BDP-1b
Procedimiento		
1. Medir las dimensiones de la pantalla y calcular su área. 2. Medir las dimensiones de superficie del dispositivo en donde se encuentra la pantalla y calcular su área. 3. Verificar que el área de la pantalla es igual o mayor al 50% del área de la superficie donde se encuentra.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo posee una relación pantalla-cuerpo mayor a 50%.		

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-DIM-MAS	DIM-MAS, SEG-MAS	BDP-2
Procedimiento		
1. Tarar la balanza. 2. Pesar el dispositivo. 3. Verificar que el peso sea menor a 300 gramos.		
Criterio de aceptación		
El peso dispositivo es menor a 300 gramos y no presenta riesgo de generar heridas en caso de caída.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-INT-MANT	MAN-REE, MEC-SCRW	BDP-3
Procedimiento		
1. Iniciar el cronómetro. 2. Abrir el gabinete con su llave para poder remover el dispositivo. 3. Colocar el dispositivo en una superficie de trabajo con su pantalla hacia abajo. 4. Con el destornillador, remover el tornillo de seguridad que asegura la tapa del compartimiento de las pilas. 5. Remover las pilas del dispositivo y reemplazarlas con las 4 pilas nuevas, respetando su orientación. 6. Volver a cerrar la tapa asegurándola con el tornillo de seguridad. 7. Montar el dispositivo nuevamente en el gabinete amurado y asegurarlo bajo llave. 8. Detener el cronómetro y verificar que el tiempo total de trabajo fue menor a 5 minutos.		
Criterio de aceptación		
El procedimiento completo para el reemplazo de las baterías se realizó menos de 5 minutos.		

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-FUN-WIFI	FUN-WIFI, ALI-BAT, CON-PRC	BDP-4a
Procedimiento		
1. Encender el dispositivo. 2. Verificar en la lista de dispositivos conectados a la red Wi-Fi la momentánea conexión del dispositivo bajo el nombre “ESP_88F2CE”. 3. Verificar en los registros del servidor que se recibió una solicitud de actualización de imagen. 4. Abrir la nueva imagen generada por el servidor y verificar que la misma es impresa en la pantalla del dispositivo.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo se muestra en la lista de dispositivos conectados a la red Wi-Fi. La imagen generada por el servidor coincide con la nueva imagen impresa en la pantalla del dispositivo.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-FUN-RES	FUN-RES, FUN-RTY	BDP-4a
Procedimiento		
1. Encender el dispositivo. 2. Verificar en los registros del servidor que se reciben solicitudes de actualización de imagen. 3. Verificar que la pantalla del dispositivo se actualiza apropiadamente. 4. Remover las pilas del dispositivo y esperar 5 minutos. 5. Colocar las pilas nuevamente y verificar que el equipo retoma su normal funcionamiento repitiendo los pasos 2 y 3. 6. Desactivar la red Wi-Fi por 5 minutos. 7. Reactivar la red Wi-Fi y verificar que el equipo retoma su normal funcionamiento repitiendo los pasos 2 y 3.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo retoma su normal funcionamiento luego de haber perdido temporalmente su alimentación o conectividad.		

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-FUN-BAT	FUN-BAT, FUN-SRV	BDP-4a
Procedimiento		
1. Configurar el servidor para actualizar la pantalla con una frecuencia de una actualización por minuto, para generar un mayor consumo. 2. Encender el dispositivo. 3. Verificar en los registros del servidor que se reciben solicitudes de actualización de imagen. 4. Verificar que los registros incluyen información del ID del dispositivo, y el estado de su estado de batería. 5. Verificar que las imágenes impresas muestran un indicador de carga de las pilas y la fecha y hora de actualización. 6. Dejar funcionar el dispositivo por 6 horas. 7. Verificar que el estado de carga informado en los registros del servidor disminuye a lo largo del tiempo de funcionamiento.		
Criterio de aceptación		
El estado de batería del dispositivo es mostrado en los registros del servidor. La fecha y hora de la última actualización se actualiza de forma correcta. El valor de carga informado disminuye a lo largo de la prueba.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-VIS-LEG	VIS-LEG, FUN-IMG	BDP-4a
Procedimiento		
1. Configurar el servidor de pruebas para enviar la imagen de prueba mostrada en el Anexo 7 como respuesta a cualquier solicitud. 2. Encender el dispositivo. 3. Verificar que la pantalla del dispositivo se actualiza apropiadamente con la imagen de prueba. 4. Colocarse a un metro del dispositivo. 5. Verificar la legibilidad del texto.		
Criterio de aceptación		
El texto de la imagen de prueba es legible a una distancia de 1 metro.		

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-PER-ACT	PER-ACT	BDP-4b
Procedimiento		
1. Encender el dispositivo. 2. Verificar que la pantalla del dispositivo se actualiza apropiadamente con las imágenes generadas por el servidor. 3. Cinco segundos luego de que la imagen se haya actualizado, y el dispositivo haya entrado en su modo sueño, utilizar el clip para presionar el botón de reinicio por un instante para forzar un reinicio. Simultáneamente, activar el cronómetro. 4. Pausar el cronómetro luego de que la imagen finalice su actualización. Tomar nota del tiempo medido. 5. Repetir la medición de los pasos 3 y 4 diez veces. 6. Verificar que todos los tiempos medidos son menores a 1 minuto.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo demoró menos de un minuto en actualizar la pantalla en las 10 mediciones.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-PER-AUT	PER-AUT	BDP-4c
Procedimiento		
1. Configurar el servidor para actualizar la pantalla con alta frecuencia, utilizando períodos de sueño de 10 segundos entre actualizaciones. 2. Con la cámara conectada a su fuente de alimentación, comenzar una grabación de timelapse del dispositivo, tomando un fotograma cada 30 segundos. 2. Encender el dispositivo. 3. Verificar en los registros del servidor que se reciben solicitudes de actualización de imagen. 4. Dejar funcionar el dispositivo hasta que sus baterías se agoten, verificando que el servidor ya no recibe nuevas solicitudes. Esto puede llevar varios días. 5. Analizar los registros del servidor desde el comienzo del test y verificar que el número de solicitudes es superior a 2100. 6. Detener la filmación del timelapse y verificar en el video que la pantalla se actualizó apropiadamente durante toda la prueba.		
Criterio de aceptación		
Con 4 pilas AA nuevas, el dispositivo consiguió realizar más de 2100 actualizaciones satisfactorias.		

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-RED-WPAE	RED-WPAE	BDP-4d
Procedimiento		
1. Encender el dispositivo. 2. Verificar en la lista de dispositivos conectados a la red Wi-Fi la momentánea conexión del dispositivo bajo el nombre “ESP_88F2CE”. 3. Verificar en los registros del servidor que se recibió una solicitud de actualización de imagen. 4. Abrir la nueva imagen generada por el servidor y verificar que la misma es impresa en la pantalla del dispositivo.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo opera con normalidad conectándose al servidor a través de una red Wi-Fi WPA2 Enterprise de 2.4GHz de tipo AC.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-SEG-TEM	SEG-TEM	BDP-4e
Procedimiento		
1. Configurar el servidor para actualizar la pantalla con una frecuencia de una actualización por minuto, para generar un mayor consumo. 2. Encender el dispositivo. 3. Verificar en los registros del servidor que se reciben solicitudes de actualización de imagen y que la pantalla se actualiza apropiadamente. 4. Dejar funcionar el dispositivo por 6 horas. 5. Utilizando el pirómetro, medir la temperatura del dispositivo en varios puntos de la superficie de la carcasa. Tomar nota del valor máximo. 6. Utilizando el termómetro ambiental, medir la temperatura del ambiente en el que se encuentra el dispositivo. 7. Verificar que la máxima temperatura registrada en la superficie del dispositivo no supera por más de 10 grados centígrados la temperatura del ambiente.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo no se sobrecalienta más de 10 grados centígrados por encima de la temperatura del ambiente en el que se encuentra luego de 6 horas de funcionamiento.		

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-AMB-HUM	AMB-HUM	BDP-4f
Procedimiento		
1. Acondicionar la cámara a un 0% de humedad. 2. Encender el dispositivo. 3. Verificar en los registros del servidor que se reciben solicitudes de actualización de imagen y que la pantalla se actualiza apropiadamente. 4. Dejar funcionar el dispositivo por una hora, verificando periódicamente su correcto funcionamiento. 5. Reacondicionar la cámara a un 100% de humedad y repetir los pasos 2 a 4.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo funciona apropiadamente en condiciones de 0% y 100% de humedad.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-AMB-TEMP	AMB-TEMP	BDP-4g
Procedimiento		
1. Acondicionar la cámara a 0°C. 2. Encender el dispositivo. 3. Verificar en los registros del servidor que se reciben solicitudes de actualización de imagen y que la pantalla se actualiza apropiadamente. 4. Dejar funcionar el dispositivo por una hora, verificando periódicamente su correcto funcionamiento. 5. Reacondicionar la cámara a 50°C y repetir los pasos 2 a 4.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo funciona apropiadamente a 0°C y 50°C de temperatura.		

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-AMB-PRES	AMB-PRES	BDP-4h
Procedimiento		
1. Acondicionar la cámara a 60kPa. 2. Encender el dispositivo. 3. Verificar en los registros del servidor que se reciben solicitudes de actualización de imagen y que la pantalla se actualiza apropiadamente. 4. Dejar funcionar el dispositivo por una hora, verificando periódicamente su correcto funcionamiento. 5. Reacondicionar la cámara a 110kPa y repetir los pasos 2 a 4.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo funciona apropiadamente a 60kPa y 110kPa de presión.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-AMB-EMA	AMB-EMA, AMB-EMC	BDP-4i
Procedimiento		
1. Realizar los procedimientos estándar especificados en la norma IEC-61000-4.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo cumple con los requerimientos especificados en la norma IEC-61000-4.		

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-ALI-USB	ALI-USB, ALI-SMRT	BDP-5
Procedimiento		
1. Alimentar el dispositivo con el cable micro USB conectado a la fuente. 2. Verificar en la lista de dispositivos conectados a la red Wi-Fi la momentánea conexión del dispositivo bajo el nombre "ESP_88F2CE". 3. Verificar en los registros del servidor que se recibió una solicitud de actualización de imagen. 4. Abrir la nueva imagen generada por el servidor y verificar que la misma es impresa en la pantalla del dispositivo. 5. Colocar las pilas en el dispositivo siguiendo las indicaciones del manual. 6. Verificar la continuidad del correcto funcionamiento del dispositivo repitiendo los pasos 2 a 4. 7. Desconectar el cable USB del dispositivo. En este momento el mismo pasará a ser alimentado por las pilas. 8. Verificar la continuidad del correcto funcionamiento del dispositivo repitiendo los pasos 2 a 4.		
Criterio de aceptación		
El dispositivo mantiene su correcto funcionamiento cambiando de alimentación cableada a alimentación por batería.		
ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-FUN-INIT	FUN-INIT, FUN-PULS	BDP-6
Procedimiento		
1. Encender el dispositivo. 2. Verificar en la lista de dispositivos conectados a la red Wi-Fi inicial la momentánea conexión del dispositivo bajo el nombre "ESP_88F2CE". 3. Verificar en los registros del servidor inicial que se reciben solicitudes de actualización de imagen. 4. Verificar que la pantalla del dispositivo se actualiza apropiadamente. 5. Con ayuda del clip, doblando uno de sus extremos, introducirlo en el orificio de la parte posterior de la carcasa. Deberá sentir el "click" del botón de reinicio. Mantenerlo pulsado por 10 segundos para activar el modo de configuración. 6. Con la computadora o dispositivo móvil, verificar la existencia de una nueva red Wi-Fi disponible llamada 'E-Ink Display Config'. 7. Conectarse a la red e intentar acceder a una página web con el explorador. El mismo		

será redirigido a un formulario de configuración.

8. Completar el formulario con las credenciales de la red Wi-Fi alternativa y el link al servidor alternativo. Luego confirmar la nueva configuración y el dispositivo se reiniciará.

9. Verificar en la lista de dispositivos conectados a la red Wi-Fi alternativa la momentánea conexión del dispositivo bajo el nombre "ESP_88F2CE".

10. Verificar en los registros del servidor alternativo que se reciben solicitudes de actualización de imagen.

Criterio de aceptación

El dispositivo fue satisfactoriamente reconfigurado con una nueva red Wi-Fi y servidor, utilizando el modo de configuración por red local.

ID Prueba	Objetivo	Banco de pruebas
TEST-FUN-INIT2	FUN-INIT2	BDP-6

Procedimiento

1. Encender el dispositivo.

2. Verificar en la lista de dispositivos conectados a la red Wi-Fi inicial la momentánea conexión del dispositivo bajo el nombre "ESP_88F2CE".

3. Verificar en los registros del servidor inicial que se reciben solicitudes de actualización de imagen.

4. Verificar que la pantalla del dispositivo se actualiza apropiadamente.

6. Con la computadora o dispositivo móvil, conectarse a la aplicación web del servidor para configurar los dispositivos.

7. Seleccionar el dispositivo por su ID, y se abrirá un formulario de configuración.

8. Completar el formulario con las credenciales de la red Wi-Fi alternativa y el link al servidor alternativo. El dispositivo tomará las nuevas configuraciones en su próxima conexión con el servidor.

9. Esperar a la próxima actualización de pantalla, donde las nuevas configuraciones tomarán efecto.

10. Verificar en la lista de dispositivos conectados a la red Wi-Fi alternativa la momentánea conexión del dispositivo bajo el nombre "ESP_88F2CE".

11. Verificar en los registros del servidor alternativo que se reciben solicitudes de actualización de imagen.

Criterio de aceptación

El dispositivo fue satisfactoriamente reconfigurado con una nueva red Wi-Fi y servidor, utilizando el modo de configuración por aplicación web del servidor.

Tabla 22. Validaciones

8.3 Matriz de trazabilidad

Origen	ID Req.	ID Espec.	Test	ID BDP	Aplicabilidad / Validación
ENT-LOG, ENT-TI, ENT-MAG	REQ-WIFI	FUN-WIFI	TEST-FUN-WIFI	BDP-4a	IP, IF / D, T
Tácito	REQ-AMB	MEC-IP3X	TEST-MEC-IP3X	BDP-1a	DF / I, T
		AMB-EMA	TEST-AMB-EMA	BDP-4i	IF / D, T
		AMB-EMC	TEST-AMB-EMA	BDP-4i	IF / D, T
		AMB-HUM	TEST-AMB-HUM	BDP-4f	IF / T
		AMB-TEMP	TEST-AMB-TEMP	BDP-4g	IF / T
		AMB-PRES	TEST-AMB-PRES	BDP-4h	IF / T
ENT-LOG	REQ-WALL	FUN-WALL	-	-	IF / I, D
		MEC-SEG	-	-	IF / I
		DIM-MAS	TEST-DIM-MAS	BDP-2	DF / T
ENT-LOG	REQ-BNR	ALI-BAT	TEST-FUN-WIFI	BDP-4a	DP, DF / I, D, T
		MEC-SCRW	TEST-INT-MANT	BDP-3	DF, IF / I, T
ENT-LOG	REQ-REC	ALI-BAT	TEST-FUN-WIFI	BDP-4a	DP, DF / I, D, T
		MEC-SCRW	TEST-INT-MANT	BDP-3	DF, IF / I, T
		MAN-REE	TEST-INT-MANT	BDP-3	IF / T
ENT-LOG	REQ-MANT	PER-AUT	TEST-PER-AUT	BDP-4c	IP, IF / D, T
		CNF-MTF	-	-	DF / D
ENT-MAG	REQ-AUT	PER-AUT	TEST-PER-AUT	BDP-4c	IP, IF / D, T
		PER-ACT	TEST-PER-ACT	BDP-4b	IP, IF / D, T

ENT-ADM	REQ-CAL	FUN-CONT	-	-	IF / D
		FUN-IMG	TEST-VIS-LEG	BDP-4a	IP, IF / I, D, T
ENT-TI	REQ-WAC	CON-WPAE	TEST-CON-WPAE	BDP-4d	DF / D, T
ENT-TI	REQ-WITB				
ENT-MAG	REQ-PUL	VIS-PUL	-	-	DP, DF / I, D
Tácito	REQ-ATM	FUN-WIFI	TEST-FUN-WIFI	BDP-4a	IP, IF / D, T
Tácito	REQ-LEG	VIS-LEG	TEST-VIS-LEG	BDP-4a	DP, DF / I, T
Tácito	REQ-REP	FUN-BAT	TEST-FUN-BAT	BDP-4a	IF / D, T
		FUN-SRV	TEST-FUN-BAT	BDP-4a	IP, IF / I, D, T
		MAN-CBT	-	-	IP, IF / I, D
		MAN-ERR	-	-	IP, IF / I, D
Tácito	REQ-RES	FUN-RES	TEST-FUN-RES	BDP-4a	DP, DF, IP, IF / D, T
		FUN-RTY	TEST-FUN-RES	BDP-4a	DF, IF / D, T
		ALI-SMRT	TEST-ALI-USB	BDP-5	DF / I, T
		CON-RET	-	-	DP, DF, IP, IF / D
Tácito	REQ-CONF	FUN-INIT	TEST-FUN-INIT	BDP-6	DF, IF / D, T
		FUN-INIT2	TEST-FUN-INIT2	BDP-6	IF / D, T
		FUN-PULS	TEST-FUN-INIT	BDP-6	DF / D, T
Escalabilidad, tácito	ESC-AA	ALI-BAT	TEST-FUN-WIFI	BDP-4a	DP, DF / I, D, T
Escalabilidad, tácito	ESC-USB	ALI-USB	TEST-ALI-USB	BDP-5	DF / I, D, T
		ALI-5V0	-	-	DF / D

Escalabilidad, tácito	ESC-IMG	FUN-WIFI	TEST-FUN-WIFI	BDP-4a	IP, IF / D, T
		FUN-IMG	TEST-VIS-LEG	BDP-4a	IP, IF / I, D, T
		CON-PRC	TEST-FUN-WIFI	BDP-4a	DP, DF, IP, IF / D, T
Escalabilidad legal	ESC-EUR	MEC-INF	-	-	DF / I
		SEG-VOL	-	-	DP, DF / D
		SEG-FIS	-	-	DP, DF / I
		SEG-MAS	TEST-DIM-MAS	BDP-2	DF / T
		SEG-TEM	TEST-SEG-TEM	BDP-4e	IF / D, T
Análisis financiero	-	CST-CST	-	-	DF / D
Análisis financiero	-	CST-PRC	-	-	DF / D
Tácito	-	DIM-SCP	TEST-DIM-SCP	BDP-1b	DF / I, D, T
Tácito	-	DIM-DIM	TEST-DIM-DIM	BDP-1b	DP, DF / I, D, T
Tácito	-	CNF-LIF	-	-	DP, DF / D
Tácito	-	DIS-DIS	-	-	IF / D
DFMEA	-	MAN-USM	-	-	DF / I, D

Tabla 23. Matriz de trazabilidad de validación

9 Análisis de Factibilidad

9.1 Factibilidad tecnológica

9.1.1 Propiedades de pantalla de tinta electrónica

En esta sección se presentan los beneficios que ofrecen las pantallas de tinta electrónica también referidas como pantallas de papel electrónico ("*e-paper displays*") para nuestra aplicación.

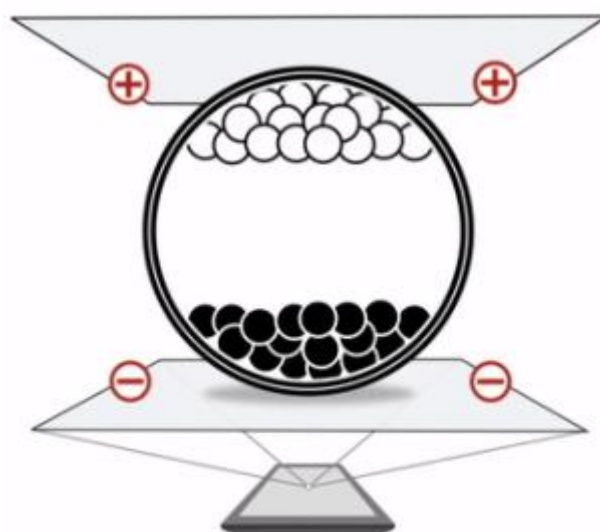


Figura 9:1: Ejemplo de celda bi-estable (fuente: E-ink)

Estos beneficios incluyen:

- La posibilidad de llegar a un consumo ideal nulo para mantener una imagen en pantalla, al ser una tecnología bi-estable
- El no generar reflejos ni emitir luz propia permite leerlas fácilmente en ambientes de alta luminosidad
- Cuentan con un mayor ángulo de visión ($\sim 180^\circ$ contra $\sim 90^\circ$ para otras tecnologías)
- Al no emitir luz no producen contaminación lumínica al ambiente o cansancio ocular
- Resultan en un menor consumo medio que otras tecnologías en aplicaciones de bajo refresco
- Es una tecnología novedosa cuya inclusión se considera atractiva para clientes con conciencia ambiental o interés tecnológico

Las limitaciones actuales de esta tecnología son los siguientes:

- Más limitado rango de color/tonos
- Mayor costo que pantallas LCD de resoluciones similares

- Lenta tasa de refresco. No recomendable para aplicaciones dinámicas
- La tecnología no cuenta con una base de adopción imponente ni alto nivel de estandarización como otras. Por esto, conseguir repuestos puede implicar rediseños o barreras al momento de cambiar de proveedor
- Dependiendo de su uso, las pantallas de tinta digital suelen tener una vida útil aproximada de 5 años.

9.1.1.1 Análisis del beneficio económico del menor consumo de una pantalla E-ink contra LCD:

Se estudió si el bajo consumo de la pantalla permite ofrecer un incentivo económico al consumidor. Dado el bajo costo de la electricidad en la Argentina y el bajo consumo de las pantallas consideradas, el ahorro que ofrecen las pantallas de tinta electrónica es insignificante al momento de considerarlo un valor agregado. El ahorro comparado con el uso de una pantalla LCD es inferior a 13 USD para una instalación de 100 pantallas.

No obstante, *el mínimo consumo de las pantallas de E-ink permite el cumplimiento del requerimiento de eficiencia (REQ-09) que en otro caso sería inviable.*

Considérese un precio kilovatio hora de 0,09 dólares, cómo se especifica en las resoluciones 24/2019, 25/2019, 26/2019 y 27/2019 del Boletín Oficial de la República Argentina. Con 8766 horas en un año un consumo continuo de 1W resulta en un costo de 0.7889 USD anuales.

Consumo pantalla tecnología LCD:

Requisito de corriente aproximado	1.5uA por cm ²
Área de pantalla	154cm ² (7")
Consumo continuo resultante	0.23mA x 7V = 16 1mW
Costo asociado	0.127 USD por año, por pantalla

Tabla 24. Consumo pantalla tecnología LCD

Consumo pantalla tecnología tinta electrónica (5V):

Requisito de corriente aproximado	0.5 μ A por cm^2
Área de pantalla	154 cm^2 (7")
Potencia en reposo	1mW
Consumo durante actualización	77 μ A x 5V = 0.385mW
Consumo anual	10.95Wh
Tiempo de actualización	250 – 2000 ms a 25°C
Consumo por hora con refrescos cada 30'	192.5 μ Ws
Consumo diario	2.696mWdía (8hs a 22hs)
Consumo anual	647mWaño
Costo asociado	4e-8 USD por año, por pantalla

Tabla 25. Consumo de pantallas de tinta digital

9.1.2 Exploración del uso de paneles solares en interiores

Se exploró como una opción que maximizaría la autonomía del dispositivo y minimizaría la necesidad de mantenimiento periódico la inclusión en el dispositivo de una celda fotovoltaica compacta, también conocidas como paneles solares. Se evalúa el caso para paneles comunes y el mejor caso posible, las celdas GCell especialmente diseñadas para operar en ambientes de baja luminosidad como interiores.

9.1.2.1 Consideraciones de panel solar estándar

Luz incidente aproximada en interiores	100 a 300 lux
Ratio de conversión estimada	0.0079 W/ m^2 por lux
Conversión estimada en interiores	0.79 mW/ m^2
Área aproximada	154 cm^2 (0.0154 m^2)
Potencia máxima disponible	12μW

Tabla 26. Potencia de panel solar estándar

9.1.2.2 Consideraciones de tecnología GCell: celdas optimizadas para interiores

Potencia estimada	entre 4 y 7 μ W/cm ² a 200 lux
Áreas posibles del panel	[0.5 a 10]cm * (1.2 cm * [2 a 11])
Área máxima	132 cm ²
Área aproximada	154 cm ² (0.0154m ²)
Potencia máxima disponible	514μW (2600mWaño)

Tabla 27. Potencia de panel solar GCell

9.1.3 Propuesta de alternativas de diseño

9.1.3.1 Opciones de Alimentación

- **Opción A:** utilización de Panel solar para interiores

Se estima el consumo para evaluar la posibilidad de autosuficiencia con panel GCell:

Módulo	Consumo estimado
Pantalla de tinta digital	650 mWaño
Módulo Wi-Fi	10s a 100mA y 3.3V = 330mW 916uWh con 1 conexión por hora 3100 mWaño
Microcontrolador	1.0mW con 30s/hr activos 28 mWaño
Consumo estimado	3778 mWaño

Tabla 28. Estimación de consumo

En conclusión, se consumirían al menos 3778mWaño, sin considerar pérdidas y auto descarga. Visto que la generación del panel GCell alcanzaría un tope de 2600mWaño, esto implica **no poder obtener autosuficiencia** si no se mejora la eficiencia/consumo de estos componentes o si no se reduce drásticamente el número máximo de actualizaciones diarias.

- **Opción B:** Alimentación a base de baterías

Sistema de baterías	Auto descarga aproximada
Litio-metal primaria	10% en 5 años
Alcalina	2–3% por año (7-10 años de “shelf life”)
Plomo-ácido	5% mensual
Nickel	10–15% en 24h, luego 10-15% mensual
Litio-ion	5% en 24h, luego 1–2% mensual (3% extra por el circuito de seguridad)

Tabla 29. Auto descargas de diferentes tecnologías de baterías

Considerando la auto-descarga de las tecnologías recargables, (Li-ion) utilizar este tipo de celdas secundarias implica sobredimensionar las baterías, colocando más en paralelo. Se puede asegurar una autonomía de un año para con un uso de menos pilas alcalinas (celdas primarias).

(Ver sección 11.1.2.1 *Batería* para más información)

9.1.3.2 Opciones de comunicación

Se considera el uso de protocolos de comunicación Wi-Fi o Zigbee (IEEE 802.15.4), que sería algo más lento, pero más eficiente energéticamente.

El uso de una red Zigbee implicaría la utilización de un gateway Zigbee, para conectarse a las redes pre-existentes lo que implica una barrera de acceso para los clientes que desean aprovechar su instalación pre-existente. Mientras tanto, el módulo Wi-Fi, permite menores costos al no requerir componentes especiales, y la inclusión de un dispositivo gateway adicional, lo que simplifica el uso para los clientes y reduce el alcance del proyecto. Esta conclusión a la vez se obtuvo como requerimientos de los clientes en base a las entrevistas realizadas (REQ-WIFI y REQ-ITB)

9.1.4 Elección de una solución

9.1.4.1 Esquema modular

Se decide por la opción B, descartando la pantalla solar, en vista de las siguientes consideraciones, y la entrevista E-4B:

- Implica mayor complejidad de diseño
- Conlleva mayor costo de producto y diseño
- No es un requerimiento del cliente. Y las prestaciones, para el mismo, no justifican el aumento ese aumento costo.

Se opta, como decisión de diseño y en base al requerimiento (REQ-AUT) del cliente principal, buscar una autonomía de un año con pilas/baterías.

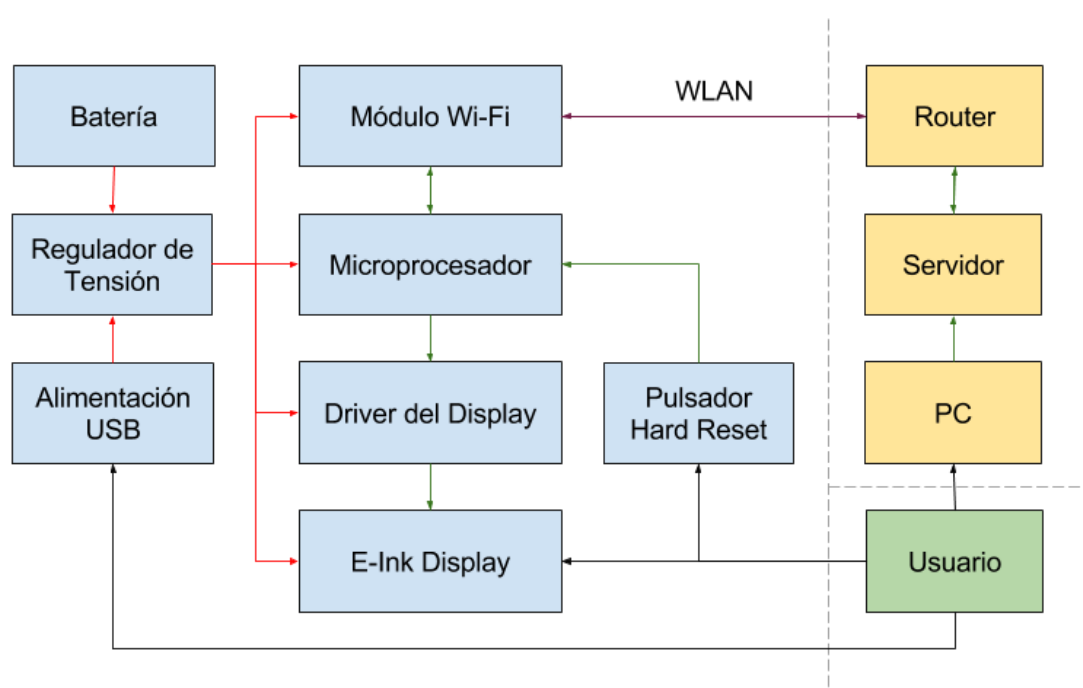


Figura 9:2: Diagrama en bloques

A la vez, como se documenta en el requerimiento ESC-USB, se decide agregar como consideración de diseño para la escalabilidad (especificaciones pertinentes: ALI-USB, ALI-5V0) la inclusión de una alternativa de alimentación por USB que al habilitar el uso cableado. Esto puede simplificar el proceso de validación y test, y ofrecer mayor versatilidad al usuario que desee fijar el dispositivo y nunca requerir el reemplazo de baterías minimizando tiempos y costos de mantenimiento recurrente.

9.1.5 Estudio de fallas y mitigación

9.1.5.1 Diagrama de espina de pescado para fallas posibles

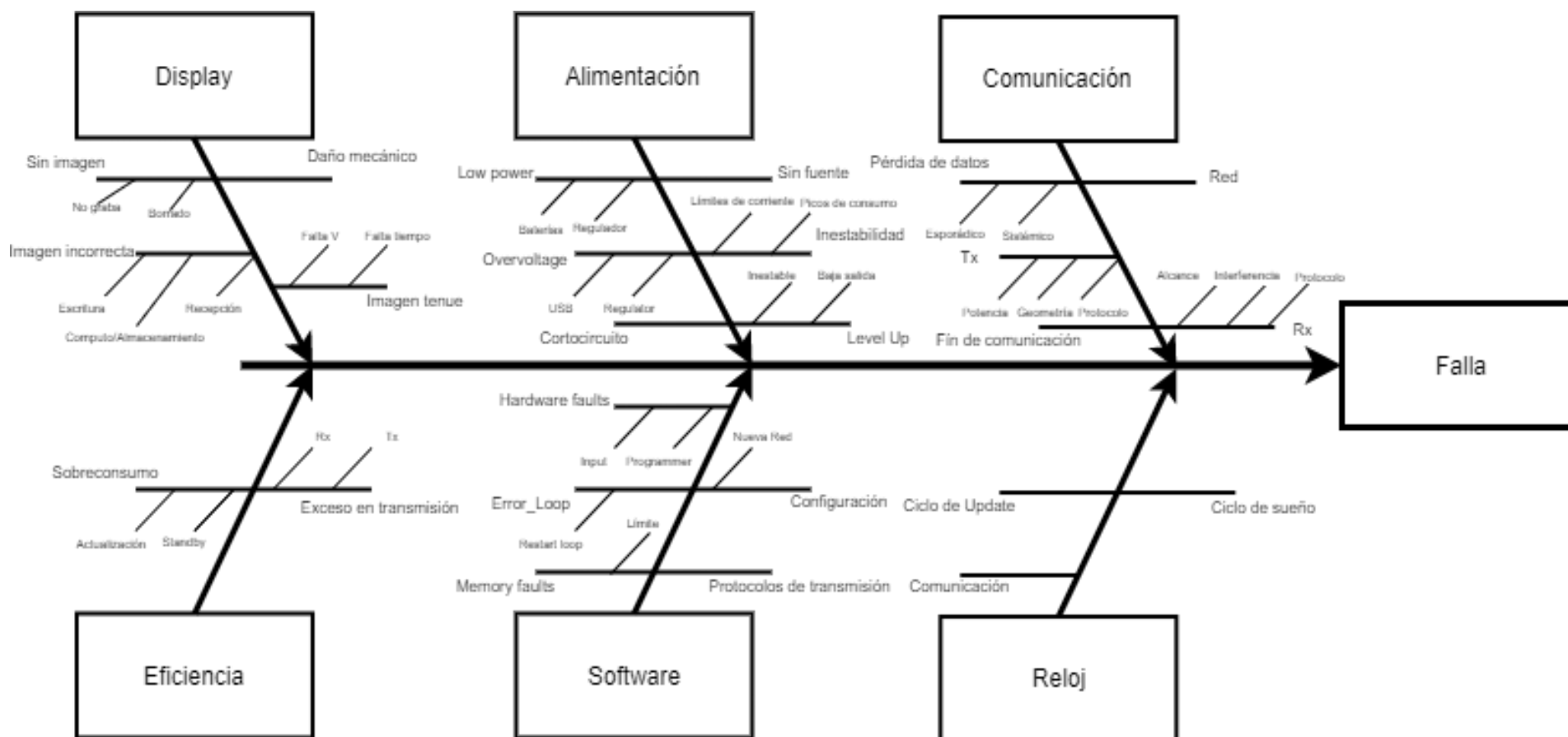


Figura 9:3: Diagrama espina de pescado para posibles fallas

9.1.6 DFMEA

N	Módulo	Modo de la falla	Efectos de la falla	Causas de la falla	Aceptabilidad				Acción de reducción/Prevención del riesgo	Aceptabilidad 2				Ref.
					Severidad	Ocurrencia	Detección	IC		NS	PO	DE	IC	
1	Alimentación cableada	Daño mecánico a puerto	Falla alimentación cableada	Error de instalación	6	2	8	96	Soldado con refuerzo mecánico. Instrucciones de uso.	6	1	8	48	DF-01
2	Alimentación interna	Daño eléctrico en la entrada de alimentación	No llega tensión a la electrónica	Inserción de pilas incorrectas o en orientación opuesta.	8	6	10	480	Proteger con zenners contra sobretensión o sobretensión negativa. Y usando el DC-DC	8	1	10	80	DF-02
3	Alimentación a batería	Falta de alimentación	No llega tensión suficiente a la electrónica	Desgaste de baterías inesperado	3	9	10	270	Informar estado de carga estimado durante la comunicación y permitir acceso para recambio	3	2	10	60	DF-03
4	Alimentación a batería	Baja capacidad	Duración de batería menor que lo especificado	Baterías de menor capacidad que la esperada.	2	6	10	120	Clarificar condiciones de especificación en manual	2	3	10	60	DF-04
5	Alimentación a batería	Error de medición de nivel	Señaliza requisito de cambio de batería fuera de tiempo.	Falta de calibración en sistema de medición.	4	1	2	8	-	4	2	2	16	DF-05
6	Alimentación a batería	Alto consumo	Rápido desgaste de carga.	Actualizaciones frecuentes, mala conexión de red (extiende tiempo de actualización)	3	4	8	96	Clarificar condiciones de especificación en manual	3	3	8	72	DF-06
7	Distribución de energía	Consumo excesivo	Rápido desgaste de carga.	Introducción de cortocircuitos por material extraño.	8	2	10	160	Clarificar condiciones de especificación en manual.	8	1	10	80	DF-07
8	Pantalla (física)	Daño mecánico a pantalla	Perdida de funcionamiento parcial o total de pantalla	Impactos a la Pantalla de tinta digital	7	3	10	210	Proteger con placa de acrílico transparente.	7	1	10	70	DF-08

N	Módulo	Modo de la falla	Efectos de la falla	Causas de la falla	Aceptabilidad				Acción de reducción/Prevención del riesgo	Aceptabilidad 2				Ref.
					Severidad	Ocurrencia	Detección	IC		NS	PO	DE	IC	
9	Pantalla (física)	Desgaste de pantalla	Pérdida de claridad de imagen	Tiempo de uso o ambiente extraordinario	3	8	8	192	Clarificar condiciones de especificación en manual	3	4	8	96	DF-09
10	Pantalla (lógica)	Data antigua en pantalla	Imagen estática en pantalla	Error inesperado en ejecución de software	7	2	5	70	“Reseteable” por pulsador (hardware)	3	2	5	30	DF-10
11	Conectividad/red	Data incorrecta en pantalla	Presentación de datos erróneos	Interferencia en comunicación	3	3	10	90	Utilización de CRC y retransmisión	3	2	10	60	DF-11
12	Conectividad/red	Data antigua en pantalla	Presentación de datos antiguos	Falla en conexión de red.	4	3	10	120	Reintentar luego actualizar pantalla con símbolo de falla de comunicación.	4	2	10	80	DF-12
13	Driver de pantalla/General	Mortalidad infantil	Pantalla no se actualiza	Errores de conexonado o componentes con fallas	8	2	8	128	Probar hardware en planta y asegurar cableado con pegamento	8	2	2	32	DF-13

Tabla 30. DFMEA del producto y primera revisión de diseño

Categoría	Valor IC
Aceptable	<200
Bajar hasta razonablemente práctico	>200
No Aceptable	>500

Tabla 31. Rangos de aceptabilidad para DFMEA

9.2 Factibilidad de tiempos

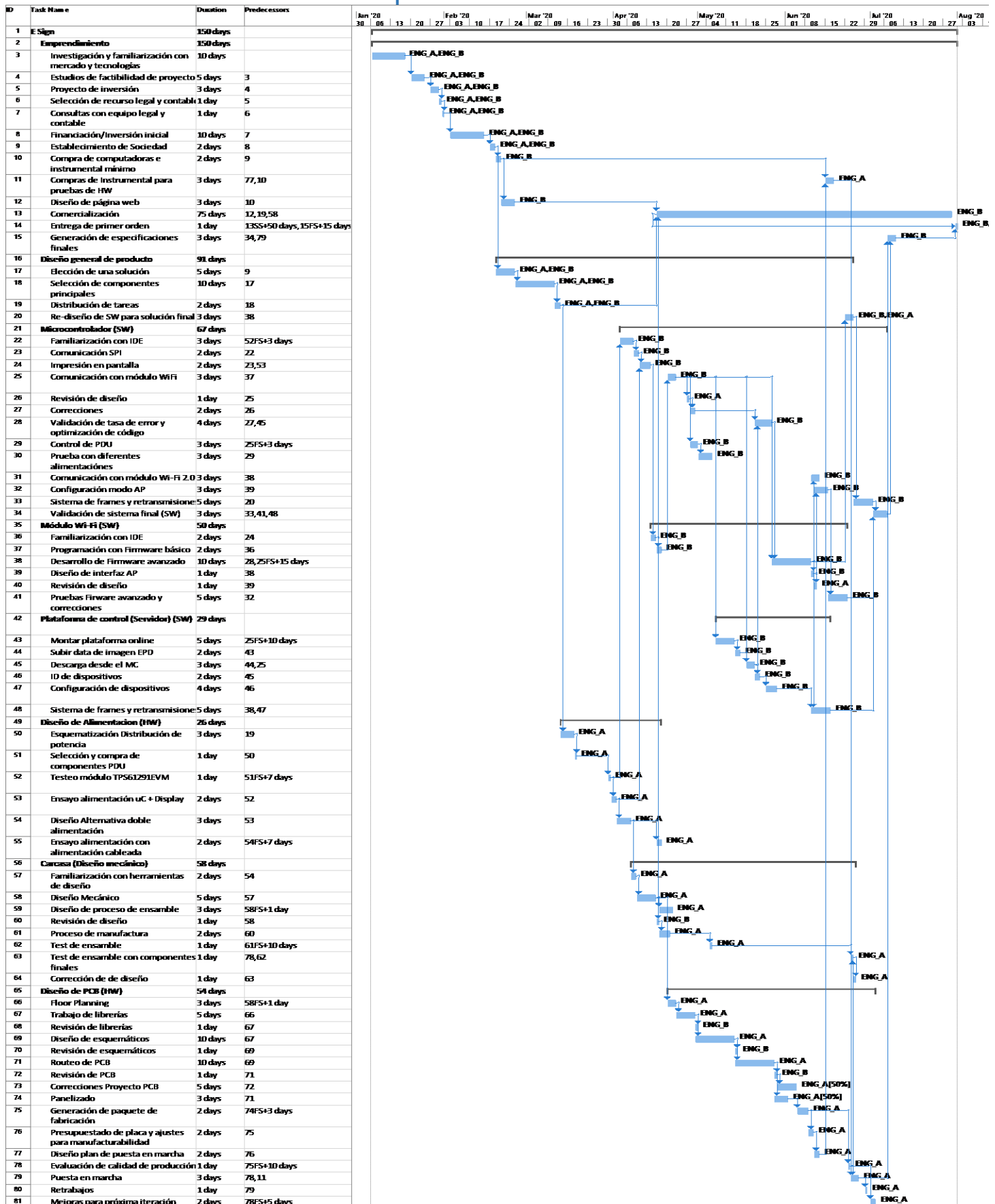


Figura 6: Esquema tentativo de tiempos considerando dedicación exclusiva de 2 ingenieros (A y B)

9.2.1 Programación (Gantt)

Se diseñó un cronograma de 5 meses de desarrollo de proyecto (150 días) desde la concepción del proyecto a la entrega de la primera unidad, ver Figura 6: Esquema tentativo de tiempos considerando dedicación exclusiva de 2 ingenieros (A y B).

