



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y  
Automática**

# **Visualizador termohigrógrafo con alarma**

**Autor:**

**Alonso Fernández, Ricardo**

**Tutor:**

**Díez Muñoz, Pedro Luis  
Tecnología Electrónica**

**Valladolid, Julio 2021.**





## Agradecimientos

*Quiero transmitir mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado a lo largo de esta etapa.*

*En primer lugar, quiero agradecer especialmente a mi familia: a mi madre Ana, a mi padre Vicen, mi hermana Sara y a mis abuelas (Milagros, Chuchi y Vicente ) y mis tíos por su gran apoyo y ánimos en esta etapa de mi vida, en la que aun estando separados siempre os he tenido cerca.*

*En segundo lugar, agradezco a mi tutor Pedro Luis Díez por haberme ofrecido y guiado durante el desarrollo de este proyecto.*

*En tercer lugar, quiero agradecer a todos aquellos profesores que habéis transmitido vuestra gran pasión por la materia, haciéndome amar la carrera cuando yo mismo tenía mis dudas.*

*También a los amigos que he hecho a lo largo de estos años en la universidad, y la gran familia que hemos formado a lo largo del camino. Y especialmente, mi agradecimiento a Alejandro Egido por su gran apoyo y ayuda a lo largo de la carrera.*





## **Resumen.**

Hoy en día se necesita de una gran precisión en las medidas, por ello se han desarrollado aparatos de gran exactitud, pero estas mediciones dependen fuertemente de las condiciones ambientales. Por este motivo en los laboratorios de calibración es de gran importancia realizar el trabajo en unas condiciones de temperatura y humedad controladas, aquí es donde entra en juego el visualizador termohigrógrafo con alarma que se va a desarrollar en el presente proyecto.

**Palabras clave:** Termohigrógrafo<sup>1</sup>. Datalogger, RS232, ESP32, LCD-TFT

## **Abstract:**

Nowadays, a great precision in the measurements is needed, for this reason high accuracy devices have been developed, but these measurements strongly depend on the environmental conditions. This is why in calibration laboratories it is of great importance to work under controlled temperature and humidity conditions, this is where the thermo-hygrograph display with alarm that will be developed in the present project comes into play.

**Keywords:** Thermo-hygrograph<sup>2</sup>, Datalogger, RS232, ESP32, LCD-TFT

---

<sup>1</sup> Instrumento de medición para registrar la temperatura y humedad relativa

<sup>2</sup> Device that measures and records temperature and humidity





## Índice

<b>Introducción y objetivos</b> .....	<b>15</b>
Marco teórico .....	15
Objetivo general .....	18
Objetivos específicos .....	18
<b>Justificación del proyecto</b> .....	<b>19</b>
<b>Capítulo 1: Posibles soluciones</b> .....	<b>21</b>
Idea 1: PC como transmisor:.....	21
Idea 2: ESP32 como transmisor conectado al ordenador:.....	22
Idea 3: ESP32 entre el datalogger y el ordenador: .....	27
<b>Capítulo 2: Tecnología utilizada</b> .....	<b>29</b>
2.1 Interfaz de datos RS-232 .....	29
2.2 Pantalla TFT-LCD.....	33
2.2.1 Tecnología LCD.....	33
2.2.2 Tecnología TFT-LCD.....	37
2.3 ESP32 .....	38
2.4 Sistemas BMS y baterías.....	40
<b>Capítulo 3: Desarrollo de los circuitos</b> .....	<b>53</b>
3.1 Servidor:.....	53
3.1.1 Circuito conversor de RS232 a TTL.....	54
3.1.1.1 Prueba de la comunicación serie .....	62
3.1.2 Circuito de alimentación .....	64
3.1.3 Circuito de datos RS232 .....	65
3.2 Visualizador: .....	66
3.2.1 Circuito de alimentación .....	66
3.2.2 Circuito de alarma, buzzer .....	67
3.2.3 Circuito de la pantalla.....	69
<b>Capítulo 4: Desarrollo de las PCBs</b> .....	<b>73</b>
4.1 Creación de símbolos y de huellas en KiCad .....	73
4.1.1 Símbolo y footprint de la pantalla TFT.....	73
4.1.2 Símbolo y footprint del módulo de carga de la batería .....	79
4.2 Diseño de la PCB del Servidor.....	81
4.3 Diseño de la PCB del visualizador.....	85
4.4 Fabricación de las PCBs .....	89
4.4.1 Fabricación mediante aislado de pistas con CNC.....	90
4.4.2 Fabricación mediante insolación y ataque con ácido .....	98