Se maneja como recursos 2 ingenieros electrónicos con dedicación exclusiva. Se contemplan tiempos de familiarización con las herramientas de diseño (mecánico y electrónico) y las interfaces de diseño de software (denominadas IDEs). Se considera que un ingeniero se enfoca principalmente en los 3 hilos de desarrollo de software (ENG_B) microprocesador, servidor y módulo Wi-Fi, este ingeniero también se encargará de implementar la interfaz de comercialización web y gestionar el equipo de ventas a lo largo del desarrollo del producto. El otro ingeniero (ENG_A) se dedica principalmente al diseño mecánico y de electrónica (hardware). Ambos ingenieros cuentan con intervalos de revisión donde recíprocamente se encargan de realizar una revisión del trabajo del otro ingeniero con la finalidad de sincronizar criterios de diseño e implementar una metodología de diseño ágil donde toda divergencia del objetivo es rápidamente atrapada y corregida antes de llegar a un punto donde implican un costo mayor y/o un retardo en el proceso.

Se considera que este cronograma es conservador y permite que el proyecto sea exitoso aún en el caso de eventualidades no contempladas (retrasos en envíos y/o no-conformidades en la electrónica) gracias al margen de 15 días adicionado.

9.3 Factibilidad económica

9.3.1 Tamaño de mercado argentino

No se cuenta con información sobre la adopción actual de tecnologías similares en la Argentina, pero se extrapola el tamaño del mercado de las aplicaciones posibles del producto.

9.3.1.1 Museos

Este mercado se considera muy beneficiado por el uso cableado.

Aproximadamente 1000 museos en la Argentina. La cantidad varía lentamente, estima el crecimiento en el orden de 2 museos por año, y con expansiones esporádicas de los museos ya establecidos.

Se estima que en promedio tienen 10 salas de acceso al público, y que las mismas cuentan con al menos 5 muestras/pantallas. Se aproxima en total unas 100 exhibiciones individuales por museo. Por el nivel de costo y prestaciones de la iteración actual, se considera posible la venta de 2 pantallas por sala, pero si en el futuro se comercializa una versión más accesible en precio se podría vender una pantalla por muestra o hasta una por objeto.

Volumen Total de Mercado para Museos desde 20,000 unidades, creciendo a 50-100 por año. Posiblemente 100,000 para un producto con otras prestaciones.

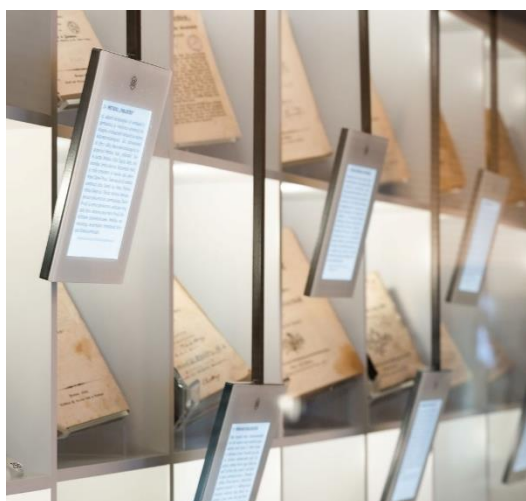


Figura 9:5: Ejemplo de instalación de Artec Design en el museo nacional de Estonia

9.3.1.2 Universidades

La República Argentina cuenta con 63 universidades privadas y 57 públicas.

Se estima una pantalla por aula. Y unas 100 aulas promedio por universidad (varían entre 30 y 200 aulas por universidad).

Volumen Total de Aulas Universitarias: 12,000 con un crecimiento de 2.1% anual.

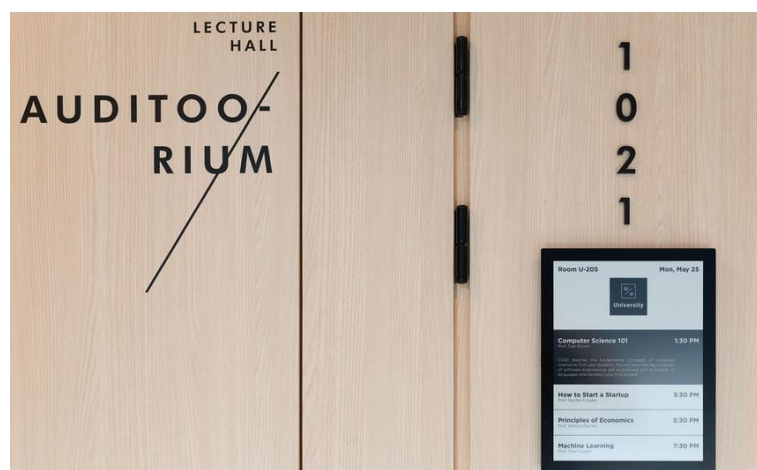


Figura 9:6: Ejemplo de instalación de Artec Design en la Universidad de Tartu (2020)

9.3.1.3 Empresas

En la Argentina hay 856.300 empresas, 83% de las cuales son microempresas; 16,8%, pymes, y solo 0,2% grandes compañías. Además, las firmas de hasta 200 empleados representan el 66% del empleo formal privado del país, según datos de la Secretaría de Transformación Productiva.

Categoría	Porcentaje	Cantidad
Microempresas	83.0%	710.729
Pymes	16.8%	143.858
Grandes	0.2%	1.713

Tabla 32. Empresas Argentinas

Se estima una pantalla por sala de reuniones.

Para el caso de las PYMES se estima 1 pantalla para las empresas más pequeñas y 2 para las medianas alcanzando un promedio de 1.5 pantallas por empresa y para las Grandes 5 pantallas.

Volumen de mercado de salas de reuniones: 230,000 con un crecimiento anual del 2.5% (se considera proporcional al crecimiento del PBI).

9.3.1.4 Conclusión

Tamaño de Mercado en la Argentina: 262,000 unidades (al inicio del año 1)

Crecimiento anual del mercado: 2.4%.

Existen otras oportunidades de comercialización del producto como en el caso del mercado de salud cómo en el caso de identificación de pacientes o del médico que se encuentra utilizando un consultorio particular, el uso en esos ambientes puede requerir un mayor análisis legal por lo que no se consideran para esta instancia del proyecto.



Figura 9:7: Ejemplo de aplicación médica de Yonglin Biotech Corp. (2019)

De acuerdo al tamaño de mercado y el plan de comercialización previsto se proyecta el siguiente nivel de ventas y participación del mercado objetivo:

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Volumen de Mercado	262000	268288	274727	281320	288072
Variación Participación (%)	0.10%	0.20%	0.30%	0.40%	0.35%
Participación total (%)	0.10%	0.30%	0.60%	1.00%	1.35%
Ventas anuales (unidades)	262	537	824	1,125	1,008
Crecimiento anual	-	105%	54%	37%	-10%

Tabla 33. Participación de mercado en los primeros 5 años

Se considera una caída desde el año 5º cuando se alcance una mayor madurez en el mercado y la posibilidad que ingresen otros productos que reemplacen el producto original, tanto por el lado de nuestra empresa cómo por nuevos competidores accediendo al mercado local.

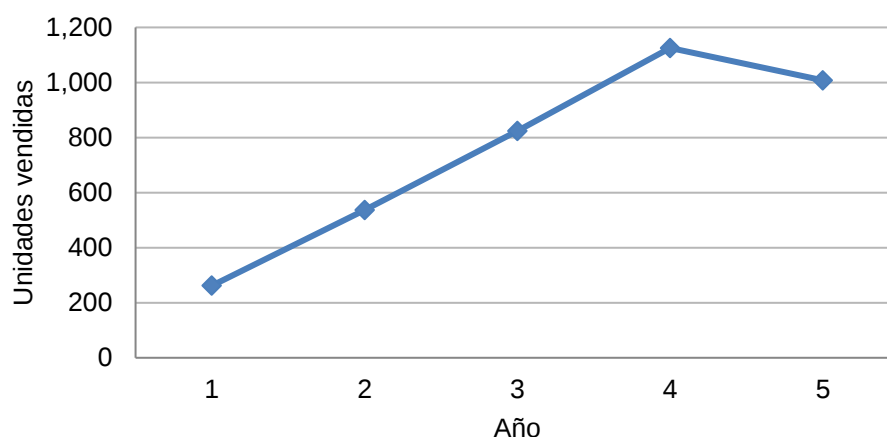


Figura 9:8: Proyección de ventas en los primeros 5 años

9.3.2 Casa de calidad

Se contrasta el producto propuesto contra el producto de Visionect 6”:

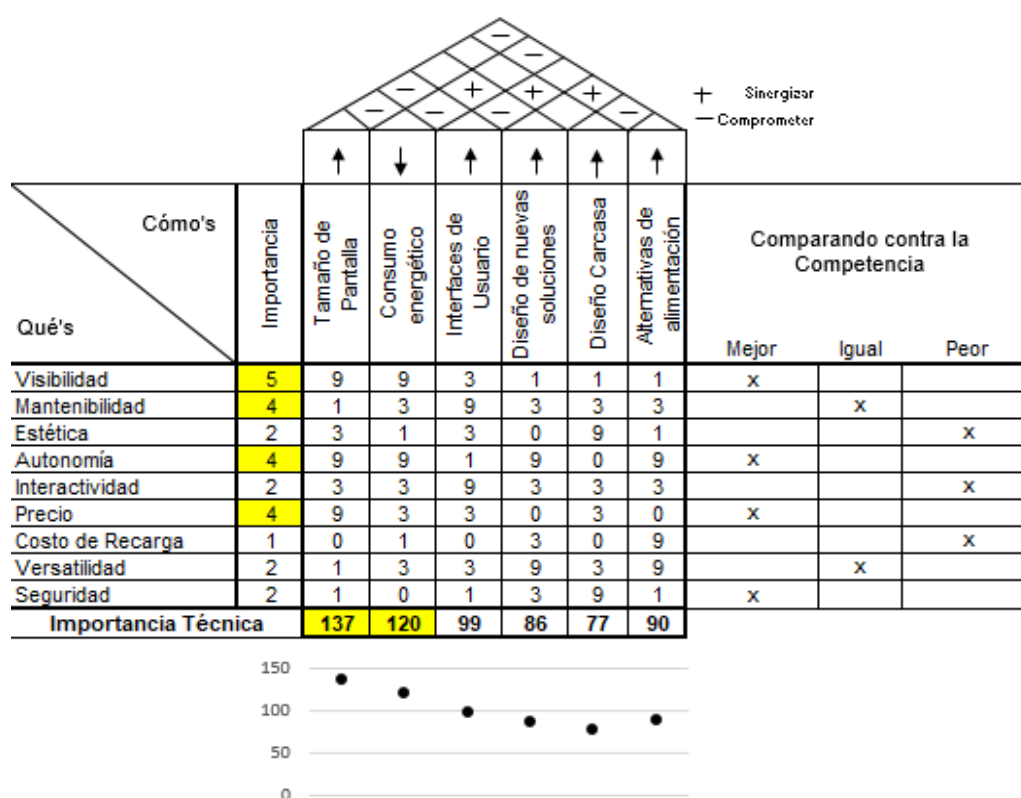


Figura 9:9: Casa de calidad

Se resaltan los requerimientos principales y los puntos donde enfocar el diseño: obtener una pantalla de altas prestaciones y bajo costo, e implementar un sistema de bajo consumo para así poder tener una alta disponibilidad a través de una alta autonomía y un rápido tiempo de mantenimiento.

9.4 Costos

9.4.1 Costos variables

	(U\$D) Costo [≥250 unidades]	(U\$D) Costo [≥1000 unidades]
Costo hora hombre (ensamble y test) ₁	4.00	4.00
Horas de ensamble y test ₂	0.50	0.50
Mano de obra directa	2.00	2.00
<i>Pantalla</i>	54.40	53.00
<i>Micro de ultra bajo consumo</i>	3.35	2.40
<i>Módulo Wi-Fi</i>	1.50	1.40
<i>Carcasa y elementos de montaje</i>	6.00	5.00
<i>Módulo de alimentación</i>	1.02	0.69
<i>PCB y Ensamble</i>	4.00	3.00
<i>Componentes driver de pantalla</i>	3.00	2.50
<i>Otros Componentes PCB</i>	2.00	2.00
<i>Manual de Usuario</i>	1.00	0.80
<i>“Packaging”</i>	1.00	0.80
Subtotal materiales (FOB)	77.27	69.19
Costos de importación (fletes y derechos) ₃	23.18	20.76
Costo Unitario Total	99.45	89.15

Tabla 34. Costos directos de producción

Aclaraciones:

1. Se considera que esta labor se terceriza a ese costo unitario.
2. Se diseña un proceso simple de ensamble donde se integren el PCB, la pantalla y la carcasa y se realice el test TEST-FUN-WIFI, donde se deja a la pantalla con el logo de la empresa antes de embalar el producto con el manual de usuario. Se lo considera realizable en menos de 15 minutos, pero se incorpora un margen de 2 veces.
3. Se estima un costo de importación simplificado para los insumos materiales del 30%.

El principal costo del producto son las pantallas de Pervasive. Es posible a futuro reemplazar esa parte por un modelo de pantalla de origen chino, para bajar el costo unitario de la misma hasta el rango de 45 a 35 USD, pero implicaría un rediseño del sistema. No obstante, con estos montos ya se está cumpliendo la especificación de costo (CST-CST).

Es posible que una vez establecida la empresa en el mercado local se pueda generar una empresa afiliada en Chile u otro país del Mercosur con una menor carga impositiva (carga

total cercana al 21% contra la superior al 50% local) para poder reducir el costo de importación de los insumos. Esto requiere un análisis profundo cuando se llegue a esa etapa del proyecto, pero hay razones para creer que el Acuerdo de Complementación Económica (ACE) 16 (02/08/1991) y el ACE 35 (1/10/1996) puede facilitar legalmente reducir este costo.

9.4.1.1 Costo de PCB:

	Costo Total (USD)		Costo Unitario (USD)	
	250	1000	250	1000
<i>Unidades</i>				
<i>PCB</i>	237	677	0,948	0,677
<i>Ensamble</i>	290	643	1,40	0,60
<i>Envío</i>	115	464	0,46	0,464
Total	642	1784	2,568	1,784

Tabla 35. Costos PCB

Se estima el costo de fabricación de un PCB de 4 capas con el presupuestador de PCBWay y las siguientes configuraciones:

Parámetro	Valor
Dimensiones	75mm x 65mm
Material (Dieléctrico)	FR-4
FR4-TG	TG 150-160
Espesor total	1,6mm
Separación de pistas mínima	6mils
Menor agujero presente	0,3mm
Color de máscara de PCB	Verde
Color de serigrafía	Blanco
Inclusión de "Gold fingers"	No
Terminación de placa	HASL (Lead-free)
Terminación de vías	Cubiertas (Tented)
Espesor de cobre	1 [oz/ft2]
Espesor de cobre capas internas	1 [oz/ft2]

Tabla 36. Configuración PCB

9.4.2 Costos fijos

	Costo Mensual (USD)	Total Año [1 a 3] (USD)	Total Año [4 y 5] (USD)
<i>Alquiler/Gasto de Oficina/Almacenamiento</i>	279,72	3356,64	3356,64
<i>Sueldo administrativo con cargas sociales</i>	839,16	10069,93	10069,93
<i>Sueldo ingeniero con cargas sociales</i>	1538,46	18461,54	18461,54
<i>Sueldo asistente con cargas sociales (desde año 4)</i>	559,44	0,00	6713,29
<i>Servicio Contable</i>	230,77	2769,23	2769,23
<i>Servicio Asistencia Legal</i>	34,97	419,58	419,58
<i>Gastos Marketing</i>	209,79	2517,48	2517,48
<i>Servicios Web & Hosting</i>	83,92	1006,99	1006,99
<i>Gastos generales</i>	48,95	587,41	587,41
Costos fijos anuales	3825,17	39188,81	45902,10

Tabla 37. Costos fijos

Se considera el esquema de costos fijos presentado, se consideraron márgenes de seguridad para los valores para poder considerarlo una cota superior para la estructura del micro-emprendimiento. Inicialmente se incluyen 2 trabajadores uno administrativo que se encargará del manejo de la empresa y comercialización del producto y un ingeniero que se encargará de mantenimiento, del desarrollo continuo de las aplicaciones de servidor y de soporte de instalación para los clientes. Más adelante, desde el cuarto año donde la escala de ventas ha aumentado al punto de requerir un más personal para encargarse de los despachos se considera la incorporación de un asistente o cadete para alivianar esa carga en el resto del personal. Los salarios incluyen un 50% de cargas sociales y se consideran competitivos o altos en comparación con los reportados en el sitio glassdoor.com para la Argentina. Los Servicios legales se toman como una porción del costo anual, no se considera requerir una intervención de los mismos de manera mensual. Se incluyen los costos de alquiler de un servidor y sitio web, y se considera un presupuesto para marketing online de 200 dólares mensual, para complementar la comercialización/publicitación directa que hará el trabajador administrativo a las empresas del sector apuntado.

9.4.3 Costos de inversión

	Costo (USD)
Costo de desarrollo de producto¹	12.000,00
Costo de prototipo	500,00
Herramientas	330,00
Router Wi-Fi y servicio de internet	100,00
Computadoras	1.400,00
Celulares de prueba	700,00
Mobiliario	200,00
Costo Constitutivo de empresa	423,11
Total inversión inicial	15.653,11

Tabla 38. Costos de inversión

1: Se considera un costo de desarrollo correspondiendo un trabajo de 5 meses full-time por 2 ingenieros junior, con un salario de 1200 USD mensuales.

Se incluye la compra de material de trabajo incluyendo computadoras para diseño y celulares para validar el funcionamiento de la interfaz de configuración.

La empresa se constituye como una SAS cómo se explica en más detalle en la sección 9.6.1.

9.5 Precio

Se decide comercializar el producto a un precio de USD 220 incluyendo IVA, se lo considera un precio competitivo contra productos similares como se explica a continuación, y se estima que es lo suficientemente accesible como para ser atractivo para el mercado local.

Se considera dos modalidades de comercialización:

Modalidad A: venta B2B del dispositivo con la opción de recibir soporte al costo. El estudio siguiente se hace sobre la base de la segunda modalidad, simplificando el precio de venta a U\$D 220 (CST-PRC).

Modalidad B: prestación del servicio de señalización con un precio base de 235 USD pagadero en una mensualidad de USD 19.60 durante 12 meses. (Equivalente a la modalidad 1 para el análisis financiero considerando una tasa nominal de interés del 6%).

9.5.1 Precios de referencia

Es importante recalcar que para los valores siguientes no se toma en cuenta el costo de la carga impositiva asociada con la importación que puede llegar a ser un adicional del 50% al valor de lista.

Producto	Descripción	Costo
Pantalla Disea	Repuesto pantalla LCD	10 USD
Pantalla Good Display	Repuesto pantalla E-Ink	30 USD
Visionect 6"	Pantalla de 6" tinta electrónica controlable con Wi-Fi. Incluye una batería recargable.	300 USD
LANCOM WDG-2 7.4"	Pantalla de 7.4" tinta electrónica controlable por RF, con batería recargable.	229 EUR
Visix MeetingMinder™ EPS 74	Pantalla de 7.4" tinta electrónica controlable por RF, con batería recargable.	330 USD
Amazon Kindle	Versión del lector de tinta electrónica con funcionalidad Wi-Fi.	100 USD
Tablet Ali Baba	Tablet económica con sistema operativo Android.	40 USD
Marco AVIC	Marco de Fotos Wi-Fi, marca AVIC, origen chino.	35 USD

Tabla 39. Precios de referencia

Intrínsecamente, las pantallas de tinta digital tienden a ser menos económicas que pantallas LED de dimensiones similares, pero ofrecen beneficios que lo justifican.

La aplicación sin cableado/de instalación simplificada competiría con las pantallas de Visionect, Lancom y Visix, mientras que la aplicación cableada podría ser suplantada por modificaciones al firmware o aplicaciones especializadas corriendo en un Kindle (versión con Wi-Fi), una tablet Android, o un marco de fotos con Wi-Fi.

En la aplicación sin cableado contamos con una mayor versatilidad (no se requiere un transmisor RF adicional/especial) y menor costo, mientras que, en la aplicación cableada, se espera que la barrera de tiempo de desarrollo sea suficiente para que los clientes opten por comprar un producto desarrollado en vez de invertir en desarrollar uno propio para acceder a un costo material menor.

9.5.2 Proyecto de inversión

Consideraciones para la evaluación financiera:

- **Inversión Inicial:** se considera los valores de acuerdo con el punto 8.4.3, la erogación se realiza en su totalidad en el año 0 y se devenga como gastos de puesta en marcha por lo que no se amortiza.
- **Comercialización:** venta B2B del dispositivo con la opción de recibir soporte al costo, precio de venta a U\$D 220 IVA incluido. Se considera marketing directo y se realiza publicidad en medios digitales. El manejo comercial es realizado por los 2 trabajadores ya contemplados.
- **Tipo de empresa:** sociedad de acciones simplificadas (SAS) con una tasa de impuesto a las ganancias de 35%.
- **Ingresos Anuales:** Se estiman los ingresos de acuerdo al plan de comercialización y no se consideran stocks.

Año	0	1	2	3	4	5
Inversión Inicial	(15.653,11)	-	-	-	-	-
Ingresos sin IVA	-	47.636,36	97.559,27	149.851,04	204.596,62	183.318,58
Egresos sin IVA	-	(65.357,20)	(92.773,28)	(121.490,27)	(158.268,10)	(146.582,87)
Imp. Ganancias (Tasa: 35%)	-	-	-	-	16.135,47	12.857,50
Flujo de caja	(15.653,11)	(17.720,83)	4.785,99	28.360,77	62.463,99	49.593,20
TIR	53%					
VAN (Tasa: 5%)	\$77.582,21					
VAN (Tasa: 10%)	\$60.870,45					
PIR (Meses)¹	8,75					

Tabla 40. Cash flow simplificado y rentabilidad del proyecto (en USD)

1: Se calcula el periodo de repago (PIR) considerando un costo de financiación (Tasa de interés bancario) del 6% anual.

A través de este estudio de rentabilidad se concluye que el proyecto evaluado de manera conservadora obtiene una tasa interna de retorno (TIR) del 53% y un valor actual neto (VAN) de 77,580 USDs considerando una tasa de interés del 5%. Finalmente, se obtiene un periodo de repago de 8.75 meses para la inversión inicial. Se lo considera un proyecto atractivo dado el alto margen del producto y bajo costo de inversión inicial.

A continuación, se presenta el cuadro de resultados que ofrece en detalle la fuente de los valores utilizados en el estudio de rentabilidad anterior.

Año:	0	1	2	3	4	5
<i>Ventas proyectadas (unidades)</i>	0	262	537	824	1,125	1,008
<i>Precio unitario de venta (USD)</i>	-	\$ 220.00	\$ 220.00	\$ 220.00	\$ 220.00	\$ 220.00
<i>Precio unitario de venta [sin IVA] (USD)</i>	-	\$ 181.82	\$ 181.82	\$ 181.82	\$ 181.82	\$ 181.82
<i>Ingreso por ventas (USD)</i>	-	\$ 57,640.00	\$ 118,046.72	\$ 181,319.76	\$ 247,561.91	\$ 221,815.48
<i>Ingreso por ventas [sin IVA] (USD)</i>	-	\$ 47,636.36	\$ 97,559.27	\$ 149,851.04	\$ 204,596.62	\$ 183,318.58
<i>Costo Unitario de Producción [sin IVA]</i>	-	\$ (99,45)	\$ (99,45)	\$ (99,45)	\$ (99,45)	\$ (99,45)
<i>CMV (Costo Mercadería Vendida)</i>	-	\$ (26.056,16)	\$ (53.363,02)	\$ (81.965,60)	\$ (111.910,36)	\$ (100.271,69)
<i>Costos fijos Anuales</i>	-	\$ (39.188,81)	\$ (39.188,81)	\$ (39.188,81)	\$ (45.902,10)	\$ (45.902,10)
<i>Inversión Inicial</i>	\$ (15.653,11)	-	-	-	-	-
<i>Costos anuales de soporte/mantenimiento:</i>	-	\$ (112,22)	\$ (221,45)	\$ (335,86)	\$ (455,64)	\$ (409,09)
<i>Total Egresos [sin IVA]</i>	\$ (15.653,11)	\$ (65.357,20)	\$ (92.773,28)	\$ (121.490,27)	\$ (158.268,10)	\$ (146.582,87)
<i>Utilidad antes de impuestos (EBIT)</i>	\$ (15.653,11)	\$ (17.720,83)	\$ 4.785,99	\$ 28.360,77	\$ 46.328,52	\$ 36.735,70
<i>Utilidad acumulada (EBIT)</i>	\$ (15.653,11)	\$ (33.373,95)	\$ (28.587,96)	\$ (227,19)	\$ 46.101,34	\$ 82.837,04
<i>Impuesto a las ganancias (Tasa: 35%)</i>	-	-	-	-	\$ 16.135,47	\$ 12.857,50
<i>Utilidad después de impuestos</i>	\$ (15.653,11)	\$ (17.720,83)	\$ 4.785,99	\$ 28.360,77	\$ 62.463,99	\$ 49.593,20

Tabla 41. Cuadro de Resultados del proyecto

Se incorpora como un costo del año cero el costo de inversión. El costo de mantenimiento y soporte se estima considerando fallas en 1% de los productos vendidos y requiriendo en promedio 2 horas hombre de trabajo y el 40% del costo de directo de producción en materiales.

9.6 Factibilidad legal y responsabilidad civil

9.6.1 Tipo de Sociedad

Básicamente existen tres tipos de sociedades bajo la Ley 19.550, de Sociedades Comerciales que mejor se ajustan para este tipo de start-ups dado que ofrecen facilidad para su creación, establecen límites sobre la responsabilidad patrimonial personal de los socios y no representan un alto costo para el inicio y durante la operación de una empresa pequeña.

Para constituir una sociedad, debemos inscribirla en el Registro Público de Comercio que le corresponda en base a su zona de actividad, en base al procedimiento establecido según la Ley de Sociedades.

Sociedad de Responsabilidad Limitada (SRL) ¹

Principales características:

- Su constitución es simple y no representa grandes gastos.
- Los socios son responsables únicamente hasta el monto de sus aportes, por lo que no hay riesgos de que pierdan todo su patrimonio.
- Presenta algunas ventajas impositivas sobre las sociedades anónimas.
- No puede cotizar en la bolsa

Sociedad por Acciones Simplificada (SAS)

Esta es uno de los más recientes tipos de empresas existentes en el país. Permite crear tu empresa en un día de manera simple, ágil y de forma digital

- Es simple porque incluye la apertura de una cuenta bancaria, un nuevo CUIT y un capital básico de dos salarios mínimos, vitales y móviles.
- Es ágil porque tu sociedad puede estar constituida por un único socio y el objeto del negocio puede ser amplio (lo que otorga flexibilidad a futuro para realizar cambios en el estatuto de la sociedad)
- Y además es digital: las firmas, los libros y los poderes se manejan vía online

Sociedad Anónima (SA)

Principales características:

- Supone más requisitos para su conformación, los gastos de constitución son mayores y tiene más controles por parte de organismos reguladores.
- Puede cotizar en la bolsa.
- Los socios se dividen el capital mediante acciones y su responsabilidad también es limitada.
- Es obligación que se presenten balances y lleve un libro de registro de acciones.

¹ Fuente: www.tiendanube.com/blog/tipos-de-empresas-argentina/

Las tres sociedades mencionadas permiten estar constituidas por 2 o más personas físicas, para el caso de las S.A. se requiere un capital mínimo de \$100.000, debe abonarse al menos un 25 % del mismo al momento de la constitución de la sociedad.

La sociedad que mejor se adapta a este proyecto, como carácter de emprendimiento es la S.A.S. ya que cuenta con los beneficios de los sistemas de financiación creadas por la Ley de Emprendimiento.

Creación de un SAS²

- Creas tu sociedad en un día y desde una computadora.
- Sólo necesitas un capital social equivalente a dos salarios mínimos, vitales y móviles.
- El valor del trámite es de \$4.430 y contempla los gastos de inscripción y publicación automática en el Boletín Oficial.
- Podes incluir el costo del trámite como integración del capital inicial.
- Junto con la inscripción, obtenés el CUIT de tu SAS de forma automática.
- Podes firmar tu estatuto con firma digital.
- Tus libros societarios y contables van a ser digitales.
- No necesitás un socio para constituirla.
- Podés darte de alta en impuestos y solicitar factura A en línea.
- Vas a poder abrir más rápido una cuenta en el banco.

Ley de Emprendedores:

1) Podes crear tu empresa en un día a través de una nueva figura jurídica, la Sociedad por Acciones Simplificada (SAS).

2) Financiamiento para tus ideas:

Fondos de inversión: Se crea un FONDCE (Fondo Fiduciario para el Desarrollo del Capital Emprendedor) para que el Estado destine fondos públicos para co-invertir con privados e impulsar el desarrollo de los proyectos.

Crowdfunding: Podes desarrollar tu proyecto a partir de una red online de financiación colectiva supervisada por la Comisión Nacional de Valores.

Aceleradoras: Se van a seleccionar 13 aceleradoras para ayudar a hacer crecer los proyectos argentinos: 10 de ellas van a dedicarse a emprendimientos tecnológicos y sociales y 3, a negocios científicos.

3) Acceso a nuevos créditos para empezar tu emprendimiento:

Además, la ley ofrece beneficios impositivos a los inversores que elijan apoyar ideas argentinas: podrán descontar del Impuesto a las Ganancias entre un 75% y 85% del monto que aporten con un tope de 10% de sus ganancias anuales.

² Fuente: www.argentina.gob.ar

Presupuesto total Constitución SAS:

- **Capital Social:** 2 veces el Salario Mínimo Vital y Móvil, partir del 1 de diciembre de 2020, será de \$ 20.587,50, **Total: \$ 41.175**
- **Honorarios Constitución:** por tratarse de una SAS no se consideran
- **Inscripción y Publicación: \$ 4.430**
- **Honorarios Asesoría Legal y Contable: \$ 15.000**

TOTAL: AR\$ 60.505 (considerando un dólar MEP de \$145 equivale a USD 417)

Estos valores fueron considerados como parte de la de inversión inicial.

9.6.2 Factibilidad Legal

9.6.2.1 Seguridad eléctrica

En el año 2015 entró en vigencia la nueva resolución 508/2015 de la Secretaría de Comercio donde se remplace la Resolución 92/1998 en cuanto a los requisitos esenciales de seguridad que debe cumplir el equipamiento eléctrico de baja tensión para su comercialización. Se rectifican algunos artículos de esta resolución mediante Resolución 559/2015.

De acuerdo con estas resoluciones, el equipamiento eléctrico de baja tensión que se comercialice en la REPÚBLICA ARGENTINA deberá contar con una certificación que acredite el cumplimiento de los requisitos esenciales de seguridad.

Sin embargo, según el artículo 14 de la resolución 508/15, todos los materiales y aparatos (excepto ciertas excepciones puntuales enumeradas en dicho artículo en el cual no está incluido nuestro producto) diseñados para usar tensión menor a 50V están excluidos de tramitar seguridad eléctrica.

Aquellos que están diseñados para funcionar con una fuente de alimentación externa (esté incluida o no) deberán tener una etiqueta sobre el producto con la totalidad de las características eléctricas de las fuentes de alimentación que resultan compatibles con el mismo y las advertencias al usuario sobre los riesgos resultantes de conectar una fuente con características distintas a las especificadas.

Dado que este producto maneja tensiones menores a 5 V alimentado por pilas alcalinas AA, no es necesario realizar la certificación de seguridad eléctrica.

Nuestro producto es por diseño un sistema SELV de acuerdo con la definición de la IEC (IEC en conjunto con IET y BSI).

9.6.2.2 Normativa Europea:

9.6.2.3 Declaración de conformidad

Se busca cumplir con la normativa europea y colocar la marca "CE" en el equipo para darle mayor expansibilidad al proyecto y dar mayor confianza al cliente. A través de esa marca la

empresa declara que está cumpliendo los estándares de la EEA (a través del proceso de auto-certificación), en particular se requiere que nuestro producto cumpla con las siguientes directivas:

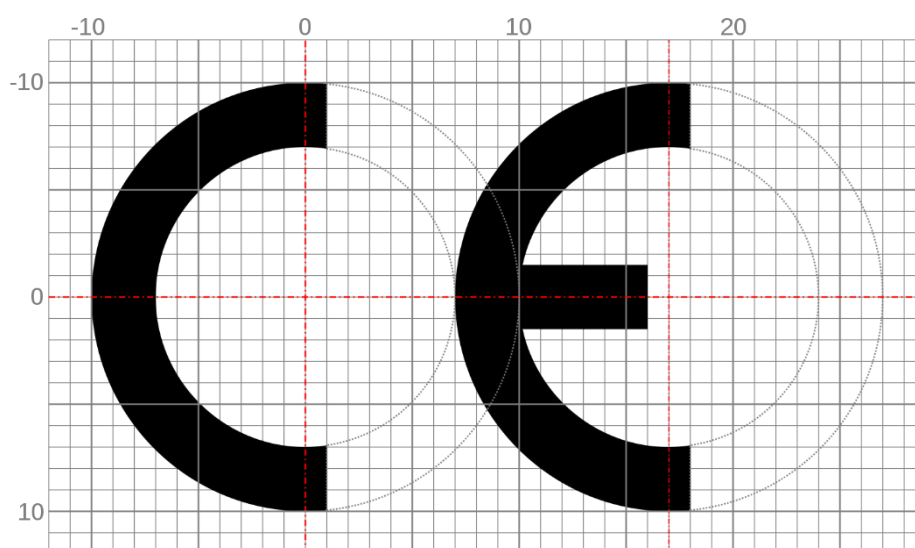


Figura 9:10: La marca CE a colocar sobre el dispositivo

Por normativa, la marca ha de tener un tamaño no menos a 5mm de altura (COUNCIL DIRECTIVE 93/68/EEC).

9.6.2.3.1 Directiva de baja tensión (LVD: The low voltage directive (LVD) (2014/35/EU)

Esta norma establece niveles generales de protección que deben cumplir los equipos eléctricos dentro del CE, y se aplica desde el 20 de abril de 2016. Dado que esta norma no incluye aparatos eléctricos con una tensión menor a 75V de corriente continua se aplica la “directiva (2001/95/EC) relativa a la seguridad general de los productos”.

9.6.2.3.2 Compatibilidad electromagnética: según (artículo 3.1 (b) de la directiva R&TTE) EN 301 489-1 V1.8.1/-17 V1.3.2

El dispositivo funcionará según lo previsto sin interferir con el uso o la función de cualquier otro dispositivo o verse afectado por él, siguiendo lo impuesto por la directiva 2004/108/CE sobre Compatibilidad Electromagnética (EMC) (sustituye a la anterior Directiva 89/336/CEE de emc) (artículo 3.1b) y “Radio frequency spectrum usage” (artículo 3.2 de la directiva R&TTE).

9.6.2.3.3 Directiva sobre restricciones de sustancias peligrosas ((RoHS) 2011/65/EU)

El equipo fue diseñado utilizando componentes con certificación RoHS y con intención de utilizar soldaduras con estaño sin plomo. Esto nos permite asegurar que se cumple con esta directiva.

RoHS: Utilizamos el mismo estándar que Texas Instruments, uno de nuestros proveedores. TI define su línea "RoHS" como productos semiconductores que cumplen los requisitos actuales de RoHS de la UE para las 10 sustancias RoHS, incluido el requisito de que la sustancia RoHS no supere el 0,1 % en peso en materiales homogéneos. Cuando están diseñados para soldarse a altas temperaturas, los productos "RoHS" son adecuados para su uso en procesos sin plomo especificado. TI se refiere a estos tipos de productos como "libres de plomo" (lead-free).



Figura 9:11: Marca RoHS

9.6.2.3.4 **Directiva sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (WEEE). 2012/19/EU**

Fin de vida y disposición de desechos – normas EU WEEE (Waste Electrical & Electronic Equipment)

En la UE, se busca la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de dichos residuos con el fin de reducir la eliminación de residuos y contribuir al uso eficiente de los recursos y a la recuperación de valiosas materias primas secundarias.



Figura 9:12: Marca de desechos

No existe en Argentina una ley nacional de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. En CABA está la ley 2807 de concientización, pero el productor no es sujeto obligado. Ver también la ley 1854. En provincia de Buenos Aires está la ley 14321, donde el productor si es sujeto obligado a algunas responsabilidades de concientización e indicaciones de deposición que se tratarán en el manual del producto, y la inclusión del símbolo anterior.

9.6.2.3.5 **Normativas de seguridad**

Por los requerimientos de escalabilidad se busca cumplir la normativa de protección de datos personales habilitando la eliminación de todo dato privado al momento de deshacerse

del producto. Se soluciona agregando una opción de “full-reset” vía el pulsador de reset que vuelva la electrónica a estado de fábrica, borrando la información de redes almacenadas.

9.6.2.4 Patentes y copyright

Las primeras patentes estadounidenses de la tecnología de pantallas de tinta digital son anteriores al año 1996, por lo que la mayoría de las patentes de la tecnología base ya han expirado, por ejemplo: la patente de E Ink Corp. US6120588A “Electronically addressable microencapsulated ink and display thereof” expiró en el 2016, 20 años luego de su aplicación. Aún si esto no fuera el caso, cómo se comprarían pantallas ya producidas, no es necesario obtener una licencia para la tecnología que requiere la fabricación de estas pantallas. Adicionalmente, la patentabilidad de este tipo de dispositivo es cuestionable dada su falta de originalidad, considerando los varios dispositivos con funcionalidad similar que ya existen comercializados (tablets personales, lectores inalámbricos con Wi-Fi (Amazon Kindle), señalización de tinta digital, etc.). Un estudio de las patentes disponibles en tanto Argentina como Estados Unidos nos lleva a concluir que no han sido otorgadas patentes para dispositivos de esta índole ni patentes con poca especificidad que puedan causar un problema al momento de comercializar el producto o expandir a otros mercados en el largo plazo.

9.6.2.5 Marca Registrada (Trademark)

El término “E-ink” se encuentra cubierto bajo la propiedad intelectual de marca registrada de E Ink (Número de registro en Estados Unidos: 3545273), por lo que al momento de comercializarlo fuera de la Argentina sería prudente de evitar el uso de ese término y en vez utilizar uno genérico en cualquier material publicitario, por ejemplo: “electronic ink” o “electrophoretic display”.



Figura 9:13: Ejemplo de Logotipo

Específicamente el término “E-Sign” con el que se comercializaría el producto se encuentra registrado tanto en Argentina (“eSign” Acta 3921314, encontrado a través del buscador del INPI) cómo en Estados Unidos (“E-sign” SN: 87502209 RN: 5390849), pero estos términos están acotados a productos de otras categorías cómo sería software de firmado

digital o productos de vestimenta (Estados Unidos). Esto significa que bajo el marco legal argentino se podría proteger la marca "E-Sign" registrándola para nuestra aplicación particular y categorías similares como una marca mixta para proteger el logotipo por 10 años por un bajo costo de \$2210 pesos (aproximadamente 15USD al día de la fecha).

9.6.2.6 Normas IRAM:

Las siguientes normas IRAM que se consideraron que pueden ser pertinentes al diseño:

9.6.2.6.1 Hardware:

- IRAM- 2292 - Seguridad de aparatos eléctricos y electrónicos de uso doméstico y similar. Inspección y recepción.
- IRAM 2491-1-1 Compatibilidad electromagnética (CEM)
- (CISPR 14-1 y 14-2, IRAM 4200)
- IRAM 2492-3 Aparatos electrodomésticos y equipos eléctricos similares. Perturbaciones producidas en las redes de alimentación. Fluctuaciones de tensión.

9.6.2.6.2 Software:

- IRAM- 36004 - Informática.

9.6.2.7 Normativa Americana

Para una futura comercialización en Estados Unidos, se requeriría una certificación que asegure que la interferencia electromagnética del dispositivo se encuentre bajo los límites impuesto por la FCC (Federal Communications Commission). Esto no se considera necesario para la implementación actual, pero se tendría en cuenta para futuras expansiones a ese mercado.

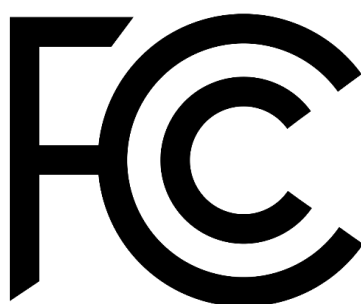


Figura 9:14: Marca de FCC

10 Ingeniería de detalle

10.1 Hardware

10.1.1 Diagrama de bloques (hardware)

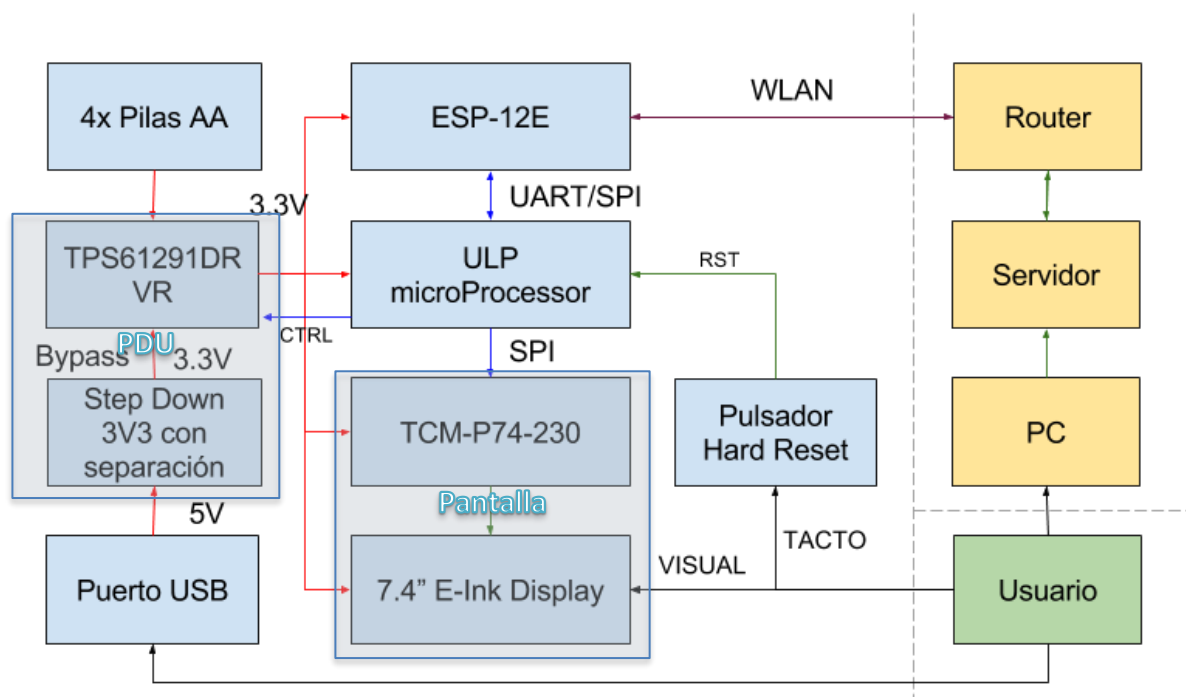


Figura 10:1: Diagrama en bloques

Es sistema está compuesto de 4 subsistemas principales (Microprocesador, Módulo Wi-Fi, Pantalla y Alimentación).

1. Microprocesador de bajo consumo, pulsador de "reset" y programador
2. Módulo Wi-Fi (ESP-12E en diagrama) y programador
3. El subsistema de pantalla incluye la pantalla y su driver (TCM-P74-230 en el diagrama superior).
4. El Sistema de alimentación incluye las baterías, el conector cableado y la unidad de distribución de potencia (PDU) que es la circuitería que se encarga de regular y distribuir la alimentación a lo largo del sistema.

10.1.2 Bloque Batería

Una de las principales ventajas de las pantallas de tinta electrónica es que consumen energía únicamente al actualizar la pantalla. Usado en aplicaciones con tiempos de horas o días entre actualizaciones, el consumo se torna cientos de veces menor que en pantallas LCD. Queriendo obtener el máximo provecho de dicha cualidad, y teniendo en consideración la portabilidad del producto a otros usos, optamos por usar alimentación por baterías, y descartamos el uso de una fuente de alimentación conectada a una red eléctrica.

Para la elección de la pila/batería y su tecnología se debe considerar las siguientes características deseables:

- Alta autonomía
- Bajo coeficiente de auto descarga
- Alta densidad de energía
- Fácil reemplazo o recarga

Se compararon en primer lugar las características de las celdas primarias y secundarias. Las celdas primarias son de menor costo inicial, mayor disponibilidad para reemplazo, y una auto descarga menor al 0.3% por mes. Las celdas secundarias tienen menor costo considerando su vida útil, y auto descarga mayores a 2% por mes. Existen celdas secundarias de fácil reemplazo, como las pilas AA recargables, y una gran variedad de celdas de tamaños y capacidades de carga diferentes, pero de no tan fácil reemplazo. La densidad másica de energía es similar en ambos casos, o levemente mayor en algunas celdas secundarias.

Dado a que se busca tener autonomía mayor a un año, el efecto de auto descarga se hará notar y no debe ser dejado fuera de análisis. Una celda secundaria con un coeficiente de auto descarga del 5% mensual habrá desperdiciado un 60% de su carga a lo largo del año, causando que se deba sobredimensionar notablemente su capacidad o sacrificar una gran parte de la autonomía.

Teniendo en cuenta lo analizado, se decide usar un porta-pilas para pilas alcalinas AA estándar/comerciales. Se recomendará al usuario usar pilas alcalinas para mayor autonomía, y quedará en su decisión usar en su lugar pilas AA recargables, reduciendo el costo en baterías a cambio de una menor autonomía por recarga.

Por los cálculos realizados para estimar el consumo, se predice que cuatro pilas AA tendrán una autonomía de casi 2 años, cumpliendo así con el requerimiento REQ-AUT de nuestro cliente. Sin embargo, se deberán realizar ensayos en el prototipo para garantizar que las aproximaciones de consumo realizadas son representativas de la realidad.

Estas 4 pilas AA se conectarán en una configuración serie-paralelo, lo que duplica la tensión de salida y la capacidad disponible en mAh.

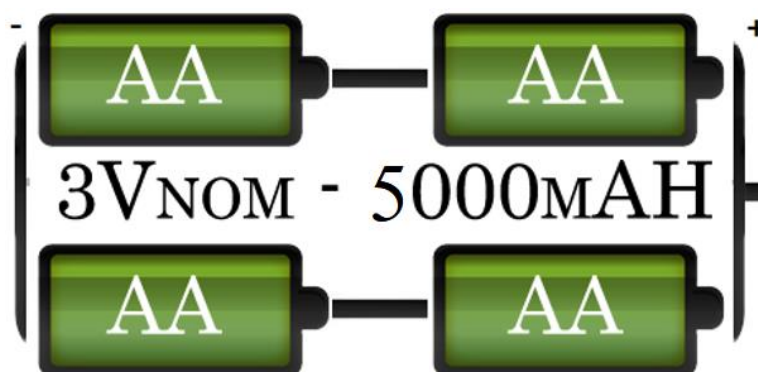


Figura 10:2: Configuración de pilas

Considerando los valores de la batería AA Energizer (19.Anexo 4: Hoja de datos batería AA Energizer) esta configuración nos daría un rango de tensión de 3.2 a 1.6V (3V nominal), y una capacidad de 5.000mAh para nuestro caso de uso (capacidad de energía aproximada: 15Wh).

10.1.3 Microprocesador de bajo consumo

Se consideraron 2 microprocesadores de bajo consumo que nos permitirían lograr la mayor autonomía posible. Las configuraciones en kit de desarrollo eran el ATAVRXPLAIN-ND (Atmel XMEGA 128A1U) y el MSP-EXP430FR5969 (Texas Instruments). Ambos utilizan una arquitectura tipo RISC de 16bits.

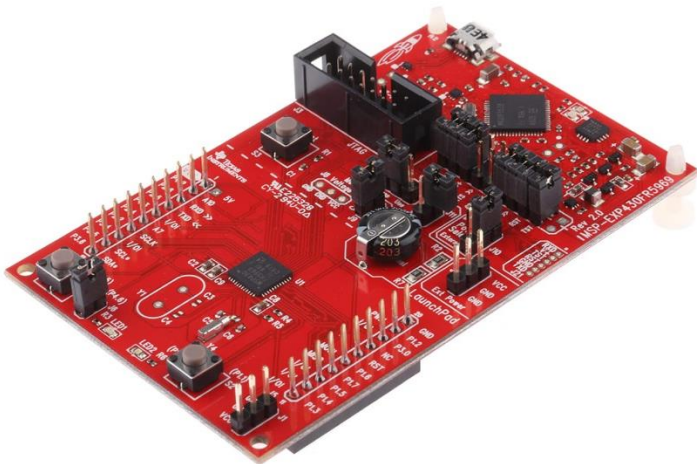


Figura 10:3: Kit de desarrollo de microprocesador

10.1.3.1 Comparación de microprocesadores

	ATxmega128A1U	MSP430FR5969
Costo unitario	\$6 (x100) \$5 (x1000)	\$3.34 (x100) \$2.40 (x1000)
Frecuencia de reloj	12 MHz (a 1.6V), 32 MHz (a 3.3V)	16-MHz
Vcc máxima	3.6 V	3.6 V
Vcc mínima	1.6 V	1.8 V
Modos de bajo consumo	6.4 µA (Idle, 32kHz, Ext. Clk)	LPM0: 80µA (1MHz) LPM1: 35µA (1MHz)
Modos optimizados de ultra bajo consumo	Power-save mode: RTC on 1.024kHz low power 32.768kHz TOSC = 0.8 µA (Típico), 2µA (Máx) Power-down: 0.1 µA (Típico)	RTC (LPM3.5): 0.25 µA (Típico) 0.7 µA (Máx) Standby (LPM3 With VLO): 0.4 µA (Típico)
Modo activo	1.2 mA (2MHz)	1.2 mA (4MHz)
RTC	16-bit real time counter (RTC) with separate oscillator	Real-Time Clock (RTC) With Calendar and alarm Functions

Tabla 42. Comparación de Microprocesadores

Dado el menor consumo del modo RTC del MSP430FR5969, se opta por este micro, usando el modo RTC para despertar al micro esporádicamente, y con este encendiendo el sistema de alimentación.

A la vez el EB de este micro es de menor costo e incluye módulos de medición que pueden facilitar las mediciones de consumo y corriente del mismo, al ser un EB enfocado en el diseño de sistemas de ultra bajo consumo. Adicionalmente Texas Instruments como empresa es de gran renombre y transparencia en cuanto a la documentación de sus componentes y kits de desarrollo, lo que nos da mayor confianza al momento de usarlo de proveedor.

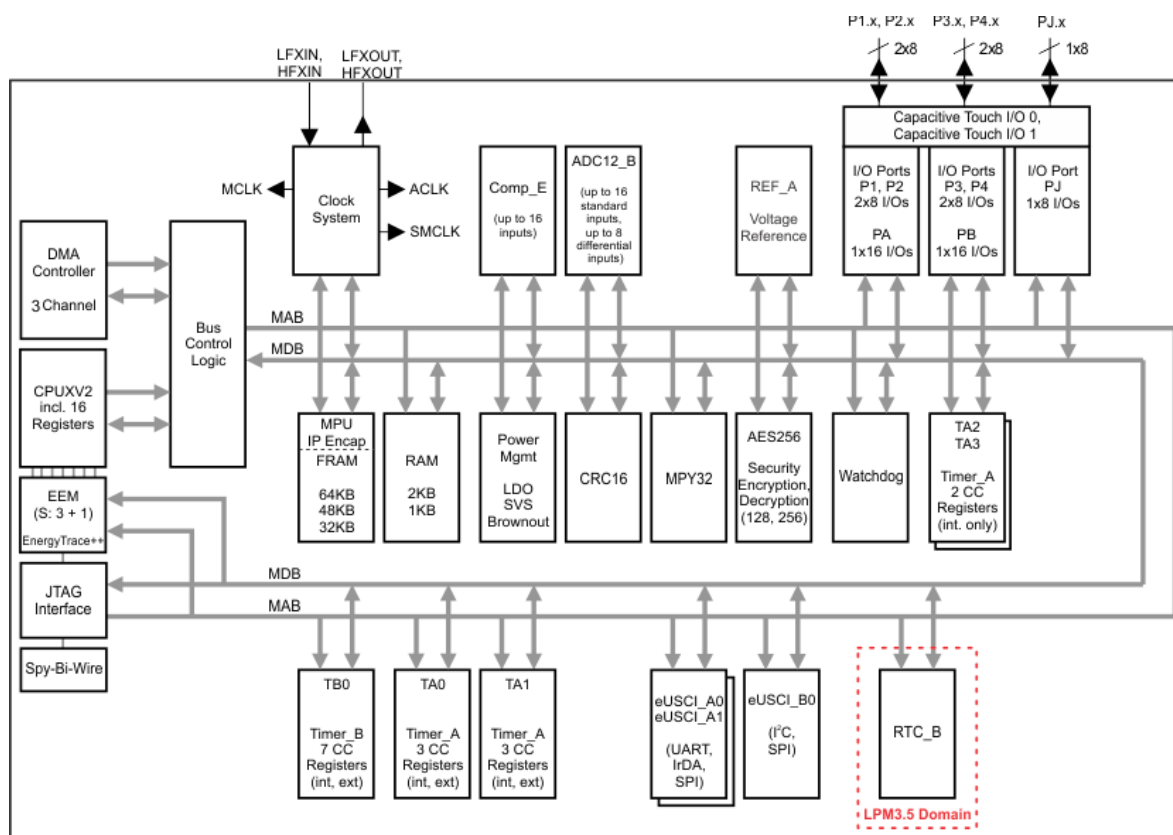


Figura 10:4: Diagrama de bloques interno del microprocesador

Para el producto final se utilizará un puerto JTAG, conectado físicamente por una interfaz Tag-Connect como se puede ver en la imagen siguiente.

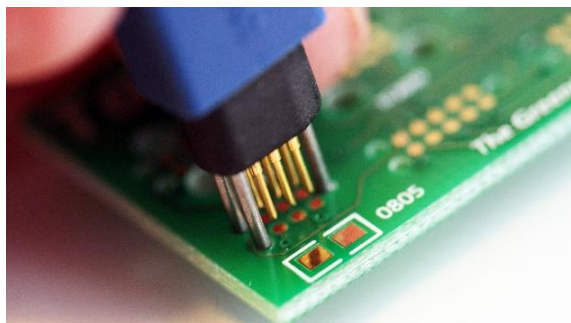


Figura 10:5: Ejemplo Tag-Connect

Esta interfaz de conexión requiere un mínimo espacio en la placa y hace la placa compatible con métodos de programación y test por cama de pines, lo que ayudaría a la manufacturabilidad en masa a futuro.

Para el pulsador se considera el “PTS526 SK15 SMTR2 LFS” por su bajísimo costo y se combinará con un resistor de pull-down y un capacitor de desacople de 100nF, de manera que al ser presionado suba a la tensión de 3V3 y se active una interrupción en el microprocesador para tratar esta entrada.



Figura 10:6: Pulsador

10.1.4 Módulo Wi-Fi (ESP-12E)

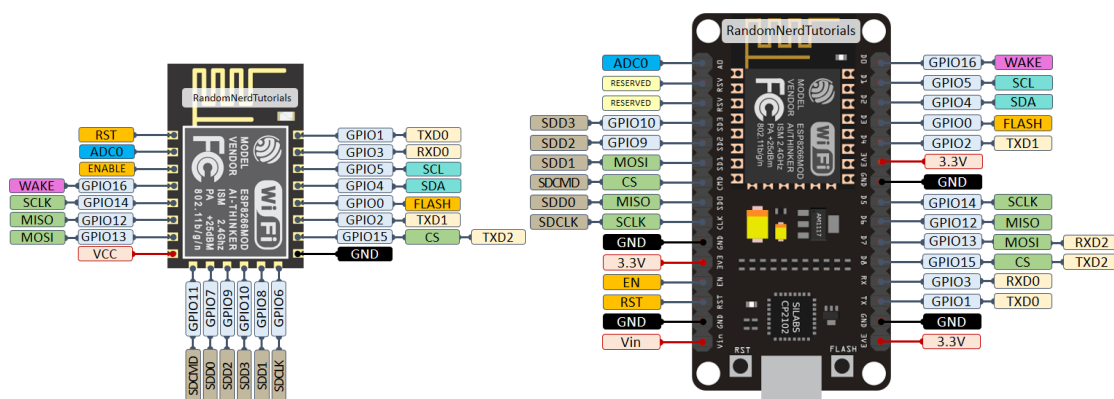


Figura 10:7: Módulo Wi-Fi versión final (Izquierda) y kit de desarrollo (derecha)

Modelo	8266	8285
Precio unitario	\$1.08	\$1.30
Consumo en reposo	15mA	15mA
Corriente en Tx (+15 dBm)	<150mA	<150mA
Tiempo de despertar	< 2ms	< 2ms
Corriente de sueño profundo	<20uA	<20uA
Corriente de fuga en apagado	< 0.5uA	< 0.5uA
Interfaces	UART, HSPI, I2C, I2S	UART, HSPI, I2C, I2S

Tabla 43. Módulo Wi-Fi

La ESP8266 cuenta con las siguientes capacidades de memoria: 32 KB para programa (instrucciones) y 80 KB datos de usuario. Esto es mayor que el tamaño de imagen binaria pura (48KB) sin agregar códigos de corrección o más información de tono o color. La ESP8285 adicionalmente incorpora una memoria Flash con capacidad de 1MB, esto permite almacenar en esa memoria varias imágenes a presentar dándole una mayor escalabilidad al producto al permitir tanto almacenar información de imágenes con más colores (muchas pantallas de tinta electrónica incluyen la opción de rojo o amarillo adicional al blanco y negro), o varias imágenes monocromáticas en el caso de desear descargar todas las imágenes del día una única vez en el caso de aplicaciones donde haya requerimientos más estrictos para la ventana de comunicación con el servidor.

Este módulo se programará por SWD, utilizando una interfaz física similar a la del microprocesador, pero con una cantidad menor de pines para poder evitar en el caso de un descuido que se conecte el conector en la posición incorrecta. Particularmente el TC2050 para el Microprocesador y el TC2030 para el módulo Wi-Fi. Se pueden ver en la “Figura 10:8: Comparación footprints Tag-connect” las diferentes opciones de conectores.



Figura 10:8: Comparación footprints Tag-connect

10.1.5 Pantalla de tinta electrónica

Se opta por utilizar el siguiente módulo de Pervasive Displays:



Figura 10:9: Pantalla de tinta electrónica v230

TCon Module Part	TCM-P74-230_v1.0
Tipo	7.4" (v230 FPL)
# de Parte	MEW074BT011
Resolución	480×800 px
Densidad de Pantalla	126 dpi

Tabla 44. Modelo pantalla de tinta electrónica prototipo

Esta pantalla de 7.4" (dimensión diagonal) permite satisfacer los requerimientos de tamaño pautados (REQ-10) y al incluir el módulo de control y driver simplifica considerablemente la interfaz entre la pantalla y el microprocesador. Para el prototipo utilizar el driver oficial de Pervasive a la vez nos asegura una mayor confiabilidad que el implementar un driver alternativo, dada la limitada documentación a la que se tiene acceso. Al momento de producir los E-Signs en masa, se podría migrar a una placa única con un driver interno y con una pantalla externa a fin de abaratar costos posiblemente tan bajo como \$35.

El módulo se alimenta con los mismos 3.3 V que el microprocesador. Y tiene las siguientes propiedades de consumo:

7.4" v230					
Symbol	Description	Operation	Min	Max	Unit
IDD	Average current consumption	Display update	38.3	108	mA
		Data reception on SPI	23.1	24.0	mA
		Disabled (/TN_EN inactive)	0.02	1.0	µA
E	Average energy consumption in room temperature	Display update	233	649	mJ

Table 3.4: 7.4" v230 supply current characteristics

Tabla 45. Propiedades pantalla de tinta electrónica

Recientemente (2020) se ha lanzado la versión 231 (Aurora) que simplifica la electrónica requerida para controlar la pantalla y reduce el conectorizado a un único cable Flex. El diseño final utilizaría este modelo que entre otras cosas simplifica la interfaz física de control (Driver) y la lógica también al incorporar nueva electrónica dentro de la misma pantalla:

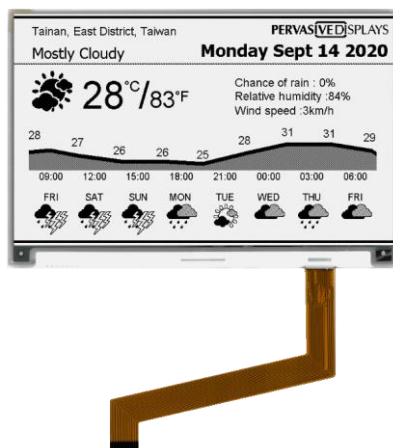


Figura 10:10: Pantalla de tinta electrónica v231

10.1.6 PDU (Unidad de Distribución de Potencia)

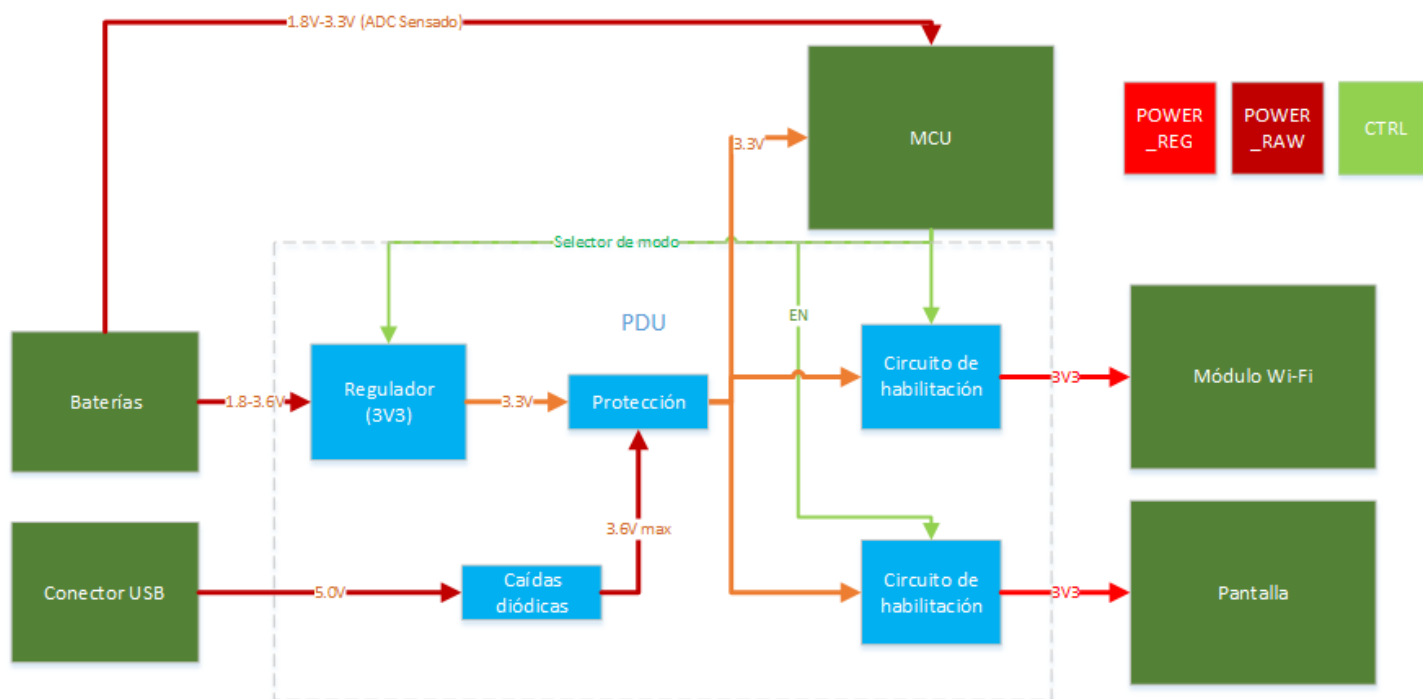


Figura 10:11: Diagrama de PDU

El subsistema de distribución de potencia se presenta arriba. A través de 3 líneas de control el microprocesador es capaz de habilitar y deshabilitar el modo “bypass” del regulador y la alimentación del driver de la pantalla y el módulo Wi-Fi individualmente.

El regulador genera una tensión regulada de 3.3V, menos en el momento de sueño RTC del micro donde el bypass se encuentra activado y la tensión no elevada de las baterías es distribuida por el sistema. El integrado de protección asegura que no haya realimentación hacia las baterías, y con un diodo Zenner protege contra sobre-tensión el bus de alimentación de 3.3V. Para reducir los 5V del conector de alimentación cableada a una tensión segura se pueden utilizar o 2 diodos en serie ($\sim 1.4V$ de caída) o un LDO configurado a un valor entre 3.3 y 3.5V nominales, entre otras. Se optó por la primera opción por su bajo costo.

10.1.6.1 Llaves de paso

Los bloques denominados “circuitos de habilitación” en el diagrama fueron construidos con transistores discretos para el prototipo, pero para el dispositivo final se utiliza el siguiente integrado de TI:

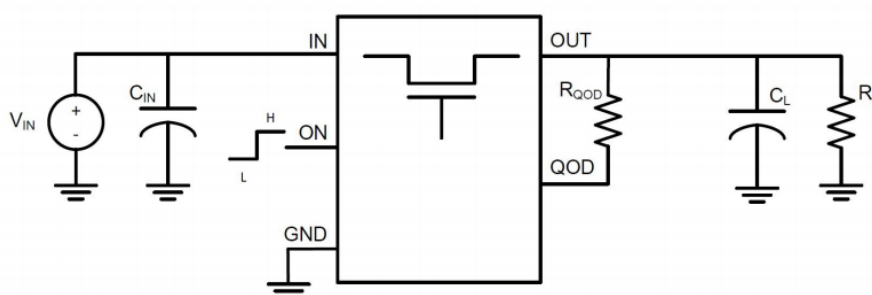


Figura 10:12: TPS22919 llave de salida

La llave inteligente TPS22919 (tipo denominado load-switch) permite conectar y desconectar la alimentación de la carga con una señal de control “activo-alta” y con una mínima corriente de fuga de 2nA (típica). Se elige este componente ya que tiene una alta confiabilidad, eficiencia (baja resistencia de conducción y corriente de fuga) y un costo mínimo (~ 0.10 USD).

10.1.6.2 Circuito de entrada para alimentación doble:

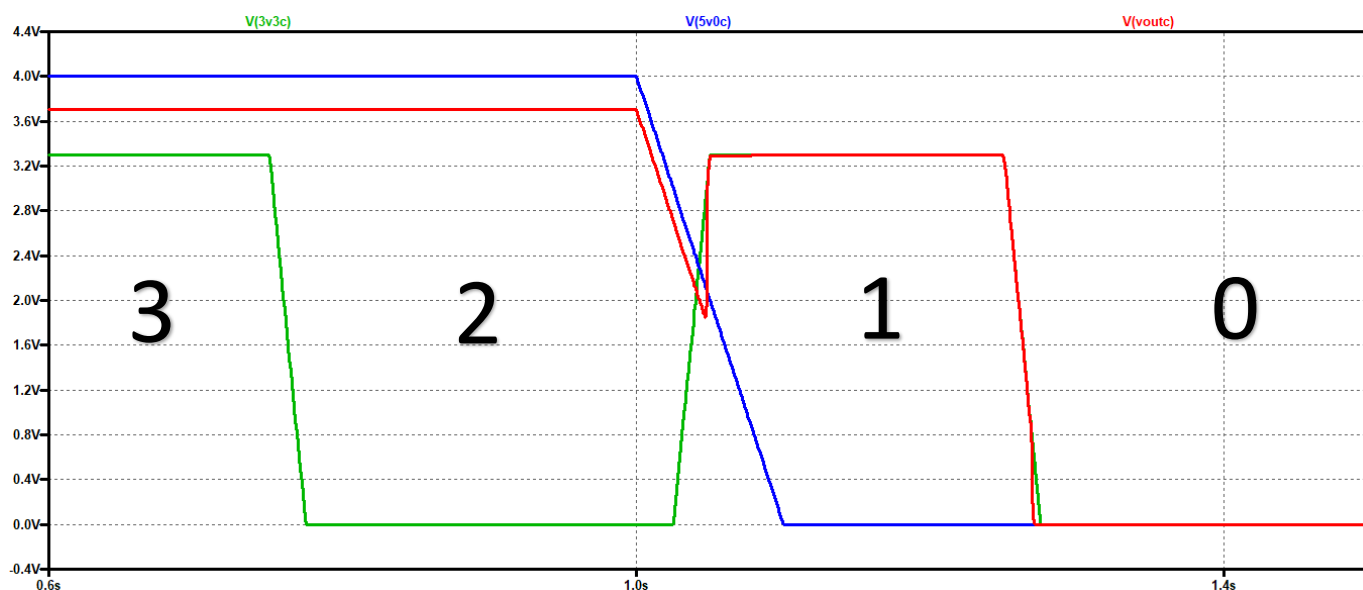


Figura 10:13: Resultados de simulación de alimentación doble

Como se puede ver en la simulación, el circuito propuesto es capaz de asegurar el funcionamiento del dispositivo en las siguientes condiciones de alimentación: baterías conectadas sin alimentación cableada (1), alimentación cableada conectada sin baterías (2), y batería y alimentación cableada conectadas (3). Y esto se logra sin utilizar una arquitectura de tipo O-ring que implica caídas diódicas de por ejemplo 0.7V, lo que nos reduciría la tensión mínima de funcionamiento a 2.5V empeorando drásticamente hasta qué punto puede funcionar el dispositivo con un único juego de pilas AA.

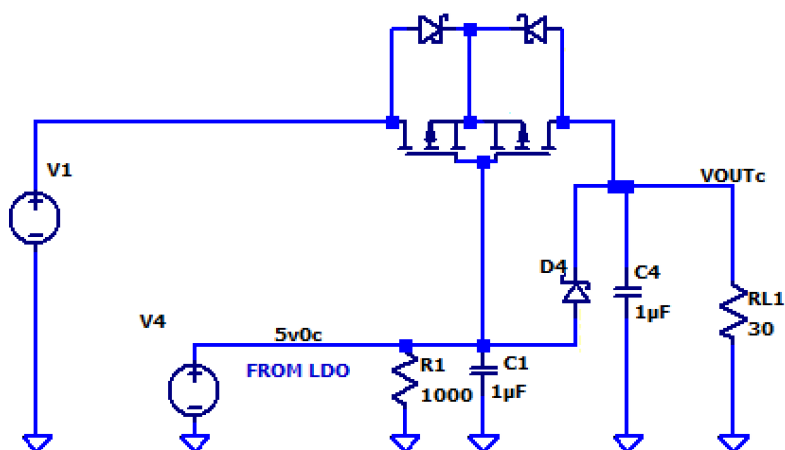


Figura 10:14: Circuito discreto para entrada de alimentación

Para el producto final, el par de PMOSFETS es reemplazado por el módulo SLG59M1649V de Dialog Semiconductor.