<b>Capítulo 5: Programación .....</b>	<b>107</b>
5.1 Servidor.....	107
5.1.1 Diseño de la página web .....	108
5.1.2 Recepción de la trama en el ESP32.....	110
5.1.3 Servidor asíncrono.....	112
5.2 Visualizador .....	114
5.2.1 Proceso de sincronización .....	114
5.2.2 Planteamiento general del código.....	116
<b>Capítulo 6: Envolventes .....</b>	<b>121</b>
6.1 Servidor.....	126
6.2 Visualizador .....	129
<b>Capítulo 7: Estudio económico .....</b>	<b>133</b>
7.1 Introducción.....	133
7.2 Recursos empleados .....	133
7.3 Costes directos.....	134
7.3.1 Coste del personal .....	134
7.3.2 Coste de amortización de material (equipos y software).....	135
7.3.3 Costes derivados de consumibles.....	137
7.3.4 Costes directos totales .....	139
7.4 Costes indirectos.....	139
7.5 Costes totales.....	139
<b>Capítulo 8: Repercusiones sociales, económicas y ambientales .....</b>	<b>141</b>
8.1 Repercusiones sociales .....	141
8.2 Repercusiones económicas .....	141
8.2 Repercusiones ambientales.....	142
<b>Capítulo 9: Puesta en marcha del prototipo en el laboratorio .....</b>	<b>143</b>
9.1 Modificación del código del servidor .....	143
<b>Capítulo 10: Conclusiones y líneas futuras de desarrollo.....</b>	<b>149</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>151</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>155</b>





## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Unidades del SI.....	15
<b>Figura 2:</b> Infraestructura Metrológica Española .....	16
<b>Figura 3:</b> Variación de la corriente de colector del transistor 2N3904 con la temperatura .....	17
<b>Figura 4:</b> Formato del fichero .txt con los datos del datalogger.....	21
<b>Figura 5:</b> Esquema de la Idea 1 .....	21
<b>Figura 6:</b> Esquema de la Idea 2 .....	22
<b>Figura 7:</b> Esquema de la Idea 3 .....	27
<b>Figura 8:</b> RS-232-C Características Eléctricas .....	29
<b>Figura 9:</b> Pines del conector DB25 RS-232.....	30
<b>Figura 10:</b> Pines Conector DB9.....	31
<b>Figura 11:</b> Conexión entre dos ETCD .....	31
<b>Figura 12:</b> Pantalla LCD monocromática.....	33
<b>Figura 13:</b> Filtros polarizadores de pantalla LCD .....	33
<b>Figura 14:</b> Termómetro de cristal líquido .....	34
<b>Figura 15:</b> Pintura termo-cromática.....	34
<b>Figura 16:</b> Cristal líquido pantalla LCD permitiendo el paso de la luz.....	35
<b>Figura 17:</b> Cristal líquido pantalla LCD impidiendo el paso de la luz .....	35
<b>Figura 18:</b> Píxel RGB formado por tres subpíxeles .....	36
<b>Figura 19:</b> Esquema pixel pantalla LCD.....	36
<b>Figura 20:</b> Esquema pixel pantalla TFT.....	37
<b>Figura 21:</b> Vista al microscopio de pantalla TFT .....	37
<b>Figura 22:</b> Empaquetado QFN48 6x6mm .....	38
<b>Figura 23:</b> Diagrama funcional de las series ESP32 .....	39
<b>Figura 24:</b> Equilibrado de baterías por resistencia fija.....	42
<b>Figura 25:</b> Equilibrado de baterías por resistencia conmutada.....	42
<b>Figura 26:</b> Equilibrado de baterías por diodos Zener .....	43
<b>Figura 27:</b> Equilibrado de baterías analógico .....	43
<b>Figura 28:</b> Equilibrado de baterías por condensador conmutado .....	44
<b>Figura 29:</b> Equilibrado de baterías por inductancia .....	45
<b>Figura 30:</b> Equilibrado de baterías con varios condensadores.....	45
<b>Figura 31:</b> Equilibrado de baterías con varias inductancias.....	45
<b>Figura 32:</b> Equilibrado de baterías con transformador conmutado .....	46
<b>Figura 33:</b> Esquema batería ácido plomo .....	47
<b>Figura 34:</b> Efecto de la temperatura sobre la capacidad de la batería.....	47
<b>Figura 35:</b> Batería Iones de litio de 3400mAh.....	49
<b>Figura 36:</b> Batería LiPo de 3400mAh .....	49
<b>Figura 37:</b> Curvas de descarga de una batería LiPo.....	50
<b>Figura 38:</b> Módulo 03962A .....	50
<b>Figura 39:</b> Curva de carga del módulo 03962 <sup>a</sup> .....	51
<b>Figura 40:</b> Circuito de protección de la batería del 03962A.....	52
<b>Figura 41:</b> Esquema eléctrico del módulo 03962A .....	52
<b>Figura 42:</b> Esquema conexión datalogger-ordenador .....	53
<b>Figura 43:</b> Comparación de tensiones y lógica digital en RS-232 y TTL .....	53
<b>Figura 44:</b> Esquema conexión datalogger-ordenador con ESP32.....	54
<b>Figura 45:</b> Circuito conversor de RS232 a TTL .....	54
<b>Figura 46:</b> Cámara portátil hp Photosmart con SDIO .....	55
<b>Figura 47:</b> Esquema de potencia del ESP32.....	56
<b>Figura 48:</b> Corriente y tensiones con transistor en corte .....	57
<b>Figura 49:</b> Corrientes y tensiones con transistor en saturación .....	59