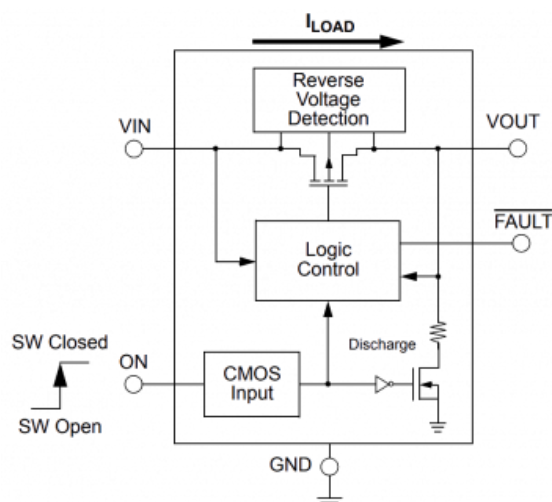


Figura 10:15: Diagrama de bloques del SLG59M1649V

Este integrado automáticamente desconecta la entrada en el caso que esta se encuentre a menor tensión que la salida. Esto nos protege de 2 situaciones:

1. Se conecta la alimentación USB a la salida de este integrado, la batería esté conectada o no es desconectada.
2. Se conectan las baterías de manera incorrecta/inversa, la tensión de entrada es menor que la salida y se desconecta el dispositivo.

10.1.6.3 Diodos de baja corriente de pérdidas:

Se incluye el siguiente diodo zenner para protección por sobretensión a la entrada:

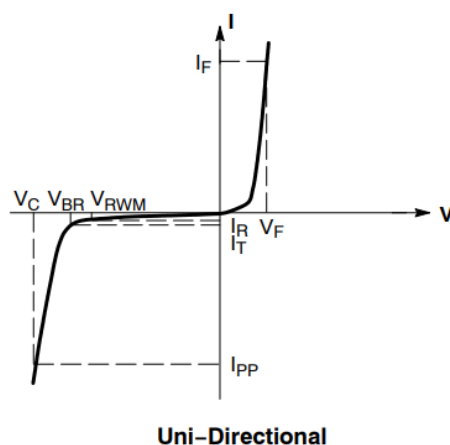


Figura 10:16: Curva típica diodo Zenner

ESD9R3.3S (Zenner) -> 3.3V nominal, $I_{pp} > 1A$, pérdidas máximas: 1nA

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $V_F = 1.0\text{ V}$ Max. @ $I_F = 10\text{ mA}$ for all types)

Device*	Device Marking	V_{RWM} (V)	I_R (nA) @ 1 V $T_A = 0^\circ\text{C}$ to 50°C (Note 4)	V_{BR} (V) @ I_T (Note 2)	I_T	C (pF)		V_C (V) @ $I_{PP} = 1\text{ A}$ (Note 5)
		Max	Max	Min	mA	Typ	Max	Max
ESD9R3.3ST5G	J**	3.3	1.0	4.8	1.0	0.5	0.9	7.8

Tabla 46. Características Diodo Zenner

El siguiente diodo se puede usar para asegurar la dirección de flujo de corriente si se considera necesario: BAS116 -> Conducción máxima 215mA, pérdidas típicas: 3pA

10.1.6.4 Consumos PDU

Componente PDU	Resistencia Encendido (Ω)	Corriente de Fuga (A)	Corriente de Encendido (A)
<i>Rpd_Reg_EN</i>	3.30E+05	0	1.00E-07
<i>Regulador (modo Boost)</i>	0.4	-	6.00E-07
<i>Regulador (modo Bypass)</i>	1.2	-	1.50E-08
<i>Switch de Protección</i>	3.00E-02	2.00E-06	6.00E-06
<i>Switch de Paso</i>	9.00E-02	2.00E-09	8.00E-06
<i>Zenner de protección</i>	7.80E+00	1.00E-09	1.00E+00

Tabla 47. Características de consumo de componentes de la PDU

En la tabla superior se tiene la información pertinente de consumo de los componentes críticos de la PDU. La eficiencia del regulador es otro valor importante y se presenta en la sección siguiente.

10.1.7 Módulo Alimentación

Para generar y regular la tensión requerida por el sistema se utiliza el integrado TPS61291DRVR (TPS61291EVM-569 kit para prototipado). Este está conformado un módulo de “bypass” que permite comunicar la entrada a la salida directamente, y una fuente de switching de tipo step-up/boost que permite elevar el nivel de la tensión de entrada al deseado.

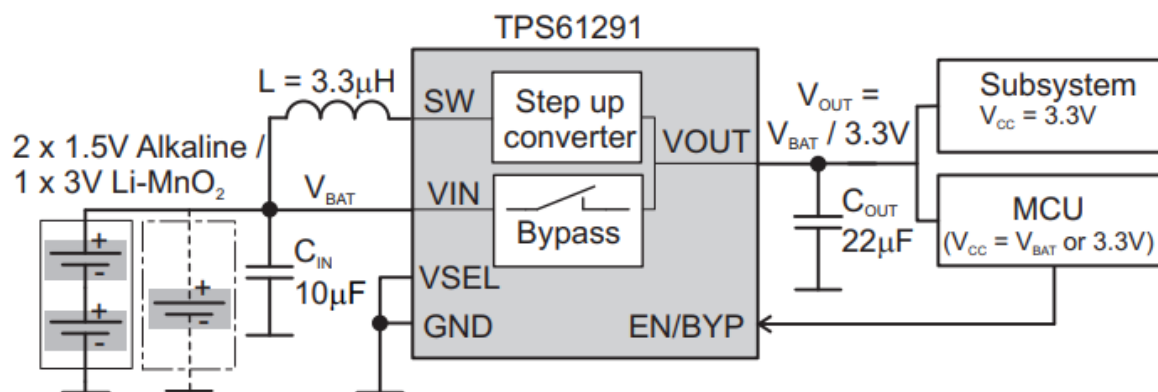


Figura 10:17: Regulador de tensión con modo bypass

Permite seleccionar entre varias tensiones incluyendo la tensión requerida de 3.3V.

Parámetro	Límite Inferior	Límite Superior
Tensión de Entrada (V)	0.9	5
Tensión de Salida (3V3)	Vout -2% (3.234V)	Vout +4% (3.432)
Tensión para despertar (V)	-	1.5
Corriente de pérdidas (nA)	0	15
Corriente de salida (mA)	-	250

Tabla 48. Características regulador

Este regulador es capaz de encender con tensiones tan bajas como 1.5V lo que le permitiría arrancar aún en el peor caso del microprocesador (1.8V), y se espera aún en ese caso una eficiencia superior al 85%.

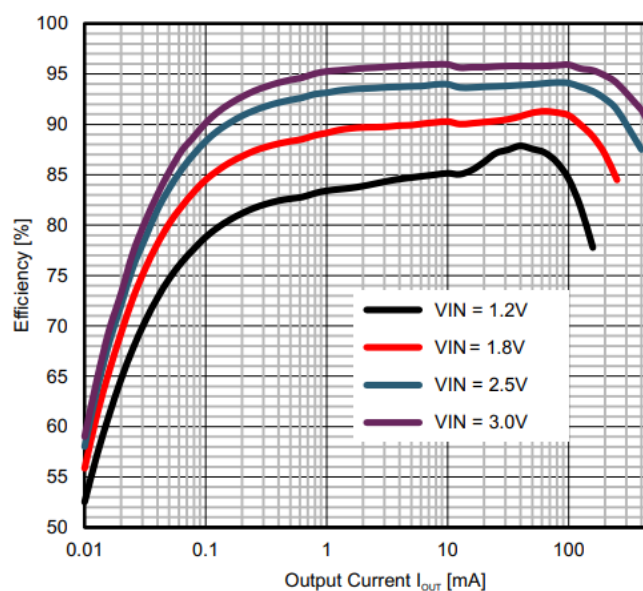


Figura 10:18: Eficiencia de regulador de tensión

10.1.8 Carcasa

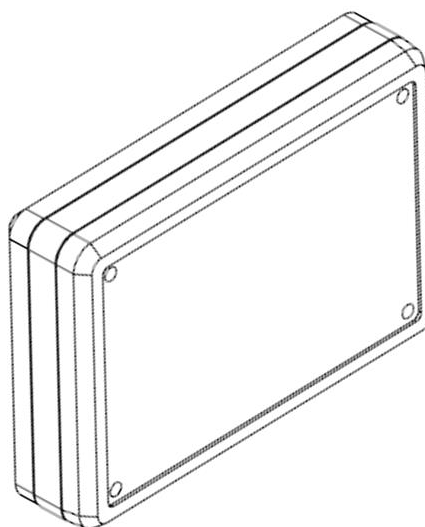


Figura 10:19: Carcasa de prototipo

Se considera que, para operar en el ambiente de interiores, tomando como referencia el interior del ITBA, un grado de protección IP30 es suficiente para que el producto cumpla los requerimientos del cliente sin impactar negativamente el costo el producto.

Grado IP	IP3X
Protección contra objetos	>2.5mm (diámetro)
Protección contra líquidos	No especificado

Tabla 49. Grado IP de carcasa

Con el fin de minimizar costos se buscó una carcasa estándar de producción nacional y bajo costo. Se seleccionó el modelo NA de Productos Termoformados SA.

10.1.9 Gabinete de seguridad:

El requerimiento REQ-WALL explicita que el producto debe poder instalarse en una caja de seguridad amurable, similar a la mostrada en la imagen a continuación.



Figura 10:20: Muestra de gabinete de seguridad

Para el gabinete de seguridad en vez de incorporar costos de desarrollo y logística adicionales, se opta por hacer el dispositivo final lo suficientemente compacto para que no impacte negativamente la compatibilidad con gabinetes de seguridad ya disponibles en el mercado para otras pantallas de 7.4" cómo por ejemplo los de la línea Slimline de Imageholders.



Figura 10:21: Otros ejemplos de Imageholders

De esta manera no se infla el costo nominal del producto y se le da la libertad al cliente de determinar si este desea invertir en un gabinete de seguridad para garantizar un mayor nivel de protección del equipo o si considera que protección que ofrece la de la carcasa incluida es suficiente para su aplicación.

10.1.10 Seguridad

El dispositivo diseñado se podría considerar un sistema SELV (3,3V) acorde a BS 7671 (Norma publicada por la IET en conjunto con la British Standards Institution (BSI)). No presenta tensiones mayores ni cercanas a 50V en ningún punto del equipo, y al ser alimentado por pilas, es independiente de cualquier otro dispositivo que pueda transmitirle riesgos de altas tensiones por fallas de tierra. Por lo tanto, no existe riesgo alguno de electrocución.

Las corrientes en todo el sistema también son bajas, nunca superando los 200 mA. Por lo que ningún dispositivo disipará calor suficiente como para alcanzar temperaturas que presenten riesgo de quemaduras.

El equipo no cuenta con piezas móviles ni ningún esfuerzo mecánico como para presentar riesgos de atrapamiento, aplastamiento o pellizco. En el producto final, se utilizará una carcasa plástica y de bordes suaves y esquinas redondeadas para eliminar riesgos de corte o punción.

El dispositivo es inherentemente seguro para el usuario. No existen riesgos de lesiones de ningún tipo que generen precauciones durante su uso normal.

A pesar de no existir riesgos para el usuario, se incluirá dentro del “packaging” primario lo establecido en la Resolución 559/2015 en cuanto a: país de origen, razón social del fabricante o la marca comercial registrada, domicilio legal y el modelo del producto. Asimismo, se incluirá un rotulo que lea: “No contiene fuente de alimentación para su uso”.

Nota: una vez conectado a una fuente USB, si esta fuera un sistema PELV (5V), el sistema ya no sería SELV, si no PELV, por la fuente externa, pero el equipo sigue siendo extremadamente seguro suponiendo que la fuente externa respeta los estándares de alimentación y el dispositivo no haya sido alterado/modificado de manera no oficial/aprobada

10.1.11 Análisis de consumo y autonomía esperada del dispositivo

En esta sección se evalúa que el diseño de hardware realizado ofrezca un consumo bajo lo que habilite una alta autonomía y permita cumplir con las especificaciones de autonomía y por consecuencia los requerimientos correspondientes.

Modo		Base	Sueño	Descarga Wi-Fi	Com. con pantalla	Act. de pantalla
Consumo de corriente por Módulo (A)	MCU (no FRAM)	1.0E-03	2.5E-07	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03
	Pantalla	0	0	0	0.024	0.11
	Módulo Wi-Fi	0	0	0.11	0	0
	PDU [Fugas]	6.7E-06	6.0E-06	1.5E-05	1.5E-05	1.5E-05
	Regulador [Efic. 85%]	1.6E-04	1.5E-11	1.6E-02	3.8E-03	1.6E-02
Corriente @VCC		1.2E-03	6.6E-06	0.13	0.029	0.13
Tensión máxima		3.4	3.2	3.4	3.4	3.4
Potencia a V_{máx} (W)		4.0E-03	2.1E-05	0.41	0.095	0.41
Tiempo (%) estimado en modo		0.08%	99.28%	0.47%	0.03%	0.14%
Potencia media (W)		2.58E-03				

Tabla 50. Consumo esperado por subsistema y modo de funcionamiento

Se considera el peor caso de consumo para los componentes y estiman pérdidas relativas a la tensión de salida del regulador. Para estimar el consumo medio se considera la proporción de 25 segundos de actualización que se encuentra el dispositivo en cada estado/modo, para una actualización por hora. Esto resulta en un consumo medio esperado de 2.58mW, sin considerar la auto-descarga de las baterías. Se considera que al abrir las llaves de paso de la alimentación de la pantalla y módulo Wi-Fi estos no consumen sus corrientes de fuga, pero sí la de las llaves (agrupado en el término PDU [Fugas] construido de los valores de la tabla "Consumos PDU".

No se profundiza en el consumo de los módulos para la aplicación cableada ya que es similar, sólo se agrega un consumo mayor en la PDU por la baja de nivel, pero no se considera el consumo un factor crítico para la aplicación cableada.

Consumo diario (1 actualización por hora, las 24 horas)	2.58E-03 Wh			
Capacidad energética aproximada de batería de 4000mAh y 3V3	12 Wh			
Periodo	1er Año	2do Año	3er Año	42.24 meses
Pérdida de capacidad de batería acumulada (0.3% mensual)	30.6%	51.9%	66.6%	72.4%
Capacidad remanente	69.4%	48.1%	33.4%	27.6%
Autonomía con 4000mAh (3 V_{nom}) y autodescarga	1284.9 días		42.24 meses	

Tabla 51. Autonomía esperada para el producto final

Cómo se puede ver considerando la autodescarga de las baterías, con los componentes seleccionados se espera una autonomía de 42 meses y una semana o 3.52 años, esto considerando el peor caso de consumo para los componentes, como una eficiencia de 85%

del regulador (se espera >90% nominal para la mayoría de la vida útil del producto) y condiciones ambientales poco favorables para la pantalla. Esto permite cumplir con los requerimientos de autonomía de manera holgada (REQ-AUT).

10.1.12 Pruebas y métricas para producto final

La prueba TEST-ALI-USB cubre la validación completa de todos los módulos del sistema de hardware, pero su aplicabilidad es exclusiva al dispositivo final.

A través del armado del prototipo y sus pruebas funcionales se validó el funcionamiento de la PDU, el regulador de tensión y la compatibilidad de los demás subsistemas con los niveles de alimentación a utilizar (mínimo 1.8V para despertar) y 3V3 regulados en operación. Durante el proceso de integración se probó el buen funcionamiento de los subsistemas, pero se cede a las validaciones de nivel dispositivo la determinación de la aceptación del hardware de sistema.

No obstante, con el fin de identificar oportunidades de mejora y obtener métricas de la performance de los subsistemas de hardware para un proceso de mejora continua y revisión de hardware, una vez obtenida la implementación en PCB para el dispositivo final, se podrían realizar pruebas experimentales sobre cada módulo con el fin de caracterizar su performance. Esto se realizará incorporando al desarrollo del PCB las mejores prácticas de “design for testability” presentes en la industria.

Métricas que se considera que pueden ser importantes para la evaluación del desarrollo de hardware son las corrientes de fuga (consumo en modo inactivo) y consumo medio (modo activo) reales de los componentes, y el impacto sobre la performance o efectividad de cada subsistema (tasa de fallas, tiempos de descarga/actualización, eficiencia) al momento de funcionar con diferentes niveles de tensión y/o señal Wi-Fi.

Módulo	Métricas de consumo	Métricas de performance
<i>PDU</i>	Corriente de fuga (a la salida del regulador) con llaves en estado de reposo (a.3.3V, b. 1.8V)	Potencia disipada en conducción hacia cada módulo
<i>Regulador de tensión</i>	Corriente de fuga en modo bypass	Eficiencia para corriente de 10mA y 200mA medida a tensiones de entrada de 1.8V a 3.3V
<i>Alimentación</i>	Porcentaje de auto descarga mensual sin conectar micro o regulador	Porcentaje de descarga mensual con electrónica en sueño profundo
<i>Wi-Fi</i>	Corriente de fuga en apagado, Corriente media y pico con diferentes intensidades de señal de red	Fallos en comunicación para diferentes niveles de alimentación e intensidades de señal

<i>Pantalla (Driver)</i>	Corriente de fuga en apagado, Corriente media y pico en actualización de pantalla	Tiempo de actualización en diferentes condiciones de carga/alimentación
<i>Microprocesador</i>	Corriente de fuga en modo sueño profundo, corriente media en operación	Tiempo en despertar de sueño a diferentes condiciones de carga/alimentación

Tabla 52. Métricas para evaluación de Hardware de Dispositivo final

Algunas de mediciones mencionadas requieren amperímetros con precisión de nA, para realizar esto de manera económica, se podrían colocar en el camino de corriente kits del INA240 de Texas Instruments y a su salida un osciloscopio o voltímetro de menor precisión que apoyado por la ganancia de 200 veces de este amplificador de corriente pasa a ser capaz de realizar estas mediciones. Estas posibilidades de conectar o desconectar módulos forman parte de los conceptos de “design for testability” que se incorporarían en la implementación del PCB.

10.1.13 Diseño de PCB para producto final

Se considera que el producto final incluirá un PCB de 65x75cm.

A continuación, se presenta un modelo del mismo que funciona como plan de ocupación (“floor plan”) para el desarrollo futuro del PCB.

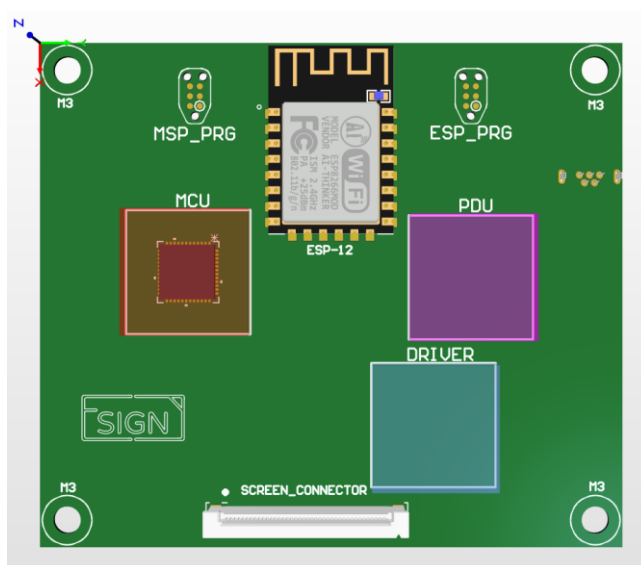


Figura 10:22: PCB modelo – Cara superior

La cara superior del PCB irá orientada hacia el lado interior del producto donde se encuentra la pantalla. Esta capa incluye la alocaión de espacio para el módulo Wi-Fi (ESP-12), el microprocesador de bajo consumo (MCU), sus interfaces de programación (_PRG), el

circuito de regulación y distribución de potencia (PDU), el circuito de driver de la pantalla y el conector para la pantalla que sale a 90 grados de la superficie del PCB. Este PCB es montado a la parte trasera de la carcasa utilizando 4 tornillos M3.

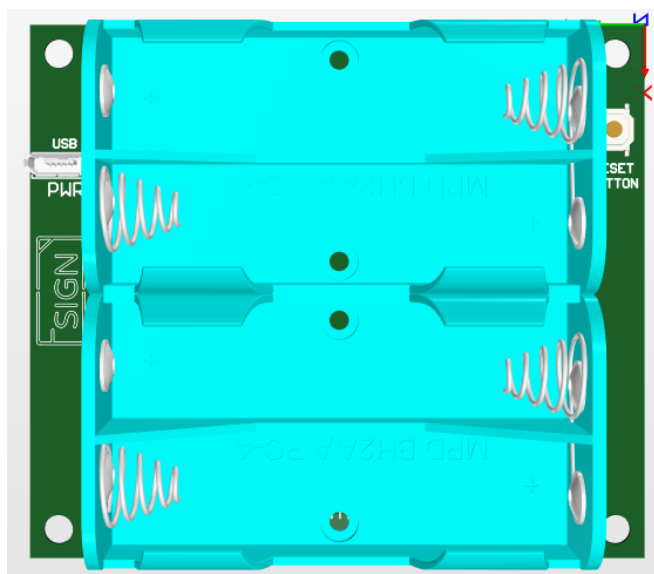


Figura 10:23: PCB modelo – Cara inferior

La cara inferior del PCB irá orientada hacia el lado exterior del producto donde será accesible al remover una tapa de acceso para mantenimiento. Esta capa incluye la alocaación de espacio para el alojamiento de baterías, el pulsador de “reset”, y el puerto de alimentación cableada micro-USB (lado izquierdo de la imagen). La carcaza incluirá aperturas para la alimentación cableada y un agujero angosto (1mm) que permite presionar el pulsador con una herramienta cilíndrica similar a las que se utilizan comúnmente para extraer tarjetas SIM.

10.2 Software

10.2.1 Diagrama de estados y flujogramas

A continuación, se muestra el diagrama de estados del dispositivo. El ciclo principal del diagrama es Modo Sueño → Modo Activo → Modo Com → Modo Pantalla → Modo sueño. Dichos estados están completamente implementados en el prototipo. Los modos de error y de configuración quedan pendientes para la versión final del dispositivo.

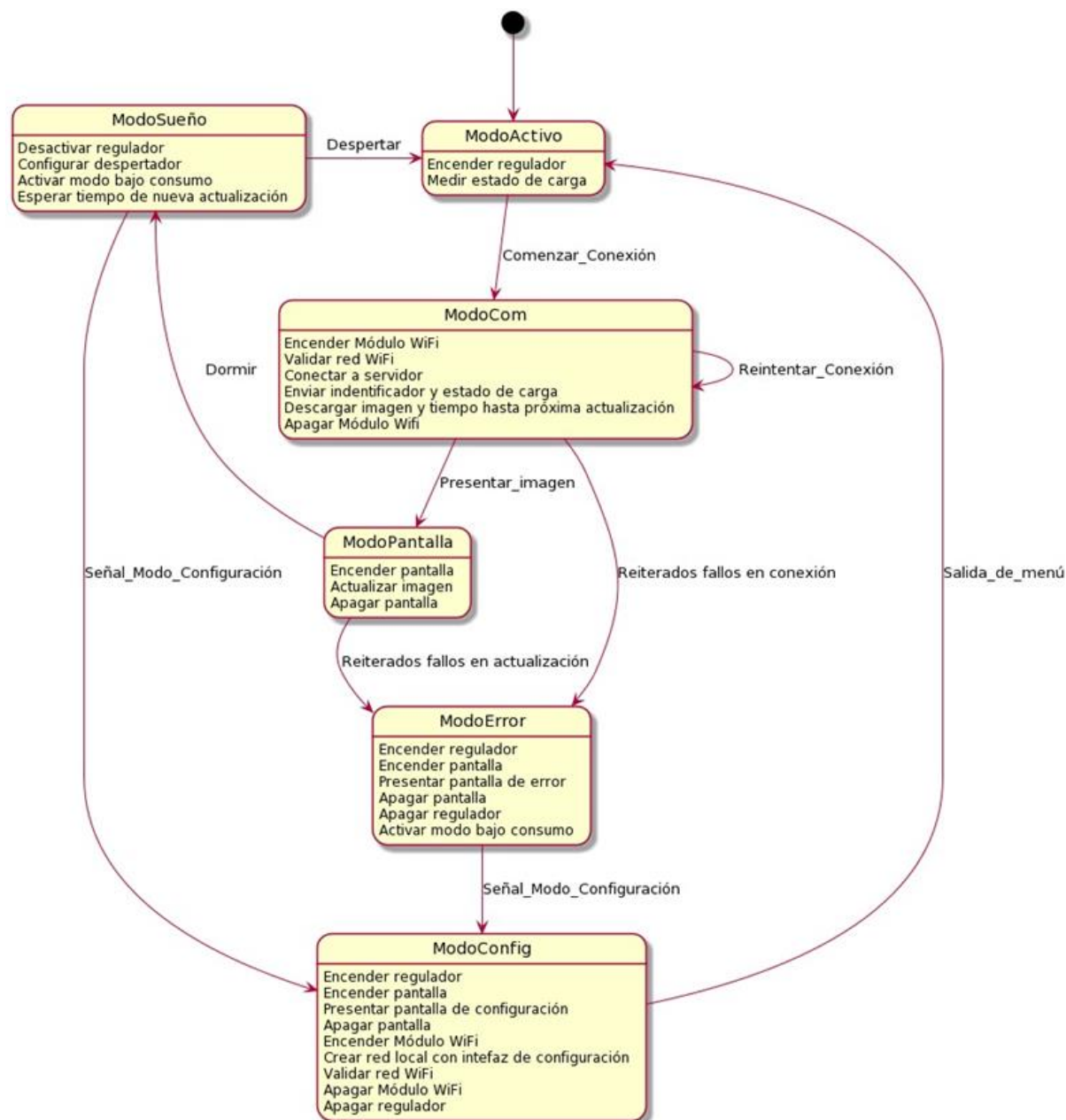


Figura 10:24: Diagrama de estados del dispositivo

El siguiente diagrama muestra los pasos de comunicación entre módulos en un ciclo normal de actualización. De izquierda a derecha, los módulos son la unidad de distribución de potencia (PDU), la pantalla de tinta electrónica (EID), el microcontrolador de ultra bajo consumo, el módulo Wi-Fi y finalmente el servidor.

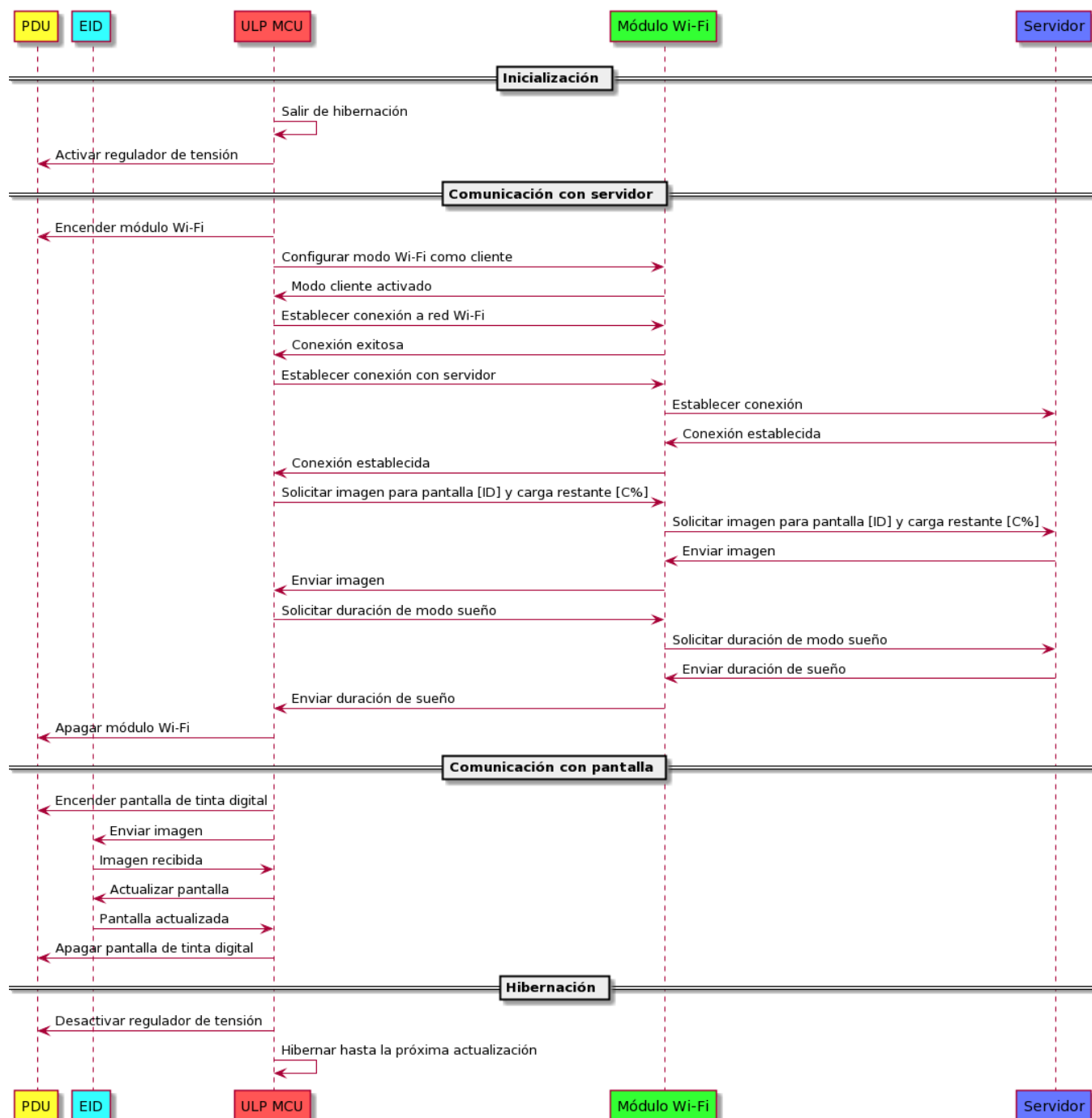


Figura 10:25: Diagrama de Flujo y Comunicación

10.2.2 Proceso de desarrollo

Para el armado y funcionamiento del prototipo, se realizó desarrollo de software en tres plataformas distintas. Como primera etapa, se desarrolló el código controlador de la pantalla de tinta electrónica y del módulo Wi-Fi en una Raspberry Pi 3. Luego se migró al microcontrolador MSP430FR5969 de bajo consumo. En paralelo, se desarrolló el servidor, encargado de formar las imágenes con la información apropiada y responder a los pedidos de imagen del dispositivo.

10.2.3 Desarrollo en Raspberry Pi 3

Se preparó una Raspberry Pi 3 como primer ambiente de desarrollo. Se le instaló el sistema operativo Raspbian y se utilizó Thonny como IDE para desarrollo en Python 3. A pesar de no ser un dispositivo apto para el prototipo final, debido a su alto consumo, se eligió como plataforma inicial de desarrollo por un amplio número de ventajas:

1. Desarrollo en Python 3, un lenguaje interpretado de alto nivel
2. Librerías para desarrollo de amplio uso y documentación
3. Permite la creación de baterías de pruebas automatizadas
4. Amplio espacio de almacenamiento
5. Conectividad a internet integrada
6. Amplias capacidades de depuración
7. Facilidad en el desarrollo para manejo de errores
8. No requiere configuración de registros en bajo nivel
9. No requiere desarrollo de ISR de bajo nivel para la comunicación
10. Pines con potencia suficiente para la alimentación del módulo Wi-Fi y la pantalla

Todas estas ventajas permitieron poner foco en la lógica necesaria para la comunicación entre módulos, y alcanzar funcionalidad en etapas tempranas del desarrollo.

Se inició desarrollando la comunicación con la pantalla de tinta digital. Esta utiliza un protocolo de comunicación por SPI definido en su hoja de datos. El primer paso fue intercambiar mensajes con la pantalla solicitando información de su número de serie. Luego imprimir en pantalla columnas y patrones diseñados por código. En este punto se buscó la frecuencia de comunicación máxima donde la comunicación no presentase frecuentes errores de transmisión. Se tomó 500kHz como una frecuencia confiable, y se identifica una oportunidad de mejora para versiones finales.

Luego se imprimieron imágenes guardadas localmente, y finalmente imágenes descargadas directamente desde el servidor usando la conectividad a internet nativa de la Raspberry Pi 3. Finalmente se concluyó con la comunicación con el módulo Wi-Fi, permitiendo bajar las imágenes a través de él en lugar del módulo nativo de la Raspberry. Todo el código fue diseñado utilizando TDD.

10.2.4 Módulo Wi-Fi

Este módulo se utilizó con su firmware original, con el cual se interactúa a través de una serie de comandos AT por comunicación UART. El utilizar este firmware en vez de código personalizado permitió disminuir la complejidad del desarrollo en software. También tiene la ventaja de ser un firmware de amplio uso y confiabilidad.

No en tanto, hay oportunidades de mejoras en utilizar un código propio en reemplazo del firmware original del módulo Wi-Fi. Haciendo esto, es posible reemplazar la comunicación UART por comunicación SPI. Esta última ofrece un mayor ancho de banda, lo que permite reducir el tiempo total que el módulo requiere estar encendido en cada ciclo. También presenta menor riesgo de pérdida de información por tratarse de una comunicación sincrónica. Existen librerías de código abierto como “WiFiSpiESP” de JiriBilek en Github, que permitirían un fácil desarrollo manteniendo altos niveles de confiabilidad.

10.2.5 Desarrollo del servidor

El servidor fue desarrollado en una PC de escritorio con Windows 10, utilizando PyCharm como IDE de Python 3. La experiencia preexistente en desarrollo en Python fue el principal motivo de su elección como lenguaje.

El servidor fue construido casi en su totalidad en paralelo al desarrollo realizado en la Raspberry. Cuenta con 5 scripts disponibles en el Anexo 7, y detallados a continuación.

10.2.5.1 AulamaticaRetriever.py

Este script contiene el código responsable por la descarga de la información de las actividades en las aulas del ITBA. La misma se descarga desde AULAMATICA 4.0, un sistema de gestión de aulas implementado en Google Sheets, utilizado por Secretaría Académica.

En caso de que el sistema oficial de gestión se migre a otra plataforma, este será el único script que requiera cambios o ser reemplazado.

10.2.5.2 imageDrawer.py

Este script define la estructura de la imagen que muestra la información de las aulas. Se tiene como base una imagen en blanco con la resolución de la pantalla. Sobre ella se definen una serie de secciones con tamaños y márgenes especificados, sobre las cuales luego se insertan imágenes y texto. Ambos contenidos son dimensionados dinámicamente para aprovechar al máximo el espacio de la sección. Este script es utilizado desde imageMaker.py para obtener la imagen a mostrar en pantalla a partir de la información en texto descargada de AulamáticaRetriever.py. En este script se utiliza la librería Pillow para la creación y manipulación de imágenes.

10.2.5.3 imageDeveloper.py

Este script contiene la lógica necesaria para transformar una imagen en un formato digital estándar a la cadena de bits que representa a esta imagen en el formato necesario para comunicarla a la pantalla de tinta digital. Esta lógica fue inicialmente desarrollada en la Raspberry Pi 3, y luego migrada al servidor para disminuir la complejidad y el procesamiento del código del microcontrolador.

Dicha transformación incluye la conversión de la imagen a una imagen en blanco y negro, la orientación de la imagen, y una estructuración entrelazada de los píxeles especificada en la hoja de datos de la pantalla.

10.2.5.4 imageMaker.py

Este script utiliza todos los scripts anteriores para descargar la información de la imagen, generarla con la estructura definida, y transformarla en el mensaje necesario para la pantalla.

10.2.5.5 api.py

Finalmente, este script define el servidor, los mensajes que el mismo puede recibir, y las respuestas que debe generar. El mismo recibe mensajes solicitando la imagen para un aula específica. El mismo genera la imagen y también define el tiempo de espera necesario hasta la próxima actualización. Luego coloca la imagen y el tiempo de espera en una única respuesta y la envía.

Para la versión final queda pendiente agregar a ese mensaje una forma de actualizar la información del servidor de la red Wi-Fi y credenciales a utilizar. De esta forma se permitirá reconfigurar una pantalla de forma remota en su próxima actualización.

Este script utiliza la librería Flask para ejecutar el servidor y exponerlo en la red local.

10.2.5.6 Ngrok

Ngrok es un servicio que permite exponer servidores locales a la Internet pública a través de túneles seguros. Ejecutando la versión gratuita de Ngrok en el mismo PC donde se aloja el servidor, permite acceder al servidor desde afuera de la red local por un link generado dinámicamente al comienzo de su ejecución.

10.2.5.7 Servidor final

Para la versión final del servidor será posible reutilizar la definición del api, pero se deberá reemplazar Flask y Ngrok por plataformas robustas para alojar un servidor de producción. Esto puede ser provisto por un servicio tercerizado o por una plataforma provista por el cliente.

10.2.6 Desarrollo en microcontrolador

El código del microcontrolador fue desarrollado en una PC con Windows 10, utilizando *Code Composer Studio* como IDE. El lenguaje utilizado fue C.

Habiendo resuelto la lógica de la comunicación entre módulos en el desarrollo realizado con la Raspberry Pi 3, el foco del desarrollo en el microcontrolador estuvo en las siguientes temáticas:

1. Administración del escaso espacio de almacenamiento
2. Desarrollo de funciones de bajo nivel para la comunicación SPI y UART
3. Interpretación de mensajes de error, y mensajes HTTP
4. Control de timeouts por timer en la comunicación
5. Configuración de módulos y registros en bajo nivel
6. Rutinas de interrupción basadas en eventos
7. Sistema de reinicio automático por timeout (*Watchdog*)
8. Control de placa de alimentación para encendido y apagado de módulos
9. Modos de ultra bajo consumo

A continuación, se muestra una tabla con todas las funciones implementadas en el código del microcontrolador separadas por sección, y acompañadas por una breve descripción.