<b>Figura 50:</b> Prueba del circuito del servidor en protoboard.....	61
<b>Figura 51:</b> Comunicación asíncrona .....	62
<b>Figura 52:</b> Circuito LED indicador del Servidor .....	65
<b>Figura 53:</b> Esquema del circuito del Servidor .....	65
<b>Figura 54:</b> Esquema de alimentación del Visualizador.....	66
<b>Figura 55:</b> Circuito de alimentación del visualizador en protoboard .....	67
<b>Figura 56:</b> Esquema del circuito de alarma del visualizador .....	68
<b>Figura 57:</b> Prueba del circuito de alarma del visualizador en protoboard .....	68
<b>Figura 58:</b> Esquema del circuito del Visualizador.....	70
<b>Figura 59:</b> Prueba del circuito completo del Visualizador en protoboard .....	70
<b>Figura 60:</b> Modelo 3D de la pantalla TFT .....	75
<b>Figura 61:</b> Medida del consumo del Servidor .....	81
<b>Figura 62:</b> Medida del consumo del Visualizador .....	85
<b>Figura 63:</b> Fitolito positivo .....	98
<b>Figura 64:</b> Fitolito negativo.....	98
<b>Figura 65:</b> Fitolito superior del servidor.....	100
<b>Figura 66:</b> Fitolito inferior del servidor.....	100
<b>Figura 67:</b> Placa del servidor en la insoladora.....	100
<b>Figura 68:</b> Placa del Visualizador revelada .....	101
<b>Figura 69:</b> Proceso de atacado de la placa del visualizador .....	101
<b>Figura 70:</b> Limpieza de la placa del servidor.....	102
<b>Figura 71:</b> CNC Bungard CCD.....	102
<b>Figura 72:</b> Carga del fichero de taladrado en Isocam .....	103
<b>Figura 73:</b> Fichero de taladrado en Isocam .....	103
<b>Figura 74:</b> Generación del fichero de trabajo de la CNC .....	104
<b>Figura 75:</b> Prototipo del visualizador, cara frontal.....	104
<b>Figura 76:</b> Prototipo del visualizador, cara trasera.....	105
<b>Figura 77:</b> Prototipo del servidor, cara superior .....	105
<b>Figura 78:</b> Prototipo del servidor, cara inferior .....	105
<b>Figura 79:</b> Estructura de la página web.....	109
<b>Figura 80:</b> Prueba de recepción de mensaje por puerto serie usando pantalla LCD.....	111
<b>Figura 81:</b> Función procesamiento y página web .....	112
<b>Figura 82:</b> Concurrencia en multiprocesador.....	116
<b>Figura 83:</b> Concurrencia en un solo procesador.....	117
<b>Figura 84:</b> Niveles de alerta del visualizador .....	119
<b>Figura 85:</b> Método MDF de impresión 3D .....	123
<b>Figura 86:</b> Impresora 3d Ender 5 Pro .....	124
<b>Figura 87:</b> Ciclo del PLA .....	142
<b>Figura 88:</b> Servidor instalado en el laboratorio.....	146
<b>Figura 89:</b> Servidor y visualizador en la zona de la base de datos .....	146
<b>Figura 90:</b> Visualizador en la zona de calibración .....	147
<b>Figura 91:</b> Visualizador en la zona de ensayos .....	147



### Índice de diagramas

<b>Diagrama 1:</b> Conexión Serie Ordenador-ESP32.....	23
<b>Diagrama 2:</b> Categorías y procedimientos de equilibrado de baterías .....	41
<b>Diagrama 3:</b> Programa del servidor .....	107
<b>Diagrama 4:</b> Recepción de mensaje por el puerto serie y separación de campos .....	110
<b>Diagrama 5:</b> Esquema general del programa del visualizador .....	114
<b>Diagrama 6:</b> diagrama temporal del proceso de sincronización .....	115
<b>Diagrama 7:</b> diagrama del código del proceso de sincronización .....	115
<b>Diagrama 8:</b> diagrama del código principal del visualizador .....	118
<b>Diagrama 9:</b> Estructura e interfaces de los menús del visualizador .....	120
<b>Diagrama 10:</b> Recepción de mensaje por el puerto serie y separación de campos modificación ..	145

### Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Características eléctricas a 3.3V y 25°C del ESP32-WROOM32.....	55
<b>Tabla 2:</b> Fragmento tabla IO_MUX .....	56
<b>Tabla 3:</b> Condiciones de operación recomendadas.....	57
<b>Tabla 4:</b> 2N3904: Características eléctricas en corte del transistor.....	58
<b>Tabla 5:</b> Valores máximos del transistor 2N3904 .....	61
<b>Tabla 6:</