Categoría	Función	Descripción
Utils	forcePUCReset	Fuerza el reinicio del dispositivo
	min	Devuelve el mínimo entre dos valores
	isEqualStr	Compara dos cadenas de caracteres
Setup	setupLeds	Configura los pines para los LEDs
	setupClocks	Configura los clocks del MCU y sus submódulos
	setupBusyInputSignal	Configura el pin para lectura de BUSY de la pantalla
Controles de alimentación	setupPowerControl Signals	Configura los pines para el control de alimentación
	powerUpWiFiModule	Enciende el módulo Wi-Fi
	shutDownWiFiModule	Apaga el módulo Wi-Fi
	powerUpDisplay	Enciende la pantalla de tinta digital
	shutDownDisplay	Apaga la pantalla de tinta digital
Setup de SPI	setupSpiPins	Configura los pines utilizados en la comunicación SPI
	setupSpiConfig	Configura los parámetros del SPI

	enableSpi	Habilita la comunicación SPI
	disableSpi	Deshabilita la comunicación SPI
Setup de UART	setupUartPins	Configura los pines utilizados en la comunicación UART
	setupUartConfig	Configura los parámetros del UART
	enableUart	Habilita la comunicación UART
	disableUart	Deshabilita la comunicación UART
	enableUartRx Interrupt	Habilita las interrupciones del receptor UART
Setup del Timer	setupTimer	Configura los parámetros del Timer
	startTimeoutCounter	Inicia el contador de timeout
	setTimeoutCompare Value	Setea el tiempo del contador de timeout en pulsos de clock
	stopTimeoutCounter	Detiene el contador de timeout
	resetTimeoutCounter	Reinicia el contador de timeout
	setTimeoutFor Minutes	Setea el tiempo del contador de timeout en minutos
UART escritura	uartTxSendNextByte IfAny	Envía el próximo byte disponible por UART
	startUartWrite	Inicia la escritura de bytes por UART
	endUartWrite	Finaliza la escritura de bytes por UART
	writeUartMessage	Envía una cadena de bytes por UART
Interpretación de respuesta	isOk	Evalúa si el valor de un string es "OK"
	isCLOSED	Evalúa si el valor de un string es "CLOSED"
	isERROR	Evalúa si el valor de un string es "ERROR"
	isDISCONNECT	Evalúa si el valor de un string es "DISCONNECT"
	isReady	Evalúa si el valor de un string es "Ready"
Comunicación UART con módulo Wi-Fi	espPingAT	Valida la conexión con el módulo Wi-Fi
	espWaitFor Connection	Valida la conexión periódicamente hasta respuesta exitosa
	bufferTimeout	Espera una respuesta por determinado tiempo
	espReset	Ordena el reinicio del módulo Wi-Fi
	espClientMode	Configura el módulo Wi-Fi en modo cliente
	espHotspotConnect	Conecta el módulo Wi-Fi a una red determinada

	espServerConnect	Inicia una conexión con el servidor
	espImageSend Request	Envía una solicitud de imagen al servidor
	espGetImage	Solicita imagen y espera el resultado
	uartTalk	Realiza secuencialmente toda la comunicación UART
Escritura SPI	spiTxSendNextByte IfAny	Envía el próximo byte disponible por SPI
	writeSPIMessage	Envía una cadena de bytes por SPI
	startSPIWrite	Inicia la escritura de bytes por SPI
	endSPIWrite	Finaliza la escritura de bytes por SPI
	writeSPIMessageAnd WaitForBusy	Envía un mensaje SPI y espera el tiempo activo de BUSY
	write2SPIMessages AndWaitForBusy	Envía dos mensajes SPI y espera el tiempo activo de BUSY
Lectura SPI	RXReadNextByte	Lee un byte por SPI
	startSPIRead	Inicia la lectura de bytes por SPI
	endSPIRead	Finaliza la lectura de bytes por SPI
	readSPIMessage	Lee una cadena de bytes por SPI
Comunicación SPI con pantalla	getDeviceId	Solicita el ID de la pantalla
	assertResponse	Verifica respuesta exitosa en la comunicación
	displayUpdate	Actualiza el contenido de la pantalla
	resetDataPointer	Reinicia el puntero de escritura de la pantalla
	uploadImageData	Envía una cadena de pixeles a la pantalla
	writeEDPHeader	Envía el header de la imagen a la pantalla
	displayBuffers	Envía el contenido de los buffers a la pantalla y la actualiza
	displayWaitFor Connection	Valida la conexión periódicamente hasta respuesta exitosa
HTTP Handling	isIPD	Evalúa si el valor de un string es "+IPD"
	isRNRN	Evalúa si el valor de un string es "\r\n\r\n"
	isSleepTimeHeader	Evalúa si el valor de un string es "sleep-time: "
	skipTillIPDEnd	Avanza un iterador hasta el próximo IPD de un buffer

	skipTillRNRNEnd	Avanza un iterador hasta el próximo RNRN de un buffer
	skipTillSleepTime HeaderEnd	Avanza un iterador hasta el tiempo de sleep en el buffer
	retrieveSleepTime	Obtiene el tiempo de hibernación del buffer
	cleanIPDWrappers	Remueve los wrappers IPD de la información recibida
Programa	main	Ejecuta el programa principal
Rutinas de interrupción	USCI_A1_ISR	Recibe y envía bytes de data por UART asincrónicamente
	USCI_B0_ISR	Recibe y envía bytes de data por SPI asincrónicamente
	Port_1	Espera la liberación de la señal de BUSY de la pantalla
	TIMER1_A0_ISR	Despierta al dispositivo de hibernación e informa timeouts

Tabla 53. Descripción de subrutinas del microcontrolador

10.2.7 Interfaz de configuración

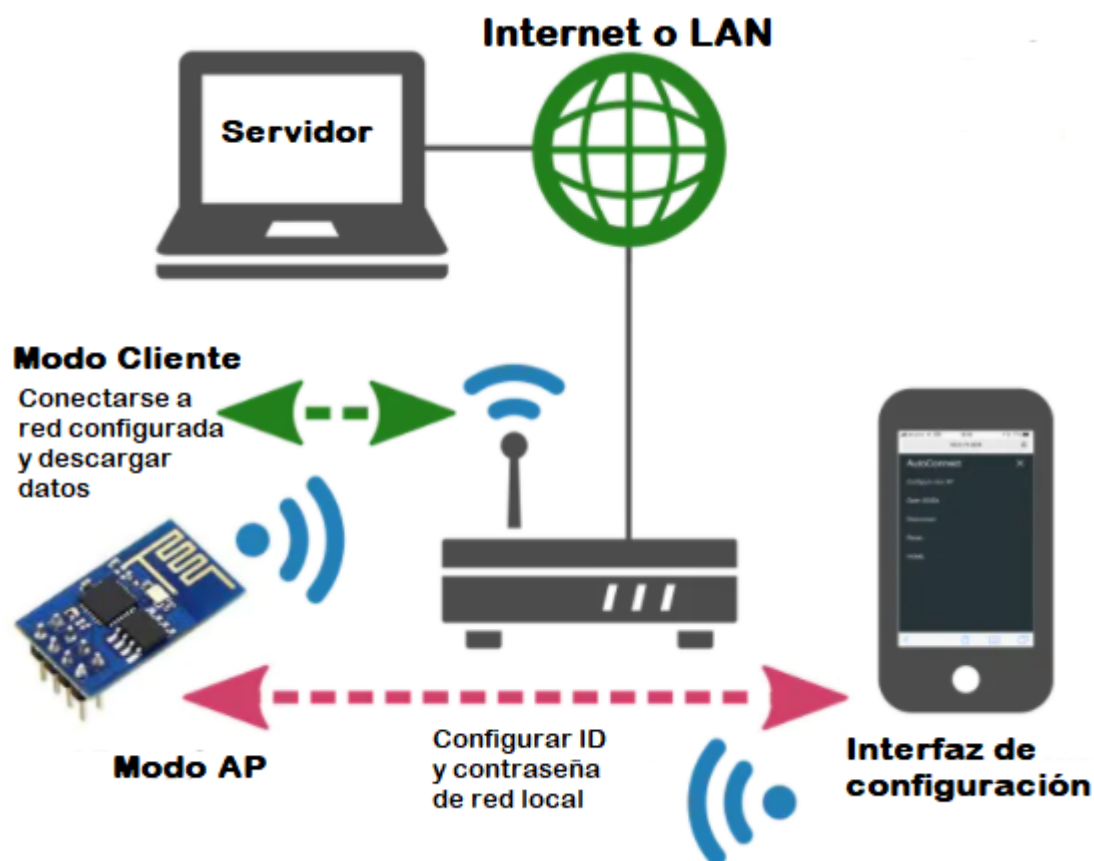


Figura 10:26: Modos del módulo Wi-Fi

El módulo Wi-Fi opera en 2 modos. El primero, denominado modo Cliente, le permite comunicarse con un servidor remoto a través de Internet o un nodo en una LAN. El segundo es el modo AP, que permite a otros dispositivos conectarse a una red generada por el módulo Wi-Fi. Este modo es utilizado en el modo de configuración del dispositivo. El modo de configuración será activado manteniendo el pulsador de reset por 10 segundos.

El modo configuración permite a un operario conectarse al dispositivo utilizando un dispositivo con conectividad Wi-Fi como un móvil, tablet o laptop. Desde ahí, accederá a un formulario HTML para configurar la información de la red local a utilizar y el servidor al que se deberá conectar el dispositivo. Esta información es transmitida al microprocesador y almacenada en memoria no-volátil. Concluido ese procedimiento se reanuda la operación normal utilizando los parámetros configurados.

Este desarrollo se puede realizar a través de la IDE Arduino y en base a la librería AutoConnect que se facilita agregar estas funcionalidades al módulo Wi-Fi utilizado.

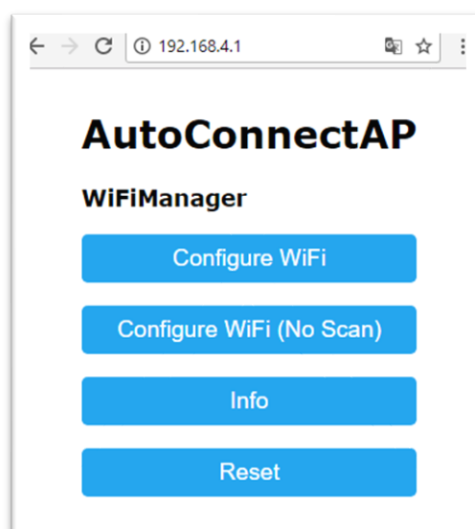


Figura 10:27: Ejemplo de interfaz de configuración de red (modo AP)

Para brindar una mejor experiencia de usuario, se implementará también una aplicación de celular para configurar el dispositivo. La aplicación estará disponible en la Play Store y App Store, y permitirá encontrar y conectarse a dispositivos que se encuentren en modo configuración, consultar su estado de batería, cambiar su red y su servidor, y comunicarse con el servidor en nombre del dispositivo para controlar el contenido a mostrar en el dispositivo, su nombre, su frecuencia y horarios de actualización entre otras configuraciones.

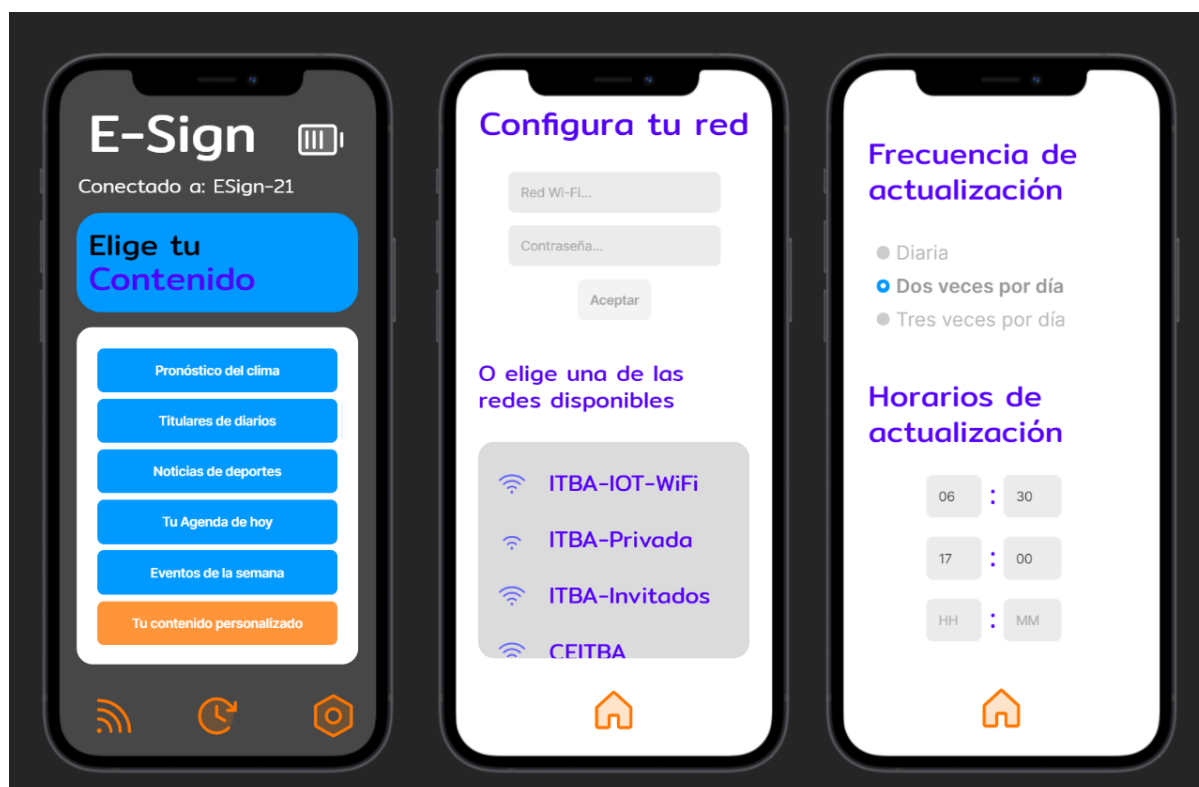


Figura 10:28: Aplicación móvil para la configuración de los dispositivos

11 Construcción del prototipo



Figura 11:1: Prototipo

11.1 Módulos Internos

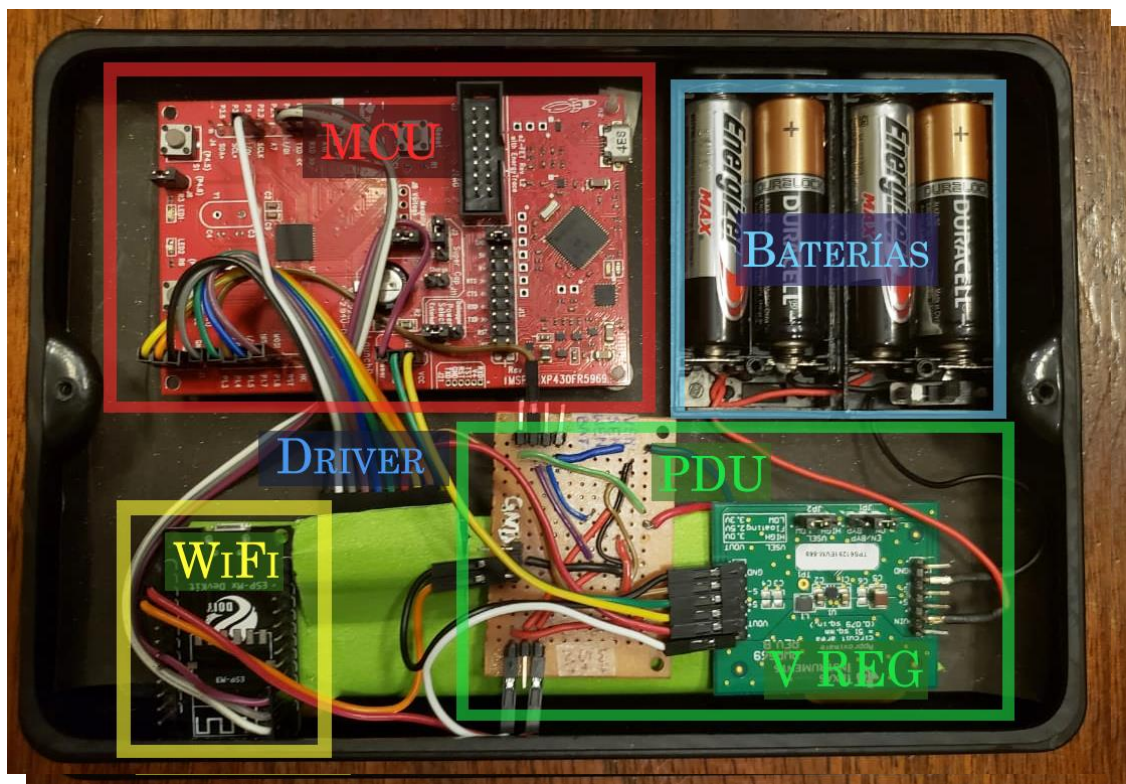


Figura 11:2: Módulos internos prototipo

Se utilizaron los siguientes EBs:

TCM-P74-230_v1.0 (kit de pantalla de tinta digital)

TPS61291EVM-569 (kit de step up a 3.3V)

MSP-EXP430FR5969 (MSP430FR5969 LaunchPad kit de microprocesador)

ESP-12E (8266MOD unidad de Wi-Fi)

La PDU se implementó en una placa tipo “bread-board” para el prototipo con lo que se evitó pasar por una etapa de diseño de circuitos impresos para esta etapa del diseño.

11.2 Diseño mecánico

Para el prototipo se utilizó la carcasa NA de Productos Termoformados S.A., con una modificación que incorpora la apertura para la pantalla.

Para el diseño final, toda la electrónica hoy implementada con módulos de desarrollo será reemplazada una única placa conteniendo toda la circuitería. Eso permitirá reducir significativamente el volumen del dispositivo, permitiendo diseños de carcasa con terminaciones más finas y elegantes, comparables a los de la competencia.

11.3 Detalles de construcción y precauciones de montaje

El prototipo se ensambló de manera simplificada modificando la carcasa de manera manual y asegurando las placas de evaluación al gabinete con cinta adhesiva doble faz.

11.3.1 Proceso de ensamble y prueba de producto final

1. Montaje de pantalla de tinta electrónica a tapa frontal de gabinete.
2. Montaje de PCB a tapa trasera de gabinete utilizando 4 tornillos hex M3x4mm.
3. Conexión de cable FFC a conector en PCB siguiendo guía de orientación y asegurando con pegamento flexible y no conductor. (en cumplimiento con DF-13)
4. Sellado de carcasa utilizando 2 tornillos Torx de 15mm.
5. Instalación de 4 pilas AA siguiendo la guía de orientación en el alojamiento.
6. Utilización del pulsador para entrar al modo de configuración.
7. Configuración de red de prueba.
8. Descarga de imagen de prueba conteniendo logo-tipo de la empresa. (en cumplimiento con DF-13) ver TEST-FUN-WIFI
9. Sacado de pilas y cerrado de tapa de seguridad con 1 tornillo Philips de 3x4mm.

Este proceso se considera simple, rápido y suficiente para validar el buen funcionamiento de todas las unidades a entregar sin requerir un costo mayor laboral mayor al contacto.

12 Validación del prototipo

A continuación, se detallan las pruebas realizadas sobre el dispositivo prototipo y sus resultados. Todas las validaciones cuentan con un video correspondiente disponible en el material adjunto a este informe.

12.1 Pruebas realizadas

12.1.1 TEST-DIM-DIM

Siguiendo el procedimiento detallado en la prueba, se midieron las dimensiones del dispositivo prototipo y se verificó que se encuentra por debajo las dimensiones máximas especificadas en el requerimiento. El resultado de la prueba es positivo.

<i>Dimensión</i>	Valor máximo	Valor medido
<i>Ancho</i>	250 mm	200 mm
<i>Alto</i>	150 mm	139 mm
<i>Profundidad</i>	70 mm	47 mm

Tabla 54. Resultados de medidas dimensionales

12.1.2 TEST-DIM-SCP

Se midieron las dimensiones de la pantalla y la superficie en la que se expone. Se verificó que la relación entre ambas áreas, 54%, es superior a la ocupación mínima especificada de 50%. El resultado de la prueba es positivo.

<i>Dimensión</i>	Pantalla visible	Superficie frontal
<i>Ancho</i>	158 mm	200 mm
<i>Alto</i>	95 mm	139 mm
<i>Área</i>	15010 mm ²	27800 mm ²

Tabla 55. Resultados de áreas de pantalla y superficie frontal

12.1.3 TEST-FUN-WIFI

En esta prueba se verificó que el dispositivo se conecta a la red Wi-Fi pre-configurada, realiza solicitudes al servidor, y actualiza la pantalla con la nueva imagen generada por el servidor. El resultado de la prueba es positivo.

12.1.4 TEST-FUN-RES

En esta prueba se realizaron dos validaciones. La primera fue que el dispositivo retoma su normal funcionamiento luego de una pérdida temporal de energía. Para esto se removieron sus baterías por 5 minutos. Al reponerlas continuó funcionando sin necesidad de ningún tipo de reconfiguración.

Seguidamente se cortó la conexión a internet con intención de verificar que el dispositivo retoma normal funcionamiento luego de una caída de conectividad. Debido a que el servidor estaba siendo alojado bajo la misma red, esto resultó también en una caída temporal del servidor. En perspectiva, este evento no planificado enriqueció el valor de la validación dado a que simuló no solo una pérdida de conexión sino también una caída del servidor. Minutos después de reconectar la red, el servidor volvió a funcionar, y con él, el dispositivo retomó nuevamente su normal funcionamiento sin necesidad de ninguna interacción con el mismo. El resultado de la prueba es positivo.

12.1.5 TEST-VIS-LEG

Se utilizó la imagen mostrada en el anexo 7 para evaluar la legibilidad en el dispositivo. La misma cuenta con un título y un texto de 2 párrafos y 100 palabras. Se colocó el dispositivo a 1 metro de un voluntario, quien determinó que el texto era claro y legible. El resultado de la prueba es positivo.

12.1.6 TEST-PER-ACT

Se midió el tiempo de actualización de la pantalla desde el inicio del dispositivo. Se realizaron 10 mediciones mostradas a continuación.

24.19 s	21.86 s	25.70 s	44.47 s	22.22 s
24.08 s	23.90 s	22.09 s	23.95 s	43.81 s

Tabla 56. Mediciones de tiempos de actualización

Es notable que los dos tiempos mayores son aproximadamente el doble del valor de los tiempos restantes. Esto ocurre cuando el dispositivo tiene problemas en la conectividad, comunicación o en la información recibida. En estos casos el dispositivo se reinicia y reintenta la comunicación, demorando aproximadamente el doble. Ignorando esos casos, el tiempo medio de actualización sin reintentos es de 23.5 segundos. Siendo todos los tiempos menores a 60 segundos, el resultado de la prueba es positivo.

12.1.7 TEST-PER-AUT

Con esta prueba se busca evaluar la autonomía del dispositivo funcionando con 4 pilas AA nuevas marca Energizer. De menor manera, también muestra la resiliencia y performance del dispositivo operando por tiempos prolongados, y expone oportunidades de mejora para el producto final.

La prueba tiene como objetivo alcanzar 2100 ciclos de actualización con la energía de un solo set de baterías. Dicho número surge de estimar la cantidad de actualizaciones de la pantalla a lo largo de un año de cursada. Para esto, se consideró que en un día promedio una pantalla deberá actualizar su contenido 10 veces. Recuérdese que la misma no se actualiza cada un tiempo fijo, como una vez por hora, sino que, de manera programada, cuando requiere cambiar el contenido de la pantalla. Así, con un estimativo de 210 días de cursada, se requieren 2100 actualizaciones.

La prueba realizada duró más de 46 horas, desde las 03:05 horas del 13/01/21 hasta las 00:39 horas del 15/01/21. El dispositivo alcanzó un valor de 2393 actualizaciones, por lo que el resultado de la prueba es positivo.

12.1.7.1 Observaciones adicionales

Lamentablemente, la prueba fue terminada anticipadamente por un reinicio inesperado de la computadora encargada de la filmación y del alojamiento del servidor. Luego de que la máquina se reinicie, el dispositivo se mantuvo un tiempo incierto no mayor a 6 horas intentando reconectar con el servidor. Luego de descubierto el desafortunado evento, el dispositivo ya no tenía carga suficiente para retomar su función. Se estima que, de no haberse reiniciado la computadora, se podrían haber alcanzado alrededor de 2600 ciclos. Debido a que la prueba demanda excesivo tiempo y recursos, y su resultado ya es positivo, se decidió no repetirla.

Un detalle menor visto durante esta prueba, fue que a partir de la actualización número 380, aparece en pantalla un aviso de batería baja. Esto fue causa de una nueva funcionalidad que estaba siendo probada simultáneamente, pero que por error fue activada muy tempranamente. El mismo fue reparado posterior a la prueba. Dado que el contenido de la pantalla es irrelevante para lo que esta prueba evalúa, este detalle no le quita ningún valor al resultado obtenido.

12.1.7.2 Aprendizajes adicionales

En función de esta prueba, se realizaron dos nuevos descubrimientos de interés que plantean posibilidades de mejora para el dispositivo final. El primero es que, en tres de las 2393 actualizaciones, #45, #1360 y #2189, el contenido de la pantalla estaba corrupto. Se baraja un número de posibles causas, sin embargo, se requiere mayor análisis para determinar cómo reproducir y reparar este comportamiento. De cualquier manera, 3 errores de imagen que no detienen el funcionamiento del equipo, a lo largo de un año de servicio no presentan un problema de gran magnitud.

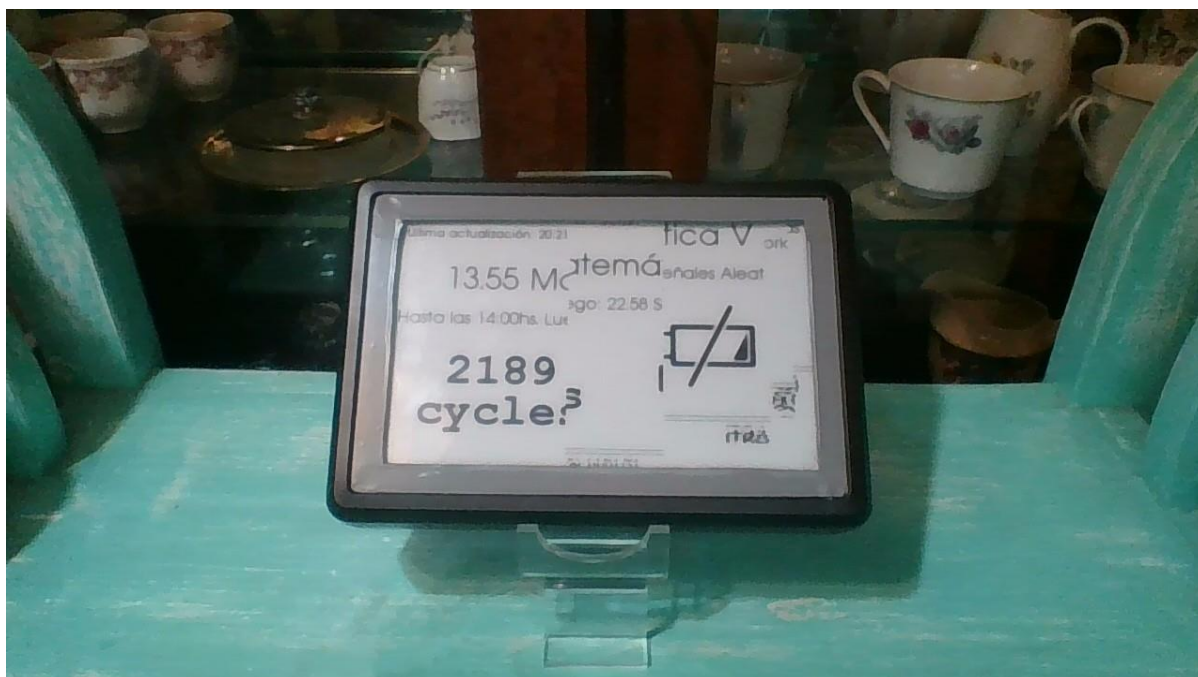


Figura 12:1: Imagen corrupta

En segundo lugar, se notó un significativo número de reintentos de conexión por parte del dispositivo. Esto se pudo ver en los registros del servidor en ensayos más reducidos de esta prueba realizados anteriormente. Lamentablemente los registros de esta última prueba se perdieron cuando la computadora se reinició, pero con certeza habrían mostrado lo mismo. Se pueden percibir en el video como un tiempo adicional de demora en actualizar algunos de los ciclos de la pantalla.

Esto no presenta una problemática en el servicio del dispositivo. En su uso cotidiano, que cada tanto requiera de múltiples intentos para actualizar el contenido de la pantalla, será prácticamente imperceptible para los usuarios finales. Sin embargo, puede representar un desperdicio significativo de su valiosa energía y un impacto en su autonomía.

Nuevamente la naturaleza de la causa puede tomar muchas formas, desde irregularidades en el servicio provisto por el proveedor de internet, pérdida de bytes en la comunicación UART entre el módulo Wi-Fi y el microcontrolador, y hasta ruido en las comunicaciones. Muchos de estos factores se simplificarán en el dispositivo final cuando toda la circuitería esté en un único PCB.

Pero finalmente, la conclusión es que de encontrar y solucionar la causa del alto número de reintentos por conectividad para el producto final, la autonomía del dispositivo se verá afectada muy positivamente, devolviendo resultados aún mejores en esta prueba.

13 Estudios de confiabilidad

13.1 Confiabilidad de Hardware

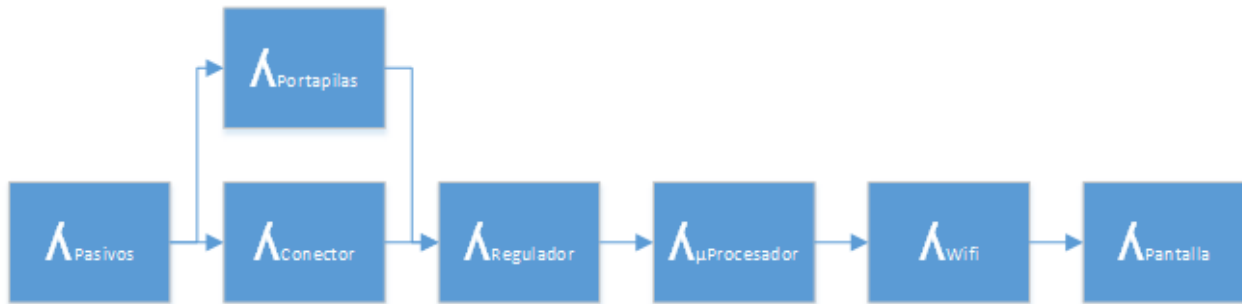


Figura 13:1: Esquema de confiabilidad

Se computa la confiabilidad del hardware diseñado considerando la estructura descrita en la figura anterior.

Se utilizan los valores disponibles para los componentes que tienen estudios disponibles públicamente (mayormente los producidos por Texas Instruments) y se estima el resto en combinación de una investigación de componentes similares y el “handbook” militar (IEC61709, MIL-HDBK-217F).

Para las 2 opciones de alimentación se considera a los conectores como alternativas redundantes y se calcula considerando que han de fallar ambas para generar una falla del equipo total.

Para los componentes que tienen un valor de MTBF (tiempo medio entre fallas) disponible, se obtiene el λ correspondiente tomando el valor recíproco.

La confiabilidad de los componentes pasivos y mecánicos (conectores, pulsadores, etc.) se calculan más abajo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\lambda_{ITEM} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_{Gi} \pi_{Qi})$$

λ_{ITEM}	=	total failure rate
λ_{Gi}	=	generic failure rate for the i^{th} generic part
π_{Qi}	=	quality factor for the i^{th} generic part
N_i	=	quantity of i^{th} generic part
n	=	number of different generic part categories

Figura 13:2: Cálculo de tasa de fallas en serie

Componente	λ (FIT)	MTBF (horas)	Fuente
Porta pilas	2.28E-06	4.38E+05	Aproximación ³
Conector Alimentación cableada	1.19E-06	8.40E+05	Aproximación ⁴
Entrada de alimentación	7.82E-07	1.28E+06	Cálculo paralelo
Agrupación de componentes pasivos	1.00E-05	1.00E+05	Cálculo Serie
Regulador de tensión	1.00E-10	1.00E+10	Fabricante
Microprocesador	5.60E-12	1.79E+11	Fabricante
Módulo Wi-Fi	1.24E-07	8.05E+06	Fabricante
Llaves de paso (Wi-Fi)	7.75E-10	2.58E+09	Fabricante
Llaves de paso (Pantalla)	7.75E-10	2.58E+09	Fabricante
Pantalla de tinta electrónica	1.74E-06	5.76E+05	Aproximación ⁵
Sistema general	1.26E-05	7.91E+04	Cálculo Serie

Tabla 57. Confiabilidad

Con este análisis se concluye que **el diseño cuenta con una confiabilidad no menor a 9 años de uso continuo** (79 mil horas), lo que nos permite cumplir con las especificaciones de confiabilidad (CNF-MTF).

Descripción	Código de Parte	N	MTBF (hrs)	λ	π	λ_{base}
FIXED IND 3.3UH 750MA 150 MOHM	MLZ2012N3R3LT000	1	1.28E+08	7.80E-09	20	0.4E-9
CAP CER 10UF 6.3V X5R 0805	CL21A106MQFNNE	2	47619048	2.10E-08	7.5	1.4E-9
CAP CER 22UF 6.3V X5R 0805	CL21A226MQQNNNG	1	76804916	1.30E-08	9.3	1.4E-9
40W, 0.5MM, FFC CON, VERT, H4.25	FFC2A32-40-T	1	1111111	9.00E-07	2	4.5E-7
MICRO B SKT, VERTICAL, TH, 30",	USB3131-30-0230-A	1	222222.2	4.50E-06	10	4.5E-7
SWITCH TACTILE SPST-NO 0.05A 12V	PTS526 SK15 SMTR2	1	243902.4	4.10E-06	10	4.1E-7
RES 4.7K OHM 5% 1/16W 0402	RMCF0402JT4K70	4	25000000	4.00E-08	5	2.0E-9
A 1.6MM 23 MO/4 A POWER SWITCH	SLG59M1649V	1	3125000	3.20E-07	2	1.6E-7
CAP CER 0.1UF 25V X5R 0402	CL05A104KA5NNNC	4	39682540	2.52E-08	4.5	1.4E-9
CAP CER 2.2UF 25V X5R 0805	CL21A225KAFNNNE	15	7215007	1.39E-07	6.6	1.4E-9
CAP CER 1UF 25V X5R 0603	CL10A105KA8NNNC	1	1.32E+08	7.56E-09	5.4	1.4E-9
BAT54SW Schottky diode 30V 0.2A	BAT54SW,115	1	1.11E+08	9.00E-09	2.5	3.6E-9
MOSFET N-Channel 60V/115mA	2N7002KW	3	20833333	4.80E-08	1	1.6E-8
MOSFET P-Channel 50V/150mA	BSS84W-7-F	1	62500000	1.60E-08	1	1.6E-8
RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402	CR0402-FX-1003GLF	3	33333333	3.00E-08	5	2.0E-9
RES 2K OHM 5% 1/16W 0402	RMCF0402JT2K00	1	1E+08	1.00E-08	5	2.0E-9
Total Componentes pasivos/auxiliares			98172.23	1.02E-05		

Tabla 58. Confiabilidad de componentes pasivos/auxiliares

³ Se considera una falla cada 50 inserciones, con un cambio de baterías por año (8766hrs)

⁴ Se consideran 5000 inserciones, y una por semana (168 horas)

⁵ Ver Anexo. Se utiliza este factor Considerando que productos comparables al nuestro informan de un 80000MTBF total y las pantallas de Pervasive pasan por 240 horas de prueba a máxima tasa de actualización. Esto debería resultar en un mínimo de 576000 actualizaciones, o un MTBF de 57600 considerando 1 por hora.

Para el cálculo de la tasa de falla de componentes pasivos se consideran todos los componentes pasivos como un sistema en serie, para simplificar el cómputo.

Para los resistores y capacitores se utilizan los siguientes factores de calidad:

Factor de calidad para resistores: $\pi_{RES} = \pi_q \pi_r \pi_e = 5 \cdot 1 \cdot 1 = 5$ siguiendo la guía del hand-book militar.

Factor de calidad para capacitores: $\pi_{CAP} = \pi_q \pi_{CV} \pi_E = 3 \cdot 0.41C^{0.11} \cdot 1$ siguiendo la guía del hand-book militar.

13.2 Confiabilidad de Software

El prototipo realizó las pruebas sin detectarse fallos críticos. No obstante, se realiza a continuación un análisis de confiabilidad para estimar la cantidad de defectos esperada en el código desarrollado.

Se considera la confiabilidad de software la probabilidad de que el software opere sin generar fallas durante un periodo de uso determinado.

Para estimar esto se utiliza el método de ROME que permite estimar la cantidad de bugs en un desarrollo de software.

13.2.1 Aplicación método de ROME

$$RPFOM = A * D * S1 * S2 = [\text{fallas} / \text{LOC}]$$

El método de ROME genera una estimación de la cantidad de bugs combinando la cantidad de líneas de código (LOC) del programa y factores de corrección que estiman la cantidad de fallas por KSLOC (mil líneas de código). El factor se determina como el producto de varios factores característicos basadas en la metodología de trabajo de la empresa y las herramientas utilizadas. Al no tener experiencia previa de la empresa y su efectividad, este factor se simplifica en el producto de 2 sub-factores para este análisis. El primer factor (S2) se determinaría combinando tipo de lenguaje (SL), nivel de modularidad (SM), complejidad (SX) y el estándar de revisión aplicado (SR). En este caso se estima S1 con un valor de 2.5, lo que aumentaría la densidad de fallos del valor base (A). En nuestro caso se utilizó C para el dispositivo y Python para el servidor; se los considera de similar complejidad.

Normalmente el método requiere el cálculo de un factor S1 el cual no se podrá construir ya que requiere información histórica y estadística de códigos anteriores y los procesos de la empresa (incluye protocolo de manejo de anomalías, trazabilidad, control de calidad, etc.) por lo que se lo considerará 1, no afectando la densidad de fallas.

El factor A sale del tipo de aplicación y el D del entorno de desarrollo, se utiliza el valor de 10^{-2} fallos/LOC para su producto. Y finalmente se combina lo mencionado para llegar a un número de fallas estimadas:

$$\text{RPFOM} * \text{LOC} = [\text{estimación de fallas}]$$

Componente	Archivo	Líneas de código	Factor S1*S2	Factor A*D	Expectativa de bugs
Servidor	aulamaticaRetriever.py	122	2.5	1.00E-02	3
Servidor	api.py	51	2.5	1.00E-02	1
Servidor	imageDrawer.py	153	2.5	1.00E-02	4
Servidor	imageDeveloper.py	43	2.5	1.00E-02	1
Servidor	imageMaker.py	70	2.5	1.00E-02	2
Dispositivo	main.c	554	2.5	1.00E-02	14
Módulo Wi-Fi	ESP8266_NONOS_SDK	-	-	-	0*
Producto	Total	993	2.5	1.00E-02	25

Tabla 59. Bugs estimados en Software (ROME)

Se consideró nula la cantidad de fallas en el firmware del módulo Wi-Fi al ser de muy alta adopción y haber pasado por consecuentes revisiones hasta llegar a la condición actual. Se llega con esta metodología a una estimación de 25 bugs totales en el software desarrollado.

13.2.2 Aplicación del método de MUSA

Se utiliza también el método de MUSA. Este permite calcular el valor de λ de una manera similar a lo que se hizo para la confiabilidad de hardware, se obtiene λ_0 como la tasa inicial de fallas o la cantidad de fallas esperadas en un periodo de tiempo infinito.

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

- k es una constante donde se cuantifica la estructura dinámica del programa, se toma el valor estándar 4.2×10^{-7}
- $p = r / \text{SLOC} / \text{ER}$, con r la velocidad promedio de ejecución de instrucciones (micro corriendo a 4MHz), SLOC la cantidad de líneas del código fuente (993), y ER una constante determinada por el lenguaje de programación: Assembler=1, Macroassembler=1.5, C=2.5 (se extrapola este mismo para Python)
- w_0 es la estimación del número inicial de fallas en el programa. Por default se puede asumir 6 fallas/1000SLOC. Alternativamente se podría calcular como la cantidad de defectos inherentes multiplicado por la proporción de defectos que se convierten en fallas.

$$\lambda_0 = 4.2 \times 10^{-7} * (4 \times 10^6 / (993 / 2.5)) * 6 / 1000 = 2.54 \times 10^{-5} \text{ f/s}$$

Este valor es equivalente a un MTBF de 10.95 horas de ejecución o 1313 actualizaciones de pantalla. Este método sólo nos permite tener un valor estimado para la tasa de fallas en la primera implementación de software. Este número baja inevitablemente al considerar un

proceso de depuración de software y programación robusta. Al incorporar ese desarrollo adicional se considera una reducción en la tasa de fallos menor al 20% de la inicial, lo que permite obtener un MTBF de software superior a 6500 actualizaciones.

13.2.3 Cálculo de fiabilidad mediante modelo de estimación

Utilizando el modelo de distribución exponencial, se calcula a continuación la fiabilidad del programa. A pesar de que el producto no ha sido ejecutado durante extensos períodos de tiempo en normal funcionamiento en un ambiente de producción, es posible utilizar este modelo de estimación considerando la ejecución de la prueba de autonomía, y los fallos encontrados en ella. En esta prueba se alcanzaron casi 2400 actualizaciones o ejecuciones. Considerando que se esperan alrededor de 2100 ejecuciones por año, este número equivale a 1.14 años de servicio. En dicha ejecución se detectaron 3 fallas moderadas. Por lo tanto, la tasa de fallo es la siguiente:

$$\lambda = 3/2400 = 0.00125 \text{ f/e}$$

Aplicando la fórmula de fiabilidad

$$R(t) = e^{(-\lambda * t)} = e^{(-0.00125 * 1)} = 0.99875$$

Esto representa una fiabilidad del 99.875% para un período de un año. También se puede ver evaluar el tiempo estimado hasta la próxima falla y el tiempo estimado entre fallas.

$$MTTF = MTBF = 1/\lambda = 800 \text{ días}$$

Evalando la probabilidad de que el programa falle en los primeros 4 meses:

$$Q(t) = 1 - e^{(-\lambda * t)}$$

Donde $\lambda = 0.00125$ y $t = 1/3$

$$Q(t) = e^{(-0.00125 * 1/3)} = 0.04\%$$

Los resultados de este análisis son excepcionalmente positivos. Esto se debe en gran medida a que la cantidad de fallos es medida sobre tiempo calendario, y que nuestro dispositivo tiene un ciclo de trabajo minúsculo. Dado a que el dispositivo no presentará fallas durante su estado de sueño, y es el estado en el que está la gran mayoría del tiempo, sus probabilidades de falla son excepcionalmente bajas.

14 Conclusiones

El Objetivo del proyecto fue encontrar una solución específica a un problema detectado en el ámbito de las universidades, particularmente uno presenciado con regularidad en el ITBA y en base a la solución planteada se logró un producto atractivo para un mercado potencial mucho más amplio lo que permite escalar la producción y maximizar el retorno del costo de desarrollo.

Notablemente se implementó una solución muy eficiente en términos de costo-beneficio a través de la tecnología de impresión de tinta electrónica, que permitió obtener una altísima autonomía que combinada con su compatibilidad con redes Wi-Fi (altísima adopción) permite que el producto se adapte fácilmente a una pluralidad de aplicaciones presentando una mínima barrera para su adopción.

El prototipo desarrollado permitió validar el concepto y su funcionalidad. Se encuentra planificado el paso al producto final, y no implica un rediseño de alta complejidad.

El proyecto requirió una gran cantidad de horas y dedicación de un equipo muy reducido para la magnitud del proyecto, pero se logró un excelente trabajo en equipo distribuyéndose tareas sin perder la integración de los elementos.

Fue un gran proceso de aprendizaje en el que se pudo integrar conocimientos técnicos con las variables necesarias para desarrollar un emprendimiento (Start-up).

14.1 Objetivos alcanzados

Se desarrolló un proyecto que se considera exitoso tanto en los aspectos administrativos, económicos y puramente ingenieriles.

El proceso se considera realizable y realista con los tiempos y procesos evaluados.

Se logra atacar un mercado potencial muy atractivo y aún con objetivos de participación de mercado muy conservadores se alcanza un volumen de ventas que ofrece una masa crítica interesante para una producción más masiva. La inversión inicial requerida no es muy elevada y dada la buena rentabilidad del producto ofrece un retorno sobre la inversión del 70%.

El diseño de producto cumple los requerimientos definidos por el cliente, y fue exitosamente validado a través del prototipo desarrollado.

14.2 Recomendaciones para futuros diseños

Ténganse en cuenta los siguientes consejos para futuros diseños de dispositivos similares.

1. Optar por protocolos de comunicación sincrónicos desde etapas tempranas del desarrollo, a pesar de que esto requiera un esfuerzo adicional.
2. En lo posible migrar de la conectividad de módulos por cableado a módulos conectados por pistas de cobre en PCB durante las etapas de prototipo.
3. De ser posible, al momento de comparar módulos Wi-Fi, buscar Benchmarks o realizar pruebas propias de como el dispositivo responde a distintas intensidades de señal de Wi-Fi, para poder evaluar mejor la resiliencia del equipo en espacios con baja señal.
4. Siendo que el consumo y el precio del microcontrolador son fracciones muy menores del total, considerar microcontroladores con más espacio de almacenamiento, y que permitan desarrollos más simples en IDEs y/o lenguajes de más alto nivel, a pesar de que con ello venga asociado un impacto en el costo o autonomía.

15 Bibliografía

15.1 Libros

- Proceedings of the 11th European Conference on Information Systems Management, The University of Genoa, Italy 14-15/09/2017. Reading: Academic Conferences and Publishing International.
- "Software Reliability. Measurement and Testing." Mc Call, J. A., W. Randell and J. Dunham, 04/1992, Rome Laboratory, RL-TR-92-52.
- "Modelos de Fiabilidad del Software", Jesús Plaza Rubio, Pablo Fernandez Blanco, Pilar Grande González. E. U. de Informática (Segovia). Universidad de Valladolid.
- "Software Reliability Model Study Deliverable" IST-1999-55017, Michael Grottke, 01/06/2001

15.2 Notas de aplicación

- https://www.dialog-semiconductor.com/sites/default/files/slg59m1649v_layoutguide_r01_02.11.2016.pdf
- Manual de confiabilidad del ejército de estados unidos: MIL-HDBK-217
- Manual de confiabilidad del ejército de estados unidos: MIL-HDBK-338B

15.3 Normativas

15.3.1 Normativa Argentina

- Resolución 508/2015 de la Secretaría de Comercio y su modificación mediante Resolución 559/2015.
- Ley nacional de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Ley 2807 de concientización, CABA.
- Ley 1854, CABA.
- Ley 14321, GBA.
- IRAM- 2292 - Seguridad de aparatos eléctricos y electrónicos de uso doméstico y similar. Inspección y recepción.
- IRAM 2491-1-1 Compatibilidad electromagnética (CEM)
- (CISPR 14-1 y 14-2, IRAM 4200)
- IRAM 2492-3 Aparatos electrodomésticos y equipos eléctricos similares. Perturbaciones producidas en las redes de alimentación. Fluctuaciones de tensión.
- IRAM- 36004 - Informática.

15.3.2 Normativa Europea

- Directiva de baja tensión (LVD: The low voltage directive (LVD) (2014/35/EU)
- Norma 73/23/EEC (article 3.1a of the R&TTE Directive), 2006/95/EC)
- Directiva (2001/95/EC) relativa a la seguridad general de los productos
- (Article 3.1 (b) of the R&TTE Directive) EN 301 489-1 V1.8.1/-17 V1.3.2 EMC Directive, Electromagnetic Compatibility,
- Directiva 2004/108/CE sobre Compatibilidad Electromagnética (EMC) (sustituye a la anterior Directiva 89/336/CEE de emc) (artículo 3.1b)
- Radio frequency spectrum usage (Article 3.2 of the R&TTE Directive)
- Directiva sobre restricciones de sustancias peligrosas (RoHS) 2011/65/EU
- Directiva sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (WEEE). 2012/19/EU
- Fin de vida y disposición de desechos – normas EU WEEE (Waste Electrical & Electronic Equipment)
- Directiva del consejo 93/68/EEC

15.4 Páginas web:

15.4.1 Organismos Públicos

- “Datos Productivos.” *Argentina.gob.ar*, 11/08/2020, www.argentina.gob.ar/produccion/datos-productivos. [Visitado el 23/01/2021]

15.4.2 Museos

- Ministerio de Cultura de la Nación Argentina y Secretaría De Cultura. “Guía Nacional De Museos.” *Issuu*, issuu.com/secretariadecultura/docs/guianacionaldemuseos3. [Visitado el 23/01/2021]

15.4.3 Universidades

- Ministerio de Educación. (2015). Anuario 2013 de Estadística Universitaria. www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anuario_2013.pdf [Visitado: 23/01/2021]
- Ministerio de Educación (Argentina, 2020). Anuarios de Estadística Universitaria. www.argentina.gob.ar/educacion/universidades/informacion/publicaciones/anuarios [Visitado: 23/01/2021]

15.4.4 Empresas

- Boletín de Estadísticas Laborales (BEL). Argentina 2012: http://www.trabajo.gob.ar/downloads/estadisticas/2012n10_revistaDeTrabajo.pdf [Visitado: 23/01/2021]
- Manzoni, Carlos. “El Mapa Empresarial De Un País Donde Las Pymes Son Las Grandes Empleadoras.”, *LA NACIÓN*, 19/02/2017, www.lanacion.com.ar/economia/negocios/el-mapa-empresarial-de-un-pais-donde-las-pymes-son-las-grandes-empleadoras-nid1985790/. [Visitado: 23/01/2021]
- Universidad Nacional de Avellaneda, “Informe Anual de Financiamiento a MiPymes”, 27/03/2015, <https://www.undav.edu.ar/general/recursos/adjuntos/10264.pdf>, [Visitado: 24/01/2021]

15.4.5 Comparaciones de tipos de redes

- “Low Power WiFi: A study on power consumption for Internet of Things”, Ugaitz Amozarrain Perez, 02/02/2015, <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25583/104901.pdf?sequence=1>. [Visitado: 24/01/2021]
- “What’s The Difference Between IEEE 802.15.4 And ZigBee Wireless?”, Lou Frenzel, 22/03/2013, <https://www.electronicdesign.com/technologies/wireless/article/21796046/whats-the->

[difference-between-ieee-802154-and-zigbee-wireless](#). [Visitado: 24/01/2021]

15.4.6 Celdas Fotovoltaicas

- Customized Solar Cells: GCell: Dye Sensitized Solar Cells, 11/07/2014. <http://gcell.com/gcell-products/custom-solar-cell>. [Visitado: 24/01/2021]
- "Indoor Solar Cells: Dye Sensitized Solar Cells: GCell." G24, 14/07/2014, gcell.com/gcell-products/indoor-solar-cells. [Visitado: 23/1/2021]
- "EEVblog #48 - Solar Power Hope", *EEVblog*, 3/12/2009, https://www.youtube.com/watch?v=bdclvrDdGTA&ab_channel=EEVblog [Visitado: 23/1/2021]
- Limpkin. "Limpkin's Blog." *Indoor Solar Energy Harvesting: 3 Months Data - Limpkin's Blog*, 20/03/2012, www.limpkin.fr/index.php?post%2F2012%2F03%2F20%2FIndoor-solar-energy-harvesting%3A-3-months-data. [Visitado: 23/1/2021]
- "Solar Panel Efficiency: Most Efficient Solar Panels 2021." *Unbound Solar*, 6/01/2021, unboundsolar.com/solar-information/solar-panel-efficiency. [Visitado: 23/1/2021]

15.4.7 Baterías

AA batteries benchmark. (n.d.). Retrieved from <http://www.batteryshowdown.com/results-lo.html>

- "BU-802b: What does Elevated Self-discharge Do?", Battery University. http://batteryuniversity.com/learn/article/elevating_self_discharge. [Visitado: 24/01/2021]

15.4.8 Comparación entre celdas primarias y secundarias

- "Classification of Cells or Batteries", <http://depts.washington.edu/matseed/batteries/MSE/classification.html>. [Visitado: 24/01/2021]
- Primary cell. (2021, January 20), https://en.wikipedia.org/wiki/Primary_cell. [Visitado: 24/01/2021]
- Energy density. (2021, January 26). Retrieved January 31, 2021, from https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density [Visitado: 24/01/2021]

15.4.9 Otros productos similares

- Pantalla Visionect 6": www.visionect.com/product/visionect-sign-6/ [Visitado: 10/08/2019]
- Marco de fotos digital con WI-FI: "Chinese 1280*800 IPS android 16gb Mp4 Wifi Hd Sexy Digital Photo Picture Frame with touch screen", Shenzhen Avic Electronics Tech Co. Ltd., alibaba.com/product-detail/Chinese-1280-800-IPS-android-16gb_1600059276562.html [Visitado: 23/01/2021]

- Artec Design (Exhibiciones en Estonia): 2016, Artec Design. "E-Paper Digital Signage Platform." Artec Design RSS, www.artecdesign.ee/products/e-paper-digital-signage-platform/. [Visitado: 23/01/2021]
- Visix: "Electronic Paper Room Signs: E Ink Room Signs." Visix, 27/01/2021, www.visix.com/products/meeting-room-signs/electronic-paper-room-signs/. [Visitado: 28/01/2021]
- Lancom: GmbH, LANCOM Systems. "LANCOM Wireless EPaper Displays (WDG-2)." LANCOM Systems, www.lancom-systems.com/products/wireless-lan/wireless-epaper-ibeacon/lancom-wireless-epaper-displays/. [Visitado: 24/01/2021]
- Yonglin Yonglin Biotech Corp. (Aplicación médica): "Patient/Room Information Display." IF WORLD DESIGN GUIDE, ifworlddesignguide.com/entry/280591-patientroom-information-display. [Visitado: 23/01/2021]

15.4.10 Gabinete de seguridad

- "Apple iPad Wall Mounts, Kiosks & Floor Stands." ImageHOLDERS, www.imageholders.com/product/slimline-10-secure-wall-mounted-ipad-tablet-kiosk/, [Visitado: 24/01/2021]
- "Retrofittable." ImageHOLDERS, 9 Oct. 2020, www.imageholders.com/custom-kiosk-solutions/mount-type/retrofitable/, [Visitado: 24/01/2021]

15.4.11 ATAVRXPLAIN-ND (Atmel XMEGA 128A1U):

- "8/16-bit Atmel XMEGA A1U Microcontroller, ATxmega128A1U / ATxmega64A1U", Atmel, 2014, http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8385-8-and-16-bit-AVR-Microcontroller-ATxmega64A1U-ATxmega128A1U_datasheet.pdf [Visitado: 23/01/2021]

15.4.12 Microprocesador (MSP-EXP430FR5969)

- Proveedor: www.digikey.com/products/en?keywords=MSP-EXP430FR5969%20, [Visitado: 24/01/2021]
- Hoja de datos: www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430fr5969.pdf [Visitado: 24/01/2021]
- Confiabilidad: <https://www.ti.com/quality/docs/estimator.tsp?partType=tiPartNumber&partNumber=MSP430FR5969IRGZR#resultstable>, [Visitado: 24/01/2021]

15.4.13 ESP-8266

- "ESP8266/ESP32 Connect WiFi Made Easy", Hieromon Ikasamo, 23/03/2018, <https://www.hackster.io/hieromon-ikasamo/esp8266-esp32-connect-wifi-made-easy-d75f45>, [Visitado: 24/01/2021]
- Imágenes de referencia: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-pinout-reference-gpios/> [Visitado: 24/01/2021]

15.4.14 SLG59M1649V (GreenFET3™ Single P-Channel Reverse Blocking Integrated Power Switch)

- “SLG59M1649V, GreenFET3™ Single P-Channel Reverse Blocking Integrated Power Switch”, Dialog Semiconductor, <https://www.dialog-semiconductor.com/products/slg59m1649v> [Visitado: 24/01/2021]
- “GreenFET SLG59M1649”, Dialog Semiconductor, 12/12/2018, https://www.dialog-semiconductor.com/sites/default/files/slg59m1649r101_12122018.pdf, [Visitado: 24/01/2021]
- Proveedor: <https://www.digikey.com/en/products/detail/dialog-semiconductor-gmbh/SLG59M1649V/7562874>, [Visitado: 24/01/2021]

15.4.15 TPS22919 (Load switch)

- Proveedor: <https://www.ti.com/product/TPS22919> [Visitado: 24/1/2021]
- Confiabilidad: <https://www.ti.com/quality/docs/estimator.tsp?OPN=TPS22919DCKR&CPN=&partNumber=TPS22919#resultstable>, [Visitado: 24/01/2021]

15.4.16 INA240 – Amplificador de corriente para mediciones

- “INA240 High- and Low-Side, Bidirectional, Zero-Drift, Current-Sense Amplifier With Enhanced PWM Rejection”, Texas Instruments, 07/2016, Revisado el 02/2018, <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina240.pdf>, [Visitado: 24/01/2021]
- “INA240EVM User's Guide”, Texas Instruments, “SBOU177A”, 09/2016, Revisado el 07/2017, <https://www.ti.com/lit/ug/sbou177a/sbou177a.pdf>, [Visitado: 24/01/2021]
- Proveedor: <https://www.digikey.com/en/products/detail/texas-instruments/INA240EVM/6562006> [Visitado: 24/01/2021]

15.4.17 Pantallas de tinta electrónica:

- E Ink display. (s.f.), https://wiki.mobileread.com/wiki/E_Ink_display
- “Benefits of E-ink Technology”, E-Ink. <https://www.eink.com/benefits-of-eink-technology.html>. [Visitado: 24/01/2021]
- *E Ink, Electronic Ink*, <https://www.eink.com/electronic-ink.html>, [Visitado: 24/01/2021]
- Driver prototipo: “MpicoSys 7.4” Solutions.” *Pervasive Displays*, www.pervasivedisplays.com/product/mpicosys-7-4-solutions/. [Visitado: 24/01/2021]
- Driver nueva generación: “EPD Extension Kit Gen 2 (EXT2).” *Pervasive Displays*, www.pervasivedisplays.com/product/epd-extension-kit-gen-2-ext2/. [Visitado: 24/01/2021]
- Pantalla Pervasive 7.4”: “7.4” E Ink Display – Aurora Mb (V231).” *Pervasive Displays*, www.pervasivedisplays.com/product/7-4-e-ink-display-aurora-mb-v231/. [Visitado: 24/01/2021]

15.4.18 Normativa Europea

- “Puertos USB - Bus Serie Universal y descripción de la norma IEEE 1394”, Antonio López Barragán, 27/02/2003, http://platea.pntic.mec.es/~alopez1/web_Eldad/qs_srca/CI/Puertos%20USB.pdf. [Visitado: 24/01/2021]
- “Radio Equipment Directive (RED).” Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs - European Commission, 28/06/2017, ec.europa.eu/growth/sectors/electrical-engineering/red-directive_en. [Visitado: 24/01/2021]
- Estándares ETSI: etsi.org:80/index.php/technologies-clusters/technologies/regulation-legislation/r-tte-q-a [Visitado: 14/04/2018]

15.4.19 Normativa Estadounidense

- “Equipment Authorization.” Federal Communications Commission, 03/11/2017, **Error! Hyperlink reference not valid..** [Visitado: 24/01/2021]

15.4.20 Kindle

- “Kindle Fire User’s Guide”, Amazon.com, Inc. https://kindle.s3.amazonaws.com/Kindle_Fire_Users_Guide.pdf
- “Get Started with Apps for Fire Tablets”, Amazon Appstore, <https://developer.amazon.com/docs/fire-tablets/ft-get-started.html#device-specifications---current-devices>

15.4.21 Deposición final

- Communications, NYU Web. “Standard for Destruction and Disposal of Electronic Equipment and Data.” NYU, www.nyu.edu/about/policies-guidelines-compliance/policies-and-guidelines/standard-for-destruction-and-disposal-of-electronic-equipment-an.html. [Visitado: 24/01/2021]
- “Regulations, Initiatives and Research on Electronics Stewardship.” EPA, Environmental Protection Agency, 19 May 2020, www.epa.gov/smm-electronics/regulations-initiatives-and-research-electronics-stewardship. [Visitado: 24/01/2021]
- “Electronic Equipment Disposition Policy.” *Electronic Equipment Disposition Policy | Computing & Information Services*, it.brown.edu/computing-policies/electronic-equipment-disposition-policy. [Visitado: 24/01/2021]
- “Data Removal Recommendations.” *Data Removal Recommendations | Computing & Information Services*, it.brown.edu/computing-policies/electronic-equipment-disposition-policy/data-removal-recommendations. [Visitado: 24/01/2021]
- Dell, “Electronics Disposition Policy”, RQD0298, 01/26/2017, <http://i.dell.com/sites/content/corporate/environment/en/Documents/electronic-disposition-policy.pdf> [Visitado: 24/01/2021]
- EPRA (organización de reciclaje electrónico Canadiense): <https://epraon.ca/> [Visitado: 24/01/2021]

- EERA (organización de reciclaje electrónico Europeo): <https://www.eera-recyclers.com/> [Visitado: 24/01/2021]
- Información general de reciclaje electrónico:
<https://www.thebalancesmb.com/introduction-to-electronics-e-waste-recycling-4049386> [Visitado: 24/01/2021]
- Manejo de e-Waste en Estados Unidos:
www.seas.columbia.edu/earth/RRC/documents/MANAGEMENT%20OF%20ELECTRONIC%20WASTE%20IN%20THE%20UNITED%20STATES.pdf [Visitado: 23/12/2019]
- Manejo de e-Waste en Latinoamérica: https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/integrated_weee_management_and_disposal-395429-normal-e.pdf [Visitado: 24/01/2021]

16 Anexo 1: Resumen de entrevistas

16.1 Entrevista 1 (ENT-LOG)

José Eizaguirre, Jefe de logística y servicios del ITBA, fue entrevistado el día 28/04/2017. Se realizó una grabación de voz de la entrevista. A continuación, se resumen los elementos de relevancia:

- José afirma que es una tarea realizable colocar pantallas en todas las aulas.
- Limitaciones de tamaño: Recomienda un tamaño no menor a 10cm x 10cm, y no mayor a 20cm x 20cm, pero puede ser mayor. No mayor a 30 pulgadas.
- Ancho del equipo no puede ser mayor a 10cm. Él aconseja que no sea mayor a 2, 3 cm. Prefiere que el peso no sea mayor a 2kg.
- Para él, lo ideal del sistema de fijado sería por un marco metálico fijo a la pared y la pantalla removible, con una traba de seguridad. No puede ser adhesivo.
- No se dispone de un cable Ethernet.
- Puede disponerse de una conexión eléctrica de ser necesaria.
- Prefiere evitar las tareas de mantenimiento en reemplazo de baterías. Autonomía mínima de 30 días.
- En caso de que las baterías estén al acceso de la gente, las baterías deberán ser descartable. (Se roban las pilas de los relojes). Si la batería está protegida, puede ser cualquier batería.

16.2 Entrevista 2 (ENT-ADM)

Federico Ferrando, personal de Secretaría Académica, fue entrevistado el día 28/04/2017. Se realizó una grabación de voz de la entrevista. A continuación, se resumen los elementos de relevancia:

- Prioriza la fiabilidad de la información mostrada en pantalla, respecto a la información disponible en la fuente de información oficial, el Sistema de Gestión Académica.
- Considera que la implementación del producto solucionará en parte la problemática.
- Indica que mientras más grande sea la pantalla, mejor. Ideal 10', no menor a 7'.
- Le parece necesario que el producto muestre en pantalla todas las actividades del aula a lo largo de la semana.
- Desea que se indique en pantalla la capacidad del aula, si el acceso es abierto o restringido, y el horario de la última actualización de la información.
- Prefiere que la conexión a internet sea por cable Ethernet para darle mayor fiabilidad a los datos mostrados.

- Indica que no es necesario que el dispositivo tenga capacidades de reproducir audio, video o colores.
- No muestra preferencia entre la alimentación por pila/batería o por tensión doméstica.
- Pide que el precio no sea superior al de una Tablet económica de 7 pulgadas.

16.3 Entrevista 3 (ENT-TI)

Martín Barreiro, Coordinador de Mesa de Ayuda de Tecnología de la Información, fue entrevistado el día 03/05/2017. Se realizó una grabación de voz de la entrevista. A continuación, se resumen los elementos de relevancia:

- Es factible incorporar 50 equipos de forma permanente a la red del ITBA.
- No se considerará tecnología que requiere cableado físico. Ethernet no es una opción.
- La conexión Wi-Fi del ITBA es de tipo AC.
- Los equipos se conectarán a una red específica para dispositivos del tipo “Internet of Things”.
- Habrá que adaptarse a los protocolos de seguridad necesarios para realizar los “queries” necesarios a SGA para la información de las aulas. Se deberá obtener más detalles de esto en una futura reunión con Marín Lonigro o Martín Garibaldi.

16.4 Entrevista 4 (ENT-MAG)

Miguel Aguirre, director del departamento de ingeniería electrónica del ITBA, fue entrevistado en dos ocasiones, el día 19/05/2017 y el día 03/07/2017. Se realizaron grabaciones de voz de ambas entrevistas. A continuación, se resumen los elementos de relevancia:

- La aplicación para el ITBA en general parece estar siendo cubierta por otro lado, pero está interesado en su desarrollo para el departamento de electrónica.
- Puesta en práctica de un juego de pantallas para el laboratorio A, Aula/laboratorio B y posiblemente la sala de reuniones.
- Pasaría a ser nuestro cliente principal.
- No es una prioridad la autosuficiencia del dispositivo.
- Si no se utiliza cableado, autonomía no menor a 1 año.
- No parece valer el costo, la utilidad marginal de incluir un panel solar en la aplicación.
- Buscar un bajo costo.
- Pantalla de tamaño mayor a 5” para ser de utilidad.

- No es recomendable el uso de baterías recargables por su auto-descarga.
- En caso de usar baterías, que sean de fácil reposición.
- Fácil conexión a la red Wi-Fi.

17 Anexo 2: “Brainstorming” de fallas

17.1.1 Funcionales:

Presentación de información:

- Información errónea:
 - No actualiza/old data
 - Corrupt data/no data
- No hay imagen
 - Pantalla dañada
 - Driver fallando
 - Falla de alimentación

Alimentación:

- No hay tensión:
 - Batería descargada (medir tensión)
- Sobretensión
- Tensión inestable
 - Picos de consumo
 - Limitación de corriente de baterías
 - Limitación de corriente de USB

Comunicación:

- No se conecta a la red
 - Problema de distancia
 - Problema de interferencia
 - Error de protocolo
- La red no recibe mensajes
 - Falta potencia en Tx
 - Error de banda/freq
 - Error en dirección
 - Error en protocolo
- Se pierden datos
 - Esporádico (pedir reenvío)
 - Reiterado (sube tiempo de comunicación -> cae la eficiencia)
- No termina la comunicación (timeout?)
 - Se pierde el fin de comunicación (hay ACK?)

Eficiencia:

- Poca duración de baterías:
 - Alto consumo en Tx
 - Alto consumo en Rx
 - Alto consumo en estacionario
 - Alto consumo en actualizar pantalla

Software:

- Se cuelga por soft -> Hard-reset (hold 10 secs)

Reloj:

- Se despierta fuera de tiempo.
- Mal clock, jode las comunicaciones
- Refresca fuera de tiempo

17.1.2 Sueltas:

- Sobretensión en puerto USB
- Corto en pto USB
- ultraDescarga de baterías
- Corriente inversa en pilas?
- Calentamiento de pilas?
- Falla de baterías
- Descarga de baterías -> Tool access
- Decaimiento de pantalla -> Repuesto?
- Daño a la pantalla
- Error de software -> Reset button
- Cambio de red -> Clear button -> Re-config setup.
- Low Wi-Fi signal/packet loss
- No server response -> set delayed transfer.
- Robo? -> carcasa de seguridad
- Memoria insuficiente (ráfaga)
- Errores de calibración?
- Errores en fuente de switching
- Falta de alimentación
- ---Presentación de errores en undervoltage?

18 Anexo 3: Confiabilidad de pantallas Pervasive

Se intentó obtener información de confiabilidad de las pantallas, luego de más de 10 comunicaciones por email la totalidad de información que nos ofreció Pervasive es la siguiente:

18.1 Agregado de comunicación por email:

You can find similar information from product specification of other EPD size (e.g. [2.13" EPD](#)).

My apologies that I still can't share with you the MTBF/FIT data.

The criteria [used] is contrast ratio $\geq 1/2$ of typical of spec and the function of display is still working. We tested in 500 hours with number of samples and use a calculating method to simulate the MTBF for 5 years.

Thank you.

Charming SU @ Pervasive Displays

18.2 Especificación de confiabilidad referenciada (2.13" EPD)

Table 2-2 Reliability Test Items

Item	Test Condition	Note
High Temperature Operation	40 °C / 30 %RH for 240h	(1) (2)
Low Temperature Operation	0 °C for 240h	(1) (2)
High Temperature/Humidity Operation	40 °C / 80%RH for 240h	(1) (2)
High Temperature Storage	60 °C / 40 %RH for 240h	(1)(2)(3)
Low Temperature Storage	-25 °C for 240h	(1)(2)(3)
High Temperature/Humidity Storage	60 °C / 80% RH for 240h	(1)(2)(3)
Temperature Shock (Storage)	1 Cycle:-25°C/30min → 60°C/30min, for 100 Cycles	(1)(2)(3)
Package Drop Test	Drop from 97cm. (ISTA) 1 corner, 3 edges, 6 sides. One drop for each.	(1)(2)(3)
Package Random Vibration Test	1.15Grms, 1Hz ~ 200Hz. (ISTA)	(1)(2)(3)

Note (1): No condensation and no frost during test. End of test, function, mechanical, and optical shall be satisfied with product specification and IIS.

Note (2): The test result and judgment are based on PDI's 1bit driving waveform, driving fixture and driving system.

Note (3): Stay white pattern for storage and non-operation test.

19 Anexo 4: Hoja de datos batería AA Energizer

PRODUCT DATASHEET

Energizer

1-800-383-7323 USA/CAN
www.energizer.com

ENERGIZER E91

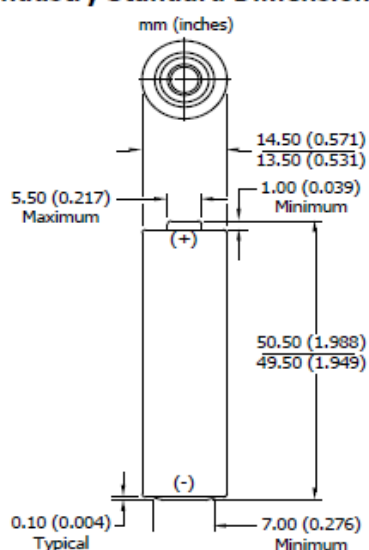
AA



Specifications

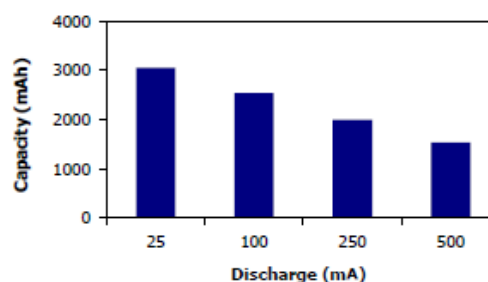
Classification:	Alkaline
Chemical System:	Zinc-Manganese Dioxide (Zn/MnO ₂) No added mercury or cadmium
Designation:	ANSI-15A, IEC-LR6
Nominal Voltage:	1.5 volts
Nominal IR:	150 to 300 milliohms (fresh)
Operating Temp:	-18°C to 55°C (0°F to 130°F)
Typical Weight:	23.0 grams (0.8 oz.)
Typical Volume:	8.1 cubic centimeters (0.5 cubic inch)
Jacket:	Plastic Label
Shelf Life:	10 years at 21°C
Terminal:	Flat Contact

Industry Standard Dimensions

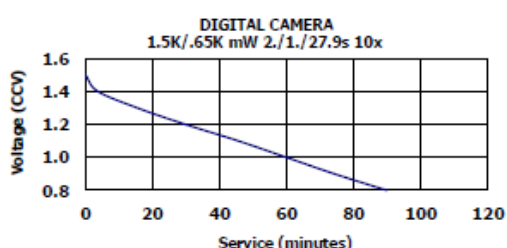
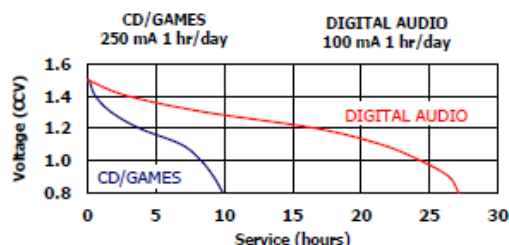
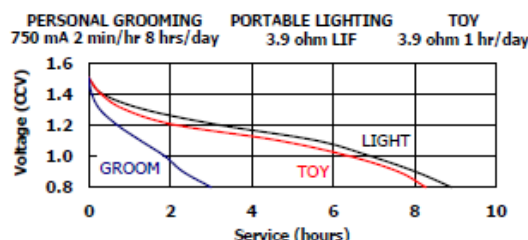
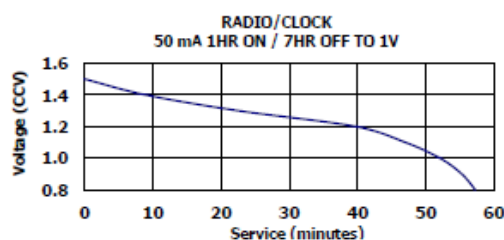


Milliamp-Hours Capacity

Continuous discharge to 0.8 volts at 21°C



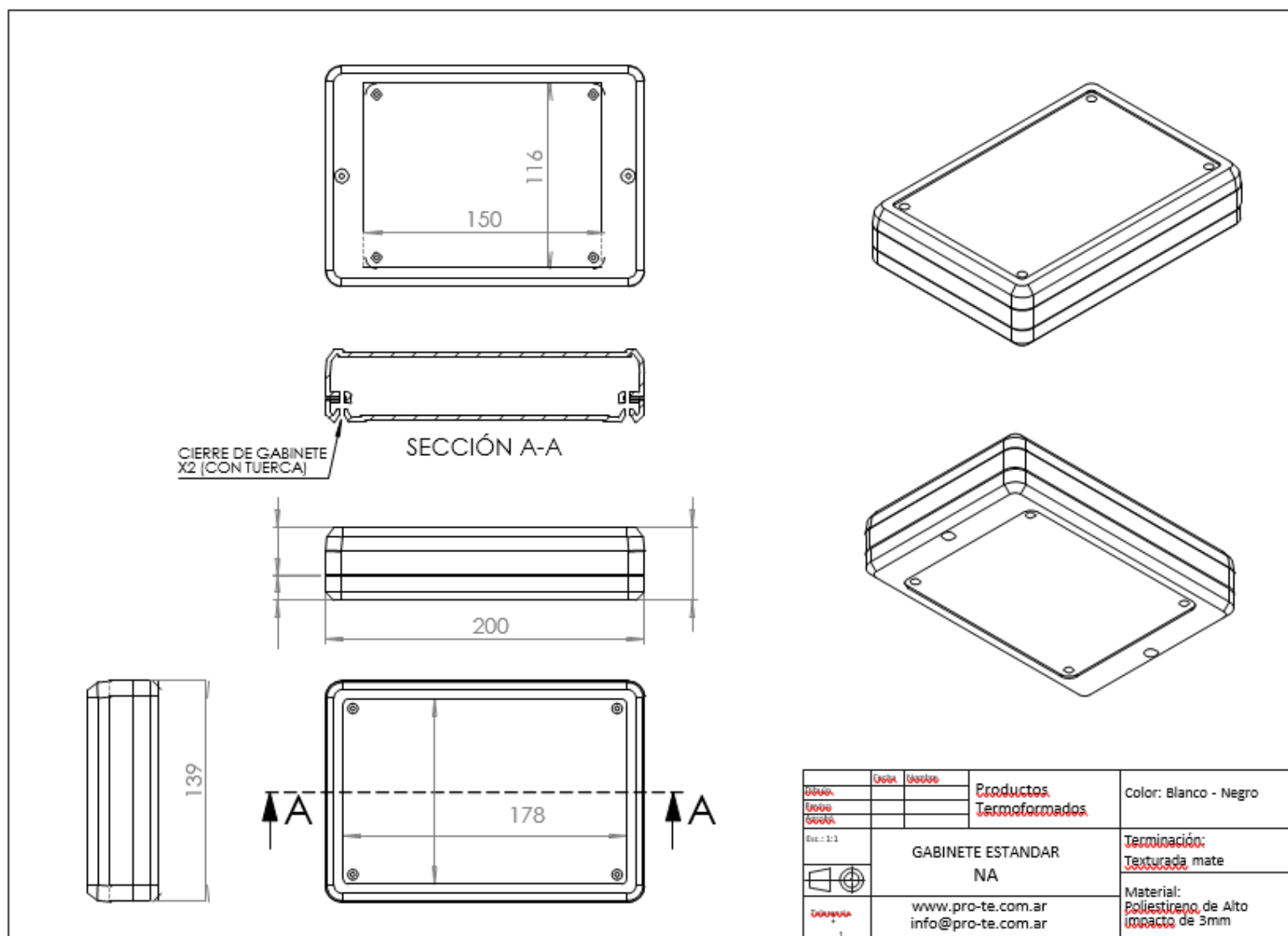
Industry Standard Tests (21°C)



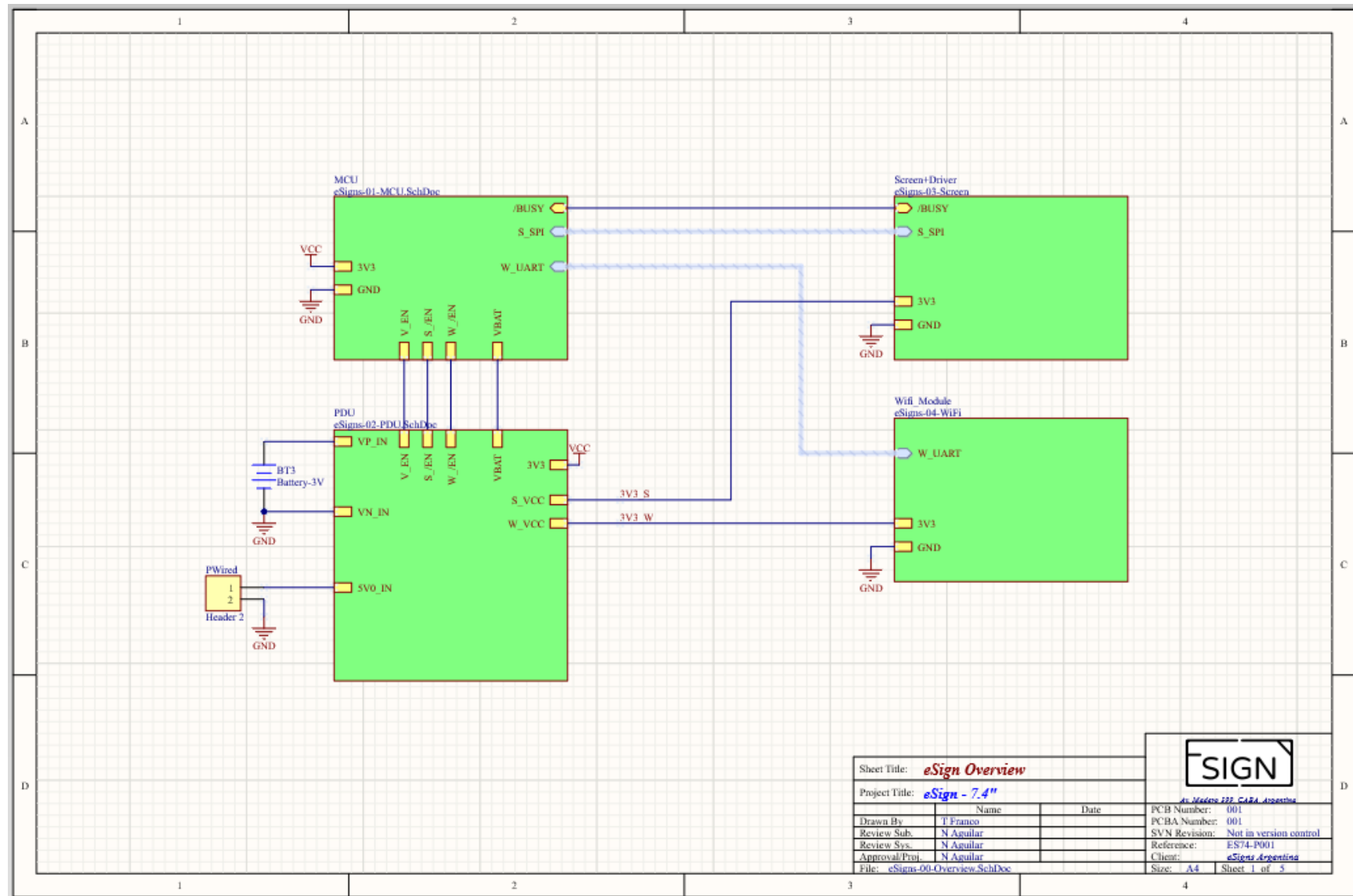
Important Notice

This data sheet contains typical information specific to products manufactured at the time of its publication.
Physical values are for reference purposes and not intended for specific calculations.
©Energizer Brands, LLC. - Contents herein do not constitute a warranty.

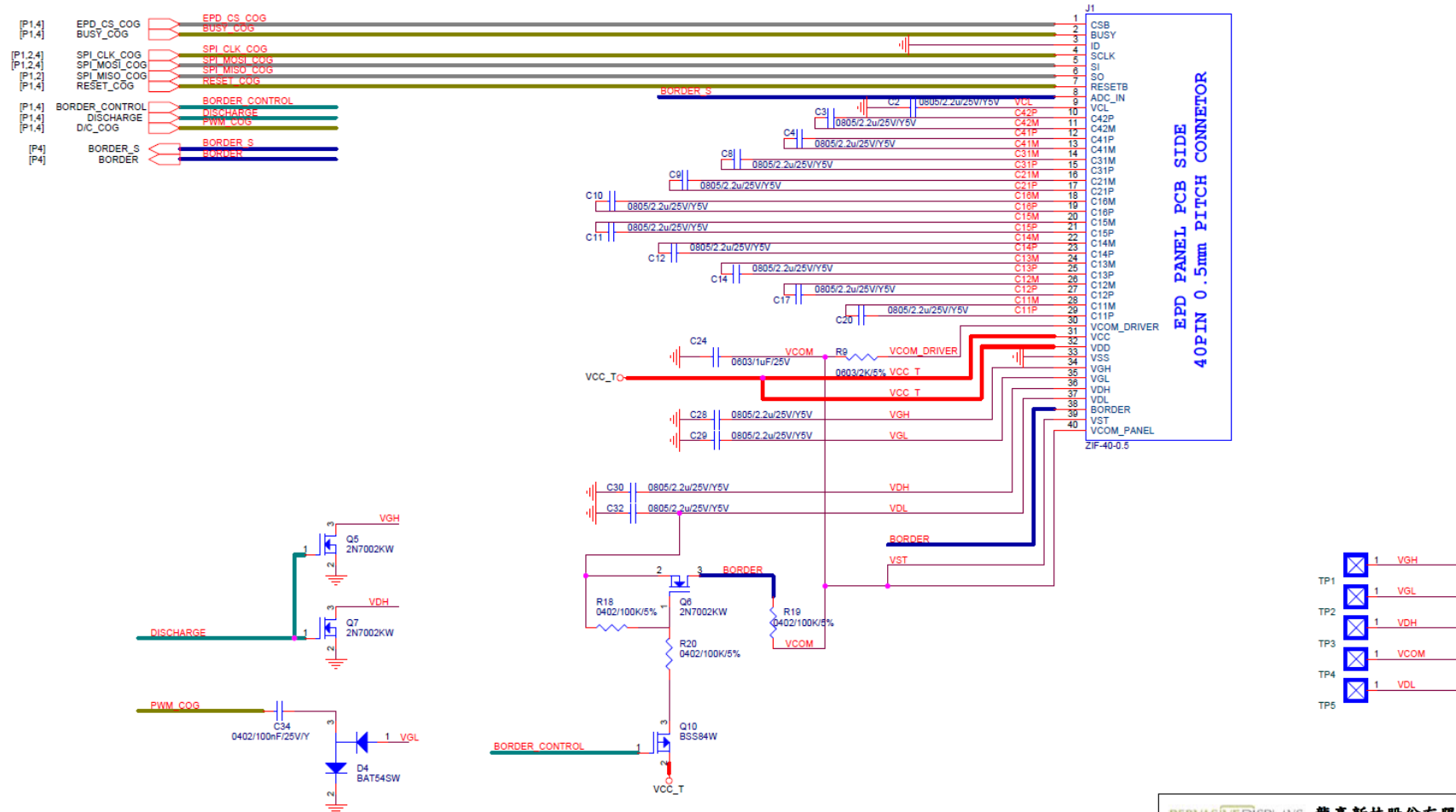
20 Anexo 5: Carcasa de prototipo



21 Anexo 6: Esquemático de PCB



22 Anexo 5: Sub-circuito driver Pervasive v231



Pervasive Displays 龍亨科技股份有限公司		
APPROVED:	Date:	DWG NO.:
CHECKED:	Date:	PART NO.:
DESIGNER:	Date:	Rev SHEET: 3 4
DRAWER:	Date:	Title
B	Tuesday, July 28, 2018	EPD Extension Board Gen2 (EXT2) eTC_COG 02

23 Anexo 6: BOM extension board & driver Pervasive v231

EPD extension board GEN2_02 BOM						
Item	Description	Vendor	Q'ty	Location	Second Source(替代料)	Remark
1	CAP 100nF 25V 0402 Y5V		6	C6,C15,C31,C33,C34,C37		0402/100nF/25V/Y5V
2	CAP 2.2uF 25V 0805 Y5V		16	C2,C3,C4,C8,C9,C10,C11,C12,C14,C17,C20,C28,C29,C30,C32,C38		0805/2.2uF/25V/Y5V
3	CAP 1uF 25V 0603 Y5V		13	C5,C7,C13,C16,C18,C19,C21,C22,C23,C24,C25,C26,C27		0603/1uF/25V/Y5V
4	SS2040FL Schottky diode \ SOD-123FL \ 40V 2A	PANJIT	3	D1,D2,D3		SS2040FL
5	BAT54SW Schottky diode \ SOT-323 \ 30V 0.2A	PANJIT	1	D4		BAT54SW
6	Header.FH P2.54 SMT HL5.0.ARC.2*10PIN.		2	J4,J6		
7	SMD FPC/FFC Connector 40PIN Pitch=0.5mm		1	J1	089H40-000000-G2-C	ZIF-40-0.5-R-SMD
8	FPC connector, 34P FH34SRJ-34S-0.5SH(50) Pitch=0.5mm	HRS	1	J2	6702A34-000000-G2-R	FH34SRJ-34S-0.5SH(50)
9	8PIN SWITCH.SMD.G		1	J7		
10	Connector. 4P FH34SRJ-4S-0.5SH(50) Pitch=0.5mm	HRS	1	J10		FH34SRJ-4S-0.5SH(50)
11	Connector. 6P FH34SRJ-6S-0.5SH(50) Pitch=0.5mm	HRS	1	J13		FH34SRJ-6S-0.5SH(50)
12	IND 47uH ATNR4010470MT +-20% 0.8A H=0.9mm	ARLITECH	1	L1		ATNR4010470MT/47uH
13	IND 10uH ATNR4010100MT +-20% 0.8A H=0.9mm	ARLITECH	1	L2		ATNR4010100MT/10u
14	MOSFET AP2305GN P-CH SOT23	APEC	1	Q1		AP2305
15	MOSFET 2N7002KW SOT-323 N-Channel 60V/115mA	PANJIT	6	Q3,Q5,Q6,Q7,Q8,Q9		2N7002KW
16	MOSFET BSS84W SOT-323 P-Channel 50V/150mA	PANJIT	3	Q2,Q10,Q11		BSS84W
17	MOSFET PJ2306 SOT-23 N-Channel 30V/3.2A	PANJIT	3	Q4,,Q12,Q13		PJ2306
18	RES 0R ohm 0402 5%		23	R1,R17,R21,R23,R24,R25,R26,R27,R28,R29,R30,R31,R32,R33,R34,R35,R36,R37,R38,R39,R40,R43,R46		0402/0R/5%
19	RES 33K ohm 0402 5%		1	R2		0402/33K/5%
20	RES 100K ohm 0402 5%		7	R3,R12,R18,R19,R20,R44,R45		0402/100K/5%
21	RES 10K ohm 0603 5%		4	R7,R8,R41,R42		0603/10K/5%
22	RES 0.47R ohm 0603 1% 1/10W		1	R6		0603/0.47R/1%
23	RES 2.2R ohm 0603 1% 1/10W		1	R5		0603/2.2R/1%
24	RES 2K ohm 0603 5%		1	R9		0603/2K/5%
25	RES 0R ohm 0603 5%		2	R14,R22		0603/0R/5%
26	S5851AAA-M6T1S SOT23-6	SEIKO	1	U1		S5851AAA-M6T1S
27	MX25V8006EM1I-13G SOP-8 Flash memory	MXIC	1	U3		MX25V8006EM1I-13G
28	PCB extension board GEN2		1	PCB/ extension board GEN2_V02		
29	LABEL 50mmx10mm		1	LABEL		

24 Anexo 7: Imagen para prueba de legibilidad

100 words of Lorem Ipsum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nullam condimentum ante nisl, vitae iaculis ex accumsan sed. Suspendisse tempor tristique augue, a consequat eros dignissim quis. Integer malesuada odio a lectus pellentesque sagittis. Aliquam sed ipsum viverra, convallis velit ut, iaculis orci. Vivamus iaculis sem eu consequat convallis. Proin at dignissim augue, eu accumsan orci. Aliquam erat volutpat.

Quisque posuere ullamcorper odio ac posuere. Sed id velit sit amet massa bibendum ornare. Donec hendrerit, sapien eget accumsan fermentum, sem neque ultrices erat, id dignissim odio lorem sed dui. Morbi dignissim, lorem vel viverra hendrerit, felis tellus consectetur nisi, at hendrerit.

25 Anexo 8: BOM

Description	Function	Manufacturer	PN	Q	Total Cost @ 250 u	Total Cost @ 1000 u	Link
FIXED IND 3.3UH 750MA 150 MOHM	Vreg IND	TDK Corporation	MLZ2012N3R3LT000	1	\$0,08	\$0,05	LINK
CAP CER 10UF 6.3V X5R 0805	Vreg IN cap	Samsung Electro-Mechanics	CL21A106MQFNNE	2	\$0,03	\$0,02	LINK
CAP CER 22UF 6.3V X5R 0805	Vreg OUT cap	Samsung Electro-Mechanics	CL21A226MQQNNNG	1	\$0,05	\$0,03	LINK
IC REG BOOST PROG 700MA 6SON	Vreg	Texas Instruments	TPS61291DRVR	1	\$1,02	\$0,69	LINK
IC MCU 16BIT 64KB FRAM 48VQFN	Main uP	Texas Instruments	MSP430FR5969IRGZR	1	\$3,35	\$2,40	LINK
IC RF TXRX+MCU WIFI 32VFQFN	Wifi Module	Seeed Technology Co., Ltd	ESP8285H16 (102990965)	1	\$1,50	\$1,42	LINK
7.4" E-paper screen	Screen epaper	Pervasive Displays	E2741CS0B1 (Screen)	1	\$54,44	\$54,00	LINK
40W, 0.5MM, FFC CON, VERT, H4.25	Conector pantalla	GCT	FFC2A32-40-T	1	\$0,66	\$0,53	LINK
MICRO B SKT, VERTICAL, TH, 30",	Micro USB connector	GCT	USB3131-30-0230-A	1	\$0,52	\$0,47	LINK
SWITCH TACTILE SPST-NO 0.05A 12V	Pulsador	C&K	PTS526 SK15 SMTR2 LFS	1	\$0,09	\$0,07	LINK
RES 4.7K OHM 5% 1/16W 0402	R4k7 - pulling Resistors	Stackpole Electronics Inc	RMCF0402JT4K70	4	\$0,01	\$0,01	LINK
A 1.6 MM 23 MO/4 A POWER SWITCH	Dual Input Power Switch IC	Dialog Semiconductor GmbH	SLG59M1649V	1	\$0,52	\$0,32	LINK
Power Switch/Driver 1:1 N-Channel 1.5A SC-70-6	Module Power Switch	Texas Instruments	TPS22919DCKR	2	\$0,25	\$0,19	LINK
BATT CONTACT SPRING MULTI 2 CELL	Battery holder parts A	Keystone Electronics	5228	2	\$0,43	\$0,43	LINK
BATT CONTACT SOLID MULTI 2 CELL	Battery holder parts B	Keystone Electronics	5227	2	\$0,23	\$0,23	LINK
CAP CER 0.1UF 25V X5R 0402	Decoupling capacitor	Samsung Electro-Mechanics	CL05A104KA5NNNC	4	\$0,01	\$0,01	LINK
CAP CER 2.2UF 25V X5R 0805	Screen Driver	Samsung Electro-Mechanics	CL21A225KAFNNNE	15	\$0,32	\$0,30	LINK
CAP CER 1UF 25V X5R 0603	Screen Driver	Samsung Electro-Mechanics	CL10A105KA8NNNC	1	\$0,02	\$0,01	LINK
BAT54SW Schottky diode \ SOT-323 \ 30V 0.2A	Screen Driver	Nexperia USA Inc.	BAT54SW,115	1	\$0,08	\$0,04	LINK
MOSFET N-Channel SOT-323 60V/115mA	Screen Driver	ON Semiconductor	2N7002KW	3	\$0,35	\$0,22	LINK
MOSFET BSS84W SOT-323 P-Channel 50V/150mA	Screen Driver	Diodes Incorporated	BSS84W-7-F	1	\$0,14	\$0,09	LINK
RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402	Screen Driver	Bourns Inc	CR0402-FX-1003GLF	3	\$0,01	\$0,00	LINK
RES 2K OHM 5% 1/16W 0402	Screen Driver	Stackpole Electronics Inc	RMCF0402JT2K00	1	\$0,00	\$0,02	LINK

26 Anexo 9: Código fuente

26.1 Código del microcontrolador

Este código define todas las actividades realizadas por el microcontrolador, la comunicación con todos los periféricos, y los controles de alimentación.

```
#include "driverlib.h"
```

```
////////////////////////////////////
///// CONNECTION SETUP  /////
*////////////////////////////////////
```

MCU Pin	TCM Pin	Name	Remarks
	1	GND	Supply ground
GND	2	/TC_EN	TC enable
VCC	3	VDDIN	Power supply for digital part
	4	VIN	Power supply for analog part
1.4	5	/TC_BUSY	Host interface busy output
1.7	6	TC_MISO	Host interface data output
1.6	7	TC_MOSI	Host interface data input
1.3	8	/TC_CS	Host interface chip select input
2.2	9	TC_SCK	Host interface clock input
GND	10	GND	Supply ground

```
*////////////////////////////////////
///// GLOBALS  /////
*////////////////////////////////////
```

```
#pragma PERSISTENT(_bufferA)
#pragma DATA_SECTION(_bufferB, ".SecondaryBuffers")
#define BUFFER_A_SIZE 45000
#define BUFFER_B_SIZE 5000
char _bufferA[BUFFER_A_SIZE] = "";
char _bufferB[BUFFER_B_SIZE] = "";
#pragma PERSISTENT(succesfullyPrinted)
bool succesfullyPrinted = true;
```

```
volatile char * rawWriter = _bufferA;
```

```
void handleBufferOverflow(volatile char **iter) {
    char *bufferA_End = _bufferA+BUFFER_A_SIZE;
    char *bufferB_End = _bufferB+BUFFER_B_SIZE;
    if(*iter == bufferA_End)
        *iter = _bufferB;
    else if(*iter == bufferB_End)
        *iter = _bufferA;
}
```

```
volatile bool wasBusyReleased = true;
volatile bool timeout = false;
```

```

//////////
/////  UTILITIES  /////
//////////

void forcePUCReset() {
    HWREG16(WDT_A_BASE + OFS_WDTCTL) = 0xFFFF; // Force PUC reset by writing bad
    WDT password.
}

uint8_t min(uint32_t a, uint8_t b) {
    if(a<b)
        return a;
    return b;
}

bool isEqualStr( volatile char *p1, volatile char *p2, uint32_t size ) {
    char i;
    for(i = 0; i<size; i++ ) {
        if(*p1 != *p2)
            break;
        p1++;
        handleBufferOverflow(&p1);
        p2++;
        handleBufferOverflow(&p2);
        if(i==size-1)
            return true;
    }
    return false;
}

//////////
/////  TIMER  /////
//////////

void startTimeoutCounter() { Timer_A_startCounter(TIMER_A1_BASE, TIMER_A_UP_MODE);
}
void setTimeoutCompareValue(uint16_t compareValue) {
    Timer_A_setCompareValue(TIMER_A1_BASE, TIMER_A_CAPTURECOMPARE_REGISTER_0,
    compareValue); }
void stopTimeoutCounter() { Timer_A_stop(TIMER_A1_BASE); }
void resetTimeoutCounter() { Timer_A_clear(TIMER_A1_BASE); }
void setTimeoutForMinutes(uint16_t mins) { setTimeoutCompareValue(mins*40); }

//////////
/////  SETUP FUNCTIONS  /////
//////////

int _system_pre_init(void) {
    WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD;
    return 1;
}

void setupLeds() {
    GPIO_setAsOutputPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN0 ); // Green LED
    GPIO_setOutputLowOnPin(GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN0); // Turn off green LED
    GPIO_setAsOutputPin( GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6 ); // Red LED
    GPIO_setOutputLowOnPin(GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6); // Turn off red LED
}

```

```

void setupPowerControlSignals() {
    GPIO_setAsOutputPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN5 );
    GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN5 );
    GPIO_setAsOutputPin( GPIO_PORT_P3, GPIO_PIN0 );
    GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P3, GPIO_PIN0 );
}

void powerUpWiFiModule() { GPIO_setOutputLowOnPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN5 ); }

void shutDownWiFiModule() { GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN5 ); }

void powerUpDisplay() {
    wasBusyReleased = false;
    GPIO_setOutputLowOnPin( GPIO_PORT_P3, GPIO_PIN0 );
    while( !wasBusyReleased );
}

void shutDownDisplay() { GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P3, GPIO_PIN0 ); }

void setupBusyInputSignal() {
    // Busy signal. Active low, ends on Low to High Transition.
    GPIO_setAsInputPinWithPullUpResistor( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN4 );
    GPIO_selectInterruptEdge( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN4, GPIO_LOW_TO_HIGH_TRANSITION
);
    GPIO_clearInterrupt( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN4 );
    GPIO_enableInterrupt( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN4 );
}

void setupClocks() {
    //Set DCO frequency to max DCO setting. TODO: Is it really maximum? Review
    this.
    CS_setDCOFreq( CS_DCORSEL_1, CS_DCOFSEL_3 ); // 8 MHz
    CS_initClockSignal( CS_ACLK, CS_VLOCLK_SELECT, CS_CLOCK_DIVIDER_32 ); // 312
    Hz
    CS_initClockSignal( CS_MCLK, CS_DCOCLK_SELECT, CS_CLOCK_DIVIDER_2 ); // 4 MHz
    CS_initClockSignal( CS_SMCLK, CS_DCOCLK_SELECT, CS_CLOCK_DIVIDER_2 ); // 4 MHz
}

void setupSpiPins() {
    //// Configure SPI pins at EUSCI_B0 ////
    // Set Pin 1.6, 1.7 to input Secondary Module Function (UCB0TXD/UCB0SIMO,
    UCB0RXD/UCB0SOMI).
    GPIO_setAsPeripheralModuleFunctionInputPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN6 +
    GPIO_PIN7,
                                                GPIO_SECONDARY_MODULE_FUNCTION );
    // Set Pin 2.2 to input Secondary Module Function, (UCB0CLK).
    GPIO_setAsPeripheralModuleFunctionInputPin( GPIO_PORT_P2, GPIO_PIN2,
                                                GPIO_SECONDARY_MODULE_FUNCTION );
    // Set Pin 1.3 to output to use as Chip Select
    GPIO_setAsOutputPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN3 );
    GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN3 );
}

void setupSpiConfig() {
    //Initialize Master
    uint32_t a = CS_getSMCLK();
    uint32_t b = CS_getMCLK();
}

```

```

uint32_t c = CS_getACLK();
EUSCI_B_SPI_initMasterParam param = {0};
param.selectClockSource = EUSCI_B_SPI_CLOCKSOURCE_SMCLK;
param.clockSourceFrequency = CS_getSMCLK();
param.desiredSpiClock = 500000;
param.msbFirst = EUSCI_B_SPI_MSB_FIRST;
param.clockPhase =
EUSCI_B_SPI_PHASE_DATA_CHANGED_ONFIRST_CAPTURED_ON_NEXT;
param.clockPolarity = EUSCI_B_SPI_CLOCKPOLARITY_INACTIVITY_HIGH;
param.spiMode = EUSCI_B_SPI_3PIN;
EUSCI_B_SPI_initMaster( EUSCI_B0_BASE, &param );
}

void enableSpi() {
    EUSCI_B_SPI_enable(EUSCI_B0_BASE);    //Enable SPI module
    __delay_cycles(500);    //Wait for slave to initialize
}

void disableSpi() { EUSCI_B_SPI_disable(EUSCI_B0_BASE); }

void setupUartPins() {
    // Configure UART pins
    // Set Pin 1.6, 1.7 to input Secondary Module Function (UCA1TXD/UCA1SIMO,
    UCA1RXD/UCA1SOMI).
    GPIO_setAsPeripheralModuleFunctionInputPin( GPIO_PORT_P2,
                                                GPIO_PIN5 + GPIO_PIN6,
                                                GPIO_SECONDARY_MODULE_FUNCTION );
}

void setupUartConfig() {
    // Configure UART
    EUSCI_A_UART_initParam param = {0};
    param.selectClockSource = EUSCI_A_UART_CLOCKSOURCE_SMCLK;
    param.clockPrescaler = 2;
    param.firstModReg = 2;
    param.secondModReg = 0xBB;
    param.parity = EUSCI_A_UART_NO_PARITY;
    param.msborLsbFirst = EUSCI_A_UART_LSB_FIRST;
    param.numberofStopBits = EUSCI_A_UART_ONE_STOP_BIT;
    param.uartMode = EUSCI_A_UART_MODE;
    param.overSampling = EUSCI_A_UART_OVERSAMPLING_BAUDRATE_GENERATION;

    if (STATUS_FAIL == EUSCI_A_UART_init(EUSCI_A1_BASE, &param))
        while(true); // x*2
}

void enableUart() {
    EUSCI_A_UART_enable(EUSCI_A1_BASE);
    __delay_cycles(100);    //Wait for slave to initialize
}

void disableUart() { EUSCI_A_UART_disable(EUSCI_A1_BASE); }

void enableUartRxInterrupt() {
    EUSCI_A_UART_clearInterrupt(EUSCI_A1_BASE,
                               EUSCI_A_UART_RECEIVE_INTERRUPT);
    EUSCI_A_UART_enableInterrupt(EUSCI_A1_BASE,

```

```

EUSCI_A_UART_RECEIVE_INTERRUPT);
}

#define COMPARE_VALUE 7 //0.205s * (COMPARE_VALUE+1) ~ 1.20ms

void setupTimer() {
    //Start timer in continuous mode sourced by SMCLK
    Timer_A_initContinuousModeParam initContParam = {0};
    initContParam.clockSource = TIMER_A_CLOCKSOURCE_ACLK;
    initContParam.clockSourceDivider = TIMER_A_CLOCKSOURCE_DIVIDER_64;
    initContParam.timerInterruptEnable_TAIE = TIMER_A_TAIE_INTERRUPT_DISABLE;
    initContParam.timerClear = TIMER_A_DO_CLEAR;
    initContParam.startTimer = false;
    Timer_A_initContinuousMode(TIMER_A1_BASE, &initContParam);

    //Initialize compare mode
    Timer_A_clearCaptureCompareInterrupt(TIMER_A1_BASE,
    TIMER_A_CAPTURECOMPARE_REGISTER_0);

    Timer_A_initCompareModeParam initCompParam = {0};
    initCompParam.compareRegister = TIMER_A_CAPTURECOMPARE_REGISTER_0;
    initCompParam.compareInterruptEnable =
    TIMER_A_CAPTURECOMPARE_INTERRUPT_ENABLE;
    initCompParam.compareOutputMode = TIMER_A_OUTPUTMODE_OUTBITVALUE;
    initCompParam.compareValue = COMPARE_VALUE;
    Timer_A_initCompareMode(TIMER_A1_BASE, &initCompParam);
}

////////////////////
/////  UART WRITE FUNCTIONS  /////
////////////////////

volatile uint8_t uartTxPendingBytes = 0;
volatile char * uartTxNextBytePtr;
volatile bool uartTxTransmissionInPlace = false;

// This method is first called from the main thread, and then
// consecutively called from interruption requests until message is completely
// sent.
void uartTxSendNextByteIfAny() {
    if( uartTxPendingBytes != 0 ){
        uartTxPendingBytes--;
        uartTxNextBytePtr++;
        // Important. Next instruction must be kept by the end of the function or
        // it might get interrupted by next call when invoked from non
        // interruption code.
        EUSCI_A_UART_transmitData(EUSCI_A1_BASE, *(uartTxNextBytePtr-1));
    } else {
        uartTxTransmissionInPlace = false;
    }
}

void startUartWrite() {
    // Enable TX interrupt and wait till buffer is ready
    EUSCI_A_UART_enableInterrupt( EUSCI_A1_BASE, EUSCI_A_UART_TRANSMIT_INTERRUPT
);
    while( EUSCI_A_UART_queryStatusFlags( EUSCI_A1_BASE, EUSCI_A_UART_BUSY ) );
}

```

```

void endUartWrite() {
    // Disable TX interrupt
    EUSCI_A_UART_disableInterrupt(EUSCI_A1_BASE, EUSCI_A_UART_TRANSMIT_INTERRUPT
);
    EUSCI_A_UART_clearInterrupt( EUSCI_A1_BASE, EUSCI_A_UART_TRANSMIT_INTERRUPT );
}

void writeUartMessage( char *msg, uint8_t msgSize ) {
    startUartWrite();
    uartTxPendingBytes = msgSize;
    uartTxNextBytePtr = msg;
    uartTxTransmissionInPlace = true;
    uartTxSendNextByteIfAny();
    while(uartTxTransmissionInPlace);
    endUartWrite();
}

char AT[4] = "AT\r\n";
char RESET[8] = "AT+RST\r\n";
char CLIENT_MODE[17] = "AT+CWMODE_CUR=1\r\n";
//char HOTSPOT_CONNECT[42] = "AT+CWJAP_CUR=\"Nahuel Android\", \"66666666\" \r\n";
char HOTSPOT_CONNECT[50] = "AT+CWJAP_CUR=\"PochiNet 0.5
\", \"prohibidofumar247\" \r\n";
char SERVER_CONNECT[46] = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"057a455d3c9d.ngrok.io\", 80\r\n";
char IMAGE_SEND_REQUEST[15] = "AT+CIPSEND=69\r\n";
char LAST_IMAGE_GET_REQUEST[69] = "GET /aula115/get_last_image HTTP/1.1\r\nHost:
057a455d3c9d.ngrok.io\r\n\r\n";
char NEXT_IMAGE_GET_REQUEST[69] = "GET /aula115/get_next_image HTTP/1.1\r\nHost:
057a455d3c9d.ngrok.io\r\n\r\n";

char OK[4] = "OK\r\n";
char CLOSED[8] = "CLOSED\r\n";
char ERROR[7] = "ERROR\r\n";
char DISCONNECT[12] = "DISCONNECT\r\n";
char READY[7] = "ready\r\n";

bool isOK( volatile char * ptr ) { return isEqualStr(ptr, OK, sizeof(OK)); }
bool isCLOSED( volatile char * ptr ) { return isEqualStr(ptr, CLOSED,
sizeof(CLOSED)); }
bool isERROR( volatile char * ptr ) { return isEqualStr(ptr, ERROR,
sizeof(ERROR)); }
bool isDISCONNECT( volatile char * ptr ) { return isEqualStr(ptr, DISCONNECT,
sizeof(DISCONNECT)); }
bool isReady( volatile char * ptr ) { return isEqualStr(ptr, READY,
sizeof(READY)); }

void espPingAT( volatile char ** bufferEnd ) {
    writeUartMessage(AT, sizeof(AT));
    while(!isOK((( *bufferEnd)-sizeof(OK))));
}

void espWaitForConnection( volatile char ** bufferEnd ) {
    // GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6 ); // Turn on red led
    timeout = false;
    startTimeoutCounter();
    writeUartMessage(AT, sizeof(AT));
    while(!isOK((( *bufferEnd)-sizeof(OK))));
}

```

```

        if(timeout){
            writeUartMessage(AT, sizeof(AT));
//            GPIO_toggleOutputOnPin(GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6);           // Toggle
red led
            timeout = false;
        }
    }
    stopTimeoutCounter();
    resetTimeoutCounter();
    timeout = false;
//    GPIO_setOutputLowOnPin(GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6);           // Turn off red led
}

void bufferTimeout( volatile char ** bufferEnd, uint8_t cyclesToTimeout ) {
    volatile char * initPos = *bufferEnd;
//    GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6 );           // Turn on red led
    timeout = false;
    uint8_t timerCycles = 0;
    startTimeoutCounter();
    while(timerCycles<cyclesToTimeout){
        if((*bufferEnd) != initPos){
            resetTimeoutCounter();
            timeout = false;
            timerCycles = 0;
            initPos = *bufferEnd;
        }
        if(timeout){
            resetTimeoutCounter();
            timeout = false;
            timerCycles++;
//            GPIO_toggleOutputOnPin(GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN0); // Toggle green led
        }
    }
    stopTimeoutCounter();
    resetTimeoutCounter();
    timeout = false;
//    GPIO_setOutputLowOnPin(GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6);           // Turn off red led
//    GPIO_setOutputLowOnPin(GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN0);           // Turn off green
led
}

void espReset( volatile char ** bufferEnd ) {
    volatile char * initPos = *bufferEnd;
    writeUartMessage(RESET, sizeof(RESET));
    while((*bufferEnd)==initPos);
    while(!isReady(((*bufferEnd)-sizeof(READY))));
}

void espClientMode( volatile char ** bufferEnd ) {
    volatile char * initPos = *bufferEnd;
    writeUartMessage(CLIENT_MODE, sizeof(CLIENT_MODE));
    while((*bufferEnd)==initPos);
    while(!isOk(((*bufferEnd)-sizeof(OK))));
}

void espHotspotConnect( volatile char ** bufferEnd ) {
    volatile char * initPos;

```

```

while(1){
    initPos = *bufferEnd;
    writeUartMessage(HOTSPOT_CONNECT, sizeof(HOTSPOT_CONNECT));
    while((*bufferEnd)==initPos);
    while(1){
        if(isOK((( *bufferEnd)-sizeof(OK))))
            return;
        if(isDISCONNECT((( *bufferEnd)-sizeof(DISCONNECT)))) {
            __delay_cycles(500);
            break;
        }
    }
}

}

void espServerConnect( volatile char ** bufferEnd ) {
    volatile char * initPos;
    while(1){
        initPos = *bufferEnd;
        writeUartMessage(SERVER_CONNECT, sizeof(SERVER_CONNECT));
        while((*bufferEnd)==initPos);
        while(1){
            if(isOK((( *bufferEnd)-sizeof(OK))))
                return;
            if(isCLOSED((( *bufferEnd)-sizeof(CLOSED))))
                break;
        }
    }
}

void espImageSendRequest( volatile char ** bufferEnd ) {
    volatile char * initPos;
    while(1){
        espServerConnect(bufferEnd);
        rawWriter = _bufferA;
        initPos = *bufferEnd;
        writeUartMessage(IMAGE_SEND_REQUEST, sizeof(IMAGE_SEND_REQUEST));
        while((*bufferEnd)==initPos);
        while(1){
            if(isOK(( *bufferEnd)-sizeof(OK)) || isOK(( *bufferEnd)-sizeof(OK)-1))
                return;
            if(isERROR((( *bufferEnd)-sizeof(ERROR)))){
                initPos += 1;
                break;
            }
        }
    }
}

void espGetImage( volatile char ** bufferEnd ) {
    volatile char * initPos;
    initPos = *bufferEnd;
    espImageSendRequest(bufferEnd);
    if(succesfullyPrinted){
        succesfullyPrinted = false;
        writeUartMessage(NEXT_IMAGE_GET_REQUEST, sizeof(NEXT_IMAGE_GET_REQUEST));
    }
    else{

```

```

        writeUartMessage(LAST_IMAGE_GET_REQUEST, sizeof(LAST_IMAGE_GET_REQUEST));
    }
    while((*bufferEnd)<initPos+48000);
    bufferTimeout(bufferEnd, 1);
}

uint16_t sleepTime = 10;

void uartTalk(volatile char ** writer) {
    powerUpWiFiModule();
    __delay_cycles(500);
    espWaitForConnection(writer);
    __delay_cycles(500);
    espReset(writer);
    __delay_cycles(500);
    espClientMode(writer);
    __delay_cycles(500);
    espHotspotConnect(writer);
    __delay_cycles(500);
    espGetImage(writer);
    shutDownWiFiModule();
}

////////////////////
/////  SPI WRITE FUNCTIONS  /////
////////////////////

volatile uint8_t spiTxPendingBytes = 0;
volatile char * spiTxNextBytePtr;
volatile bool spiTxTransmissionInPlace = false;

// This method is first called from the main thread, and then
// consecutively called from interruption requests until message is completely
// sent.
void spiTxSendNextByteIfAny() {
    if( spiTxPendingBytes != 0 ){
        spiTxPendingBytes--;
        spiTxNextBytePtr++;
        // Important. Next instruction must be kept by the end of the function or
        // it might get interrupted by next call when invoked from non
        // interruption code.
        EUSCI_B_SPI_transmitData(EUSCI_B0_BASE, *(spiTxNextBytePtr-1));
    } else {
        spiTxTransmissionInPlace = false;
    }
}

// startSPIWrite and endSPIWrite methods should be called before and after this
// one
// to setup and tear down TX configurations respectively.
void writeSPIMessage( char *msg, uint8_t msgSize ) {
    spiTxPendingBytes = msgSize;
    spiTxNextBytePtr = msg;
    spiTxTransmissionInPlace = true;
    spiTxSendNextByteIfAny();
    while(spiTxTransmissionInPlace);
}

void startSPIWrite() {

```

```

    GPIO_setOutputLowOnPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN3 );           // Set
    Chip_select signal active.
    //TODO: For higher MCLK frequencies, check if a sleep is necessary here to
    comply with TCM timings.
    // Enable TX interrupt and wait till buffer is ready
    EUSCI_B_SPI_enableInterrupt( EUSCI_B0_BASE, EUSCI_B_SPI_TRANSMIT_INTERRUPT );
    while( EUSCI_B_SPI_isBusy( EUSCI_B0_BASE ) );
}

void endSPIWrite() {
    // Disable TX interrupt
    EUSCI_B_SPI_disableInterrupt(EUSCI_B0_BASE, EUSCI_B_SPI_TRANSMIT_INTERRUPT );
    EUSCI_B_SPI_clearInterrupt( EUSCI_B0_BASE, EUSCI_B_SPI_TRANSMIT_INTERRUPT );
    //TODO: For higher MCLK frequencies, check if a sleep is necessary here to
    comply with TCM timings.
    GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN3 );           // Reset
    Chip_select signal to inactive.
}

void writeSPIMessageAndWaitForBusy( char *msg, uint8_t msgSize ) {
    wasBusyReleased = false;
    startSPIWrite();
    writeSPIMessage( msg, msgSize );
    endSPIWrite();
    // GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6 );           // Turn on red led
    while( !wasBusyReleased );
    // GPIO_setOutputLowOnPin( GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6 );           // Turn off red led
    //TODO: For higher MCLK frequencies, check if a sleep is necessary here to
    comply with TCM timings.
}

void write2SPIMessagesAndWaitForBusy( char *msg1, uint8_t msgSize1, char *msg2,
uint8_t msgSize2 ) {
    wasBusyReleased = false;
    startSPIWrite();
    writeSPIMessage( msg1, msgSize1 );
    writeSPIMessage( msg2, msgSize2 );
    endSPIWrite();
    // GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6 );           // Turn on red led
    while( !wasBusyReleased );
    // GPIO_setOutputLowOnPin( GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6 );           // Turn off red led
    //TODO: For higher MCLK frequencies, check if a sleep is necessary here to
    comply with TCM timings.
}

////////////////////////////////////
///// SPI READ FUNCTIONS  /////
////////////////////////////////////

volatile uint8_t RXPendingBytes = 0;
volatile char * RXNextBytePtr;
volatile bool RXReadInPlace = false;

void RXReadNextByte() {
    *RXNextBytePtr = EUSCI_B_SPI_receiveData(EUSCI_B0_BASE);
    if( RXPendingBytes != 0 ){
        RXPendingBytes--;
        RXNextBytePtr++;
    }
}

```

```

        while( EUSCI_B_SPI_isBusy( EUSCI_B0_BASE ) );
        EUSCI_B_SPI_transmitData(EUSCI_B0_BASE, 0x00);
    } else {
        RXReadInPlace = false;
    }
}

void startSPIRead() {
    GPIO_setOutputLowOnPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN3 );           // Set
    Chip select signal active.
    // Clear receive interrupt flag and enable USCI_B0 RX interrupt
    EUSCI_B_SPI_clearInterrupt( EUSCI_B0_BASE, EUSCI_B_SPI_RECEIVE_INTERRUPT );
    EUSCI_B_SPI_enableInterrupt( EUSCI_B0_BASE, EUSCI_B_SPI_RECEIVE_INTERRUPT );
}

void endSPIRead() {
    // Disable USCI_B0 RX interrupt
    EUSCI_B_SPI_disableInterrupt( EUSCI_B0_BASE, EUSCI_B_SPI_RECEIVE_INTERRUPT );
    GPIO_setOutputHighOnPin( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN3 );         // Reset
    Chip select signal to inactive.
}

void readSPIMessage( char *msg, uint8_t msgSize ) {
    RXPendingBytes = msgSize;
    RXNextBytePtr = msg;
    RXReadInPlace = true;
    startSPIRead();
    EUSCI_B_SPI_transmitData(EUSCI_B0_BASE, 0x00);
    while(RXReadInPlace);
    endSPIRead();
}

//////////
/////  SPI READ-WRITE INSTRUCTIONS  /////
//////////

char OK_RESPONSE[2] = {0x90, 0x00};

void getDeviceId( char * response ) {
    char message[4] = {0x30, 0x01, 0x01, 0x00};
    writeSPIMessageAndWaitForBusy(message, 4);
    readSPIMessage(response, 28);
}

void assertResponse( char * response ) {
    if(response[0]!=OK_RESPONSE[0] || response[1]!=OK_RESPONSE[1])
        while( true );
}

char response[2] = "";
void displayUpdate() {
    char message[3] = {0x24, 0x01, 0x00}; // DISPLAY_UPDATE
    writeSPIMessageAndWaitForBusy(message, 3);
    readSPIMessage(response, 2);
    assertResponse(response);
}

void resetDataPointer() {
    char message[3] = {0x20, 0x0D, 0x00};

```

```

writeSPIMessageAndWaitForBusy(message, 3);
readSPIMessage(response, 2);
assertResponse(response);
}

void uploadImageData(char * data, uint8_t dataSize ) {
    char response[2] = "";
    char header[4] = {0x20, 0x01, 0x00};
    header[3] = dataSize;
    write2SPIMessagesAndWaitForBusy(header, 4, data, dataSize);
    readSPIMessage(response, 2);
    assertResponse(response);
}

char EPD_HEADER[16] = {0x3A, 0x01, 0xE0, 0x03, 0x20, 0x01, 0x04, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00};
void writeEDPHeader(){ uploadImageData(EPD_HEADER, 16); }

void displayBuffers(char * buffer1, char * end1, char * buffer2, char * end2) {
    uint8_t lineSize;
    resetDataPointer();
    writeEDPHeader();
    while(buffer1 != end1) {
        lineSize = min(end1 - buffer1, 60);
        uploadImageData(buffer1, lineSize);
        buffer1 += lineSize;
    }
    while(buffer2 != end2) {
        lineSize = min(end2 - buffer2, 60);
        uploadImageData(buffer2, lineSize);
        buffer2 += lineSize;
    }
    displayUpdate();
}

void displayWaitForConnection() {
    char message[4] = {0x30, 0x01, 0x01, 0x00};
    char response[27] = "";
    // GPIO_setOutputHighOnPin(GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6); // Turn on red led
    // GPIO_setOutputHighOnPin(GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN0); // Turn on green led
    timeout = true;
    startTimeoutCounter();
    while(true){
        if(timeout){
            wasBusyReleased = false;
            startSPIWrite();
            writeSPIMessage(message, sizeof(message));
            endSPIWrite();
            // GPIO_toggleOutputOnPin(GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6); // Toggle
red led
            timeout = false;
        }
        if(wasBusyReleased){
            readSPIMessage(response, 27);
            wasBusyReleased = false;
            if(response[25]==OK_RESPONSE[0] && response[26]==OK_RESPONSE[1])
                break;
        }
    }
}

```

```

    }
    stopTimeoutCounter();
    resetTimeoutCounter();
    timeout = false;
//    GPIO_setOutputLowOnPin(GPIO_PORT_P4, GPIO_PIN6);           // Turn off red led
//    GPIO_setOutputLowOnPin(GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN0);           // Turn off green
led
}

////////////////////////////////////
//////  MAIN THREAD  //////////
////////////////////////////////////

uint32_t expectedLen = 1948;
char IPD[7] = "\r\n+IPD,";
char RNRN[4] = "\r\n\r\n";
char SLEEP_TIME_HEADER[12] = "sleep-time: ";
char IPDEnd = ':';

bool isIPD( volatile char * ptr ) { return isEqualStr(ptr, IPD, sizeof(IPD)); }
bool isRNRN( volatile char * ptr ) { return isEqualStr(ptr, RNRN, sizeof(RNRN)); }
bool isSleepTimeHeader( volatile char * ptr ) { return isEqualStr(ptr,
SLEEP_TIME_HEADER, sizeof(SLEEP_TIME_HEADER)); }

void skipTillIPDEnd( volatile char ** pp, volatile char * end ) {
    while(!isIPD(*pp) && *pp<end) {
        (*pp)++;
        handleBufferOverflow(pp);
    }
    while(*pp!=IPDEnd && *pp<end) {
        (*pp)++;
        handleBufferOverflow(pp);
    }
    (*pp)++;
    handleBufferOverflow(pp);
}

void skipTillRNRNEnd( volatile char ** pp, volatile char * end ) {
    volatile char * endOfRNRN;
    while(!isRNRN(*pp) && *pp<end) {
        (*pp)++;
        handleBufferOverflow(pp);
    }
    endOfRNRN = (*pp) + sizeof(RNRN);
    while(*pp<endOfRNRN && *pp<end) {
        (*pp)++;
        handleBufferOverflow(pp);
    }
}

void skipTillSleepTimeHeaderEnd( volatile char ** pp, volatile char * end ) {
    volatile char * endOfHeader;
    while(!isSleepTimeHeader(*pp) && *pp<end) {
        (*pp)++;
        handleBufferOverflow(pp);
    }
    endOfHeader = (*pp) + sizeof(SLEEP_TIME_HEADER);
}

```

```

    while(*pp<endOfHeader && *pp<end) {
        (*pp)++;
        handleBufferOverflow(pp);
    }
}

void retrieveSleepTime(volatile char * reader, volatile char * end){
    skipTillSleepTimeHeaderEnd(&reader, end);
    sleepTime = 0;
    while((*reader)>='0' && (*reader)<='9'){
        sleepTime *= 10;
        sleepTime += ((*reader)-48);
        reader++;
    }
}

void cleanIPDWrappers(volatile char * reader, volatile char * writer, volatile
char * end) {
    skipTillIPDEnd(&reader, end);
    skipTillRNRNEnd(&reader, end);
    while(reader<end) {
        *(writer++) = *(reader++);
        handleBufferOverflow(&reader);
        handleBufferOverflow(&writer);
        if(isIPD(reader))
            skipTillIPDEnd(&reader, end);
        if(isRNRN(reader))
            skipTillRNRNEnd(&reader, end);
    }
    if(writer != _bufferB + (48000-BUFFER_A_SIZE))
        forcePUCReset(); // Bits lost on UART communication
    return;
}

bool isSleeping = false;
uint8_t wakeUpCounter = 0;

void main(void) {
    WDT_A_hold(WDT_A_BASE); //Stop watch-dog timer
    HWREG16(MPU_BASE + OFS_MPUCTL0) = MPUPW; //Disable MPU (Memory Protection
Unit)
    setupClocks();
    WDT_A_initWatchdogTimer(WDT_A_BASE,
                           WDT_A_CLOCKSOURCE_VLOCLK,
                           WDT_A_CLOCKDIVIDER_512K); // ~52 seconds.
    WDT_A_start(WDT_A_BASE);
    setupLeds();
    setupPowerControlSignals();
    setupBusyInputSignal();
    setupSpiPins();
    setupUartPins();
    setupTimer();

    /* Disable the GPIO power-on default high-impedance mode to activate
    previously configured port settings */
    PMM_unlockLPM5();
    setupSpiConfig();
    setupUartConfig();
}

```

```

__bis_SR_register(GIE);          // Enable interrupts

enableUart();
enableUartRxInterrupt();
uartTalk(&rawWriter);
disableUart();

WDT_A_resetTimer(WDT_A_BASE);
retrieveSleepTime(_bufferA, rawWriter);
if(!sleepTime)
    sleepTime = 1;
cleanIPDWrappers(_bufferA, _bufferA, rawWriter);

enableSpi();
// powerUpDisplay();
displayWaitForConnection();
displayBuffers(_bufferA, _bufferA+BUFFER_A_SIZE, _bufferB, _bufferB+3000);
successfullyPrinted = true;
// shutDownDisplay();
disableSpi();

timeout = false;
stopTimeoutCounter();
resetTimeoutCounter();
setTimeoutForMinutes(sleepTime);
startTimeoutCounter();
WDT_A_hold(WDT_A_BASE); //Stop watch-dog timer
isSleeping = true;
while(isSleeping) {
    wakeUpCounter++;
    LPM3;
}
stopTimeoutCounter();
resetTimeoutCounter();

forcePUCReset();

while(1);
}

////////////////////////////////////
/////  INERRUPT SERVICE ROUTINES  /////
////////////////////////////////////

#if defined(__TI_COMPILER_VERSION__) || defined(__IAR_SYSTEMS_ICC__)
#pragma vector=USCI_A1_VECTOR
__interrupt
#elif defined(__GNUC__)
__attribute__((interrupt(USCI_A1_VECTOR)))
#endif
void USCI_A1_ISR(void)
{
    switch(__even_in_range(UCA1IV,USCI_UART_UCTXCPITIFG))
    {
        case USCI_NONE: break;
        case USCI_UART_UCRXIFG:
            *(rawWriter++) = EUSCI_A_UART_receiveData(EUSCI_A1_BASE);
    }
}

```

```

        handleBufferOverflow(&rawWriter);
        break;
    case USCI_UART_UCTXIFG:
        uartTxSendNextByteIfAny();
        break;
    case USCI_UART_UCSTTIFG: break;
    case USCI_UART_UCTXCPTIFG: break;
}
}

#if defined(__TI_COMPILER_VERSION__) || defined(__IAR_SYSTEMS_ICC__)
#pragma vector=USCI_B0_VECTOR
__interrupt
#elif defined(__GNUC__)
__attribute__((interrupt(USCI_B0_VECTOR)))
#endif
void USCI_B0_ISR (void) {
    switch (__even_in_range(UCB0IV,4)){
        //Vector 2 - RXIFG
        case 2:
            RXReadNextByte();
            break;
        //Vector 4 - TXIFG
        case 4:
            spiTxSendNextByteIfAny();
            break;
        default: break;
    }
}

////////////////////////////////////////////////////
// Busy input signal release detection //
////////////////////////////////////////////////////
#if defined(__TI_COMPILER_VERSION__) || defined(__IAR_SYSTEMS_ICC__)
#pragma vector=PORT1_VECTOR
__interrupt
#elif defined(__GNUC__)
__attribute__((interrupt(PORT1_VECTOR)))
#endif
void Port_1 (void) { //P1.4 IFG cleared
    GPIO_clearInterrupt( GPIO_PORT_P1, GPIO_PIN4 );
    wasBusyReleased = true;
}

//*****
//This is the TIMER1_A0 interrupt vector service routine.
//*****
#if defined(__TI_COMPILER_VERSION__) || defined(__IAR_SYSTEMS_ICC__)
#pragma vector=TIMER1_A0_VECTOR
__interrupt
#elif defined(__GNUC__)
__attribute__((interrupt(TIMER1_A0_VECTOR)))
#endif
void TIMER1_A0_ISR (void) {
    if(isSleeping){
        LPM3_EXIT;
        isSleeping = false;
    }
}

```

```
    timeout = true;  
}
```

26.2 Código para descarga de actividades

Este código se conecta a Aulamática, el sistema del ITBA para gestionar las actividades en las aulas, y descarga la información necesaria.

```
import pandas as pd
import datetime

#
https://docs.google.com/a/itba.edu.ar/spreadsheets/d/1_lY3hLeWMYrtjWD5ut5bYcar93kIH
pemb8WDrip_dH0/pubhtml?gid=23803259&single=true&range=A1:AH50&output=html&chrome=fa
lse
#
https://docs.google.com/a/itba.edu.ar/spreadsheets/d/1_lY3hLeWMYrtjWD5ut5bYcar93kIH
pemb8WDrip_dH0/pubhtml?gid=790739902&single=true&range=B3:CQ40&output=html&chrome=f
alse

class RoomsTable:
    RAW_LINK =
    'https://docs.google.com/a/itba.edu.ar/spreadsheets/d/1_lY3hLeWMYrtjWD5ut5bYcar93kI
Hpemb8WDrip_dH0/' \
    'pubhtml?gid=790739902&single=true&output=html&chrome=false'
    CELL_RANGE = 'B3:CQ40'

    def __init__(self):
        self.link = None
        self.table = None
        self.namesRow = None
        self.roomColumns = None
        self.timeColumn = None
        self.timeRows = None

    def fetch(self):
        self._generateLink()
        self._retrieveTable()
        self._findNamesRow()
        self._getRoomColumns()
        self._findTimeColumn()
        self._getTimeRows()
        return self

    def _generateLink(self):
        self.link = self.RAW_LINK + '&range={}'.format(self.CELL_RANGE)

    def _retrieveTable(self):
        self.table = pd.read_html(self.link, na_values='baa',
keep_default_na=False)[0]

    def _findNamesRow(self):
        for row in range(len(self.table)):
            if sum(['aula' in x.lower() for x in self.table.iloc[row].to_list() if
isinstance(x, str)]) > 5:
                break
            else:
                raise Exception('could not identify the row with the classroom names.')
        self.namesRow = row

    def _getRoomColumns(self):
        roomSeries = self.table.iloc[self.namesRow]
        roomSeries = roomSeries[roomSeries.apply(lambda x: bool(isinstance(x, str)
and x))]
        self.roomColumns = {v.strip('Aula:').strip(): k for k, v in
```

```

roomSeries.items() }

def _findTimeColumn(self):
    for col in self.table.columns:
        if sum([':00' in str(x) for x in self.table[col].to_list()]) > 5:
            break
    else:
        raise Exception('could not identify the column with the times.')
    self.timeColumn = col

def _getTimeRows(self):
    timeSeries = self.table[self.timeColumn]
    timeSeries = timeSeries[timeSeries.apply(lambda x: bool(isinstance(x, str)
and x))]
    self.timeRows = {v: k for k, v in timeSeries.items()}

def getRoomNames(self):
    return list(self.roomColumns.keys())

def getRoomActivities(self, room):
    if room not in self.roomColumns.keys():
        raise Exception('Could not find room.')
    activitiesByTime = []
    roomCol = self.roomColumns[room]
    for timeStr, row in self.timeRows.items():
        activity = self.table[roomCol][row]
        time = datetime.datetime.strptime(timeStr, '%H:%M').time()
        activitiesByTime.append((time, activity))
    activitiesByTime.sort()
    return activitiesByTime

class RoomSchedule:
    def __init__(self, room, table):
        self.room = room
        self.table = table
        self.activities = table.getRoomActivities(self.room)
        self._compressActivities()

    def _compressActivities(self):
        compressedActivities = []
        for activity in self.activities:
            if compressedActivities and activity[1] == compressedActivities[-1][1]:
                continue
            compressedActivities.append(activity)
        self.activities = compressedActivities

    def getNextActivityTime(self, time):
        time = time or datetime.datetime.now().time()
        if time.strftime('%H:%M') >= '22:00':
            return datetime.time(8, 00, 00)
        for startTime, activity in self.activities:
            if time < startTime:
                return startTime
        return datetime.time(22, 00, 00)

    def getNextActivity(self, time=None):
        time = time or datetime.datetime.now().time()
        for startTime, activity in self.activities:
            if time < startTime:
                return activity
        return 'Aula libre'

    def getCurrentActivity(self, time):
        time = time or datetime.datetime.now().time()
        if time.strftime('%H:%M') >= '22:00':

```

```
        return 'Fin de las actividades'
    for startTime, activity in reversed(self.activities):
        if startTime <= time:
            return activity
    return 'Aula libre'

if __name__ == '__main__':
    from aulamaticaRetriever import RoomsTable
    r = RoomsTable().fetch()
    r.getRoomSchedule('152')
```

26.3 Código para estructurar imágenes

Este código define la estructura de las imágenes con información de las aulas y genera las imágenes a partir de la información de input.

```
from PIL import Image, ImageDraw, ImageFont
from datetime import datetime

class box:

    @classmethod
    def createFromCenterCoorAndSize(cls):
        pass

    def createFromCoors(cls):
        pass

    def __init__(self, coor1x, coor1y, coor2x, coor2y, ):
        self.coor1x = coor1x
        self.coor1y = coor1y
        self.coor2x = coor2x
        self.coor2y = coor2y

class ImageDrawer:
    # FONT_PATH = 'C:/Windows/Fonts/AGENCYR.TTF'
    # FONT_PATH = 'C:/Windows/Fonts/ANTQUAB.TTF'
    # FONT_PATH = 'C:/Windows/Fonts/BKANT.TTF'
    # FONT_PATH = 'C:/Windows/Fonts/TCM____.TTF'
    FONT_PATH = 'C:/Users/Nahuel/AppData/Local/Microsoft/Windows/Fonts/AVIAN.TTF'
    COUNTER_FONT_PATH = 'C:/Windows/Fonts/courbd.ttf'
    # FONT_PATH =
    'C:/Users/Nahuel/AppData/Local/Microsoft/Windows/Fonts/AvianBold.ttf'
    TIMESTAMP_FONT_SIZE = 24
    FONT_COLOR = (0, 0, 0)
    TIMESTAMP_FORMAT = 'Última actualización: %H:%M:%S %d/%m/%y'
    DATE_LOCATION = (15, 15)

    ONGOING_ZONE_TOP = 70
    ONGOING_ZONE_WIDTH = 800
    ONGOING_ZONE_HEIGHT = 90
    ONGOING_ZONE_HORIZONTAL_MARGIN = 12
    ONGOING_ZONE_VERTICAL_MARGIN = 16
    ONGOING_ZONE = (0, ONGOING_ZONE_TOP, ONGOING_ZONE_WIDTH - 1, ONGOING_ZONE_TOP +
    ONGOING_ZONE_HEIGHT - 1)
    ONGOING_WIDTH = ONGOING_ZONE_WIDTH - 2 * ONGOING_ZONE_HORIZONTAL_MARGIN
    ONGOING_HEIGHT = ONGOING_ZONE_HEIGHT - 2 * ONGOING_ZONE_VERTICAL_MARGIN

    NEXT_ZONE_TOP = ONGOING_ZONE_TOP + ONGOING_ZONE_HEIGHT
    NEXT_ZONE_WIDTH = 800
    NEXT_ZONE_HEIGHT = 80 #44
    NEXT_ZONE_HORIZONTAL_MARGIN = 12
    NEXT_ZONE_VERTICAL_MARGIN = 16
    NEXT_ZONE = (0, NEXT_ZONE_TOP, NEXT_ZONE_WIDTH - 1, NEXT_ZONE_TOP +
    NEXT_ZONE_HEIGHT - 1)
    NEXT_WIDTH = NEXT_ZONE_WIDTH - 2 * NEXT_ZONE_HORIZONTAL_MARGIN
    NEXT_HEIGHT = NEXT_ZONE_HEIGHT - 2 * NEXT_ZONE_VERTICAL_MARGIN

    COUNTER_ZONE_TOP = NEXT_ZONE_TOP + NEXT_ZONE_HEIGHT
    COUNTER_ZONE_WIDTH = 800
    COUNTER_ZONE_HEIGHT = 120
    COUNTER_ZONE_HORIZONTAL_MARGIN = 12
    COUNTER_ZONE_VERTICAL_MARGIN = 16
```

```

    COUNTER_ZONE = (0, COUNTER_ZONE_TOP, COUNTER_ZONE_WIDTH - 1, COUNTER_ZONE_TOP +
COUNTER_ZONE_HEIGHT - 1)
    COUNTER_WIDTH = COUNTER_ZONE_WIDTH - 2 * COUNTER_ZONE_HORIZONTAL_MARGIN
    COUNTER_HEIGHT = COUNTER_ZONE_HEIGHT - 2 * COUNTER_ZONE_VERTICAL_MARGIN

    LOGO_PATH = 'C:/Users/Nahuel/PycharmProjects/einkImagesMaker/logo-itba-2.png'
    LOGO_ZONE_WIDTH = 200
    LOGO_ZONE_HEIGHT = 70
    LOGO_ZONE_MARGIN = 6
    LOGO_ZONE = (800 - LOGO_ZONE_WIDTH, 0, 800 - 1, LOGO_ZONE_HEIGHT - 1) # Top
right corner
    LOGO_MAX_WIDTH = LOGO_ZONE_WIDTH - 2 * LOGO_ZONE_MARGIN
    LOGO_MAX_HEIGHT = LOGO_ZONE_HEIGHT - 2 * LOGO_ZONE_MARGIN

    LOW_BAT_PATH =
'C:/Users/Nahuel/PycharmProjects/einkImagesMaker/deadBattery.png'
    LOW_BAT_ZONE_WIDTH = 400
    LOW_BAT_ZONE_HEIGHT = 230
    LOW_BAT_ZONE_MARGIN = 6
    LOW_BAT_ZONE = (800 - LOW_BAT_ZONE_WIDTH, 230, 800 - 1, 230 +
LOW_BAT_ZONE_HEIGHT - 1)
    LOW_BAT_MAX_WIDTH = LOW_BAT_ZONE_WIDTH - 2 * LOW_BAT_ZONE_MARGIN
    LOW_BAT_MAX_HEIGHT = LOW_BAT_ZONE_HEIGHT - 2 * LOW_BAT_ZONE_MARGIN

    def __init__(self, img):
        self.img = img
        self.draw = ImageDraw.Draw(img)
        self.draw.fontmode = '1'
        self.logo = Image.open(self.LOGO_PATH, mode='r').convert('RGBA')

    def save(self, path):
        self.img.save(path)

    @staticmethod
    def getBiggerFittingFont(fontPath, text, maxSize):
        maxX, maxY = maxSize
        for s in range(1, 600):
            font = ImageFont.truetype(fontPath, s)
            sizeX, sizeY = font.getsize(text)
            if sizeX > maxX or sizeY > maxY:
                return ImageFont.truetype(fontPath, s - 1)
        return ImageFont.truetype(fontPath, s)

    def writeTimeStamp(self):
        timeStamp = datetime.now().strftime(self.TIMESTAMP_FORMAT)
        font = ImageFont.truetype(self.FONT_PATH, self.TIMESTAMP_FONT_SIZE)
        self.draw.text(self.DATE_LOCATION, timeStamp, font=font,
fill=self.FONT_COLOR)

    @staticmethod
    def _drawingLocationForCentered(width, height, zone):
        zx1, zy1, zx2, zy2 = zone
        x = min(zx1, zx2) + (abs(zx1 - zx2) + 1 - width) // 2
        y = min(zy1, zy2) + (abs(zy1 - zy2) + 1 - height) // 2
        return x, y

    def drawFrame(self):
        self.draw.rectangle((0, 0, self.img.width - 1, self.img.height - 1),
outline=(0, 0, 0))

    def drawLogo(self):
        self.logo.thumbnail((self.LOGO_MAX_WIDTH, self.LOGO_MAX_HEIGHT),
Image.NEAREST)
        # self.draw.rectangle(self.LOGO_ZONE, outline=(0,0,0))
        drawingCoor = self._drawingLocationForCentered(self.logo.width,
self.logo.height,

```

```

self.draw.bitmap(drawingCoor, self.logo, fill=(0, 0, 0))

self.LOGO_ZONE)

def drawLowBat(self):
    lowBatLogo = Image.open(self.LOW_BAT_PATH, mode='r').convert('RGBA')
    lowBatLogo.thumbnail((self.LOW_BAT_MAX_WIDTH, self.LOW_BAT_MAX_HEIGHT),
Image.NEAREST)
    # self.draw.rectangle(self.LOW_BAT_ZONE, outline=(0,0,0))
    drawingCoor = self._drawingLocationForCentered(lowBatLogo.width,
                                                    lowBatLogo.height,
                                                    self.LOW_BAT_ZONE)

    self.draw.bitmap(drawingCoor, lowBatLogo, fill=(0, 0, 0))

def writeOngoing(self, text):
    #self.draw.rectangle(self.ONGOING_ZONE, outline=(0, 0, 0))
    biggerFont = self.getBiggerFittingFont(self.FONT_PATH, text,
(self.ONGOING_WIDTH, self.ONGOING_HEIGHT))
    drawingCoor = self._drawingLocationForCentered(*biggerFont.getsize(text),
self.ONGOING_ZONE)
    a, b = biggerFont.getsize(text)
    c, d = drawingCoor
    # self.draw.rectangle([c,d,c+a,b+d], outline=(0, 0, 0))
    self.draw.text(drawingCoor, text, font=biggerFont, fill=self.FONT_COLOR)

def writeNext(self, text):
    # self.draw.rectangle(self.NEXT_ZONE, outline=(0, 0, 0))
    biggerFont = self.getBiggerFittingFont(self.FONT_PATH, text,
(self.NEXT_WIDTH, self.NEXT_HEIGHT))
    drawingCoor = self._drawingLocationForCentered(*biggerFont.getsize(text),
self.NEXT_ZONE)
    a, b = biggerFont.getsize(text)
    c, d = drawingCoor
    # self.draw.rectangle([c,d,c+a,b+d], outline=(0, 0, 0))
    self.draw.text(drawingCoor, text, font=biggerFont, fill=self.FONT_COLOR)

def writeCounter(self, count):
    text = ' {:04d} \ncycles'.format(count)
    # self.draw.rectangle(self.NEXT_ZONE, outline=(0, 0, 0))
    biggerFont = self.getBiggerFittingFont(self.COUNTER_FONT_PATH, text,
(self.COUNTER_WIDTH, self.COUNTER_HEIGHT))
    drawingCoor = self._drawingLocationForCentered(*biggerFont.getsize(text),
self.COUNTER_ZONE)
    a, b = biggerFont.getsize(text)
    c, d = drawingCoor
    # self.draw.rectangle([c,d,c+a,b+d], outline=(0, 0, 0))
    self.draw.text(drawingCoor, text, font=biggerFont, fill=self.FONT_COLOR)

```

26.4 Código para generar imágenes

Este código genera y guarda las imágenes a mostrar en la pantalla, ya sea con información de ejemplo o con data real descargada de Aulamática.

```
from PIL import Image
import random
from imageDrawer import ImageDrawer
from aulamaticaRetriever import RoomsTable, RoomSchedule

MATERIAS = ['22.49 Teoría de Circuitos',
            '22.51 Electrónica II',
            '22.58 Señales Aleatorias',
            '13.50 Matemática I',
            '13.51 Matemática II',
            '13.52 Matemática III',
            '13.53 Matemática IV',
            '13.55 Matemática V',
            '13.21 Métodos Numéricos',
            '14.01 Física I',
            '14.02 Física II',
            '14.03 Física III',
            '14.04 Física IV',
            '22.72 Control Discreto',
            '22.78 Análisis de señales y sistemas digitales',
            '22.11 Algoritmos y estructuras de datos',
            '18.02 Derecho para Ingenieros',
            '18.04 Economía para Ingenieros',
            '18.05 Macroeconomía',
            '17.11 Formación General I',
            '17.12 Formación General II',
            '17.13 Formación General III',
            '17.15 Formación para Emprendedores',
            '17.22 Organización Industrial',
            '17.23 Seguridad e Higiene Industrial',
            '17.09 Metodología del Aprendizaje',
            '23.09 Matemática Discreta',
            'Aula Libre'
            ]

def generateDemoImage(counter=1234, lowBat=False):
    materias = list(MATERIAS)
    img = Image.new('RGBA', (800, 480), color=(255, 255, 255))
    imgFabric = ImageDrawer(img)
    imgFabric.writeTimeStamp()
    imgFabric.drawFrame()
    imgFabric.drawLogo()
    if lowBat:
        imgFabric.drawLowBat()
    ongoing = random.choice(materias)
    materias.remove(ongoing)
    nextOne = random.choice(materias)
    imgFabric.writeOngoing(ongoing)
    imgFabric.writeNext('Hasta las {}:00hs. Luego:
    {}'.format(random.randint(11,19), nextOne))
    imgFabric.writeCounter(counter)
    imgFabric.save('aula115.png')
    return imgFabric.img

def generateImage(room, time=None):
    table = RoomsTable().fetch()
```

```
roomSchedule = RoomSchedule(room, table)
img = Image.new('RGBA', (800, 480), color=(255, 255, 255))
imgFabric = ImageDrawer(img)
imgFabric.writeTimeStamp()
imgFabric.drawFrame()
imgFabric.drawLogo()
ongoing = roomSchedule.getCurrentActivity(time)
nextOne = roomSchedule.getNextActivity(time)
nextActivityStartTime = roomSchedule.getNextActivityTime(time)
imgFabric.writeOngoing(ongoing)
imgFabric.writeNext('Hasta las {}hs. Luego:
{}'.format(nextActivityStartTime.strftime('%H:%M'), nextOne))
imgFabric.save('aula115.png')
return imgFabric.img
```

26.5 Código para revelar imágenes

Este código recibe una imagen y la convierte al formato necesario para mostrarla en la pantalla de tinta electrónica utilizada en este proyecto.

```
from PIL import Image, ImageOps

class ImageDeveloper:
    def __init__(self, img):
        self.img = img

    def develop(self):
        v1 = self.img
        v2 = ImageOps.invert(v1.convert('RGB'))
        v3 = v2.convert('1')
        v4 = v3.transpose(Image.ROTATE_90)
        return bytes(bitsToFormatType4bytes(v4.getdata()))

def bitsToFormatType4bytes(bitsArray):
    new_array = [0 for _ in range(len(bitsArray)//8)]
    row = 30
    s = 1
    for i in range(0, len(bitsArray), 16):
        new_array[row-s] = ( ( ( bitsArray[i+6 ] & 0x01 ) << 7 ) |
                               ( ( bitsArray[i+14 ] & 0x01 ) << 6 ) |
                               ( ( bitsArray[i+4 ] & 0x01 ) << 5 ) |
                               ( ( bitsArray[i+12 ] & 0x01 ) << 4 ) |
                               ( ( bitsArray[i+2 ] & 0x01 ) << 3 ) |
                               ( ( bitsArray[i+10 ] & 0x01 ) << 2 ) |
                               ( ( bitsArray[i+0 ] & 0x01 ) << 1 ) |
                               ( ( bitsArray[i+8 ] & 0x01 ) ) )

        new_array[row+30-s] = ( ( ( bitsArray[i+1 ] & 0x01 ) << 7 ) |
                                ( ( bitsArray[i+9 ] & 0x01 ) << 6 ) |
                                ( ( bitsArray[i+3 ] & 0x01 ) << 5 ) |
                                ( ( bitsArray[i+11 ] & 0x01 ) << 4 ) |
                                ( ( bitsArray[i+5 ] & 0x01 ) << 3 ) |
                                ( ( bitsArray[i+13 ] & 0x01 ) << 2 ) |
                                ( ( bitsArray[i+7 ] & 0x01 ) << 1 ) |
                                ( ( bitsArray[i+15 ] & 0x01 ) ) )

        s+=1
        if s==31:
            s=1
            row+=60
    return new_array
```

26.6 Código del servidor de pruebas

Este código define la API del servidor de pruebas, los mensajes que puede recibir y las respuestas que genera.

```
from flask import Flask, send_file, make_response
from imageMaker import generateDemoImage, generateImage
from imageDeveloper import ImageDeveloper
from PIL import Image
app = Flask(__name__)

successfulPrint = []

globalCounter = 0
lowBat = False

IMAGE_OVERRIDE = False
overrideImgPath = 'lorem.png'

@app.route("/aula115/get_last_image")
def getLastImage():
    if IMAGE_OVERRIDE:
        img = Image.open(overrideImgPath)
    else:
        global successfulPrint
        global lowBat
        successfulPrint.append(False)
        if successfulPrint[-60:].count(False) >= 40:
            lowBat = True
        img = generateDemoImage(globalCounter, lowBat)
    response = make_response()
    response.headers['sleep-time'] = '1'
    response.data = ImageDeveloper(img).develop()
    return response

@app.route("/aula115/get_next_image")
def getNextImage():
    if IMAGE_OVERRIDE:
        img = Image.open(overrideImgPath)
    else:
        global lowBat
        global successfulPrint
        successfulPrint.append(True)
        if successfulPrint[-60:].count(False) >= 45:
            lowBat = True
        global globalCounter
        globalCounter += 1
        img = generateDemoImage(globalCounter, lowBat)
    response = make_response()
    response.headers['sleep-time'] = '1'
    response.data = ImageDeveloper(img).develop()
    return response

if __name__ == "__main__":
    app.run(port=80)
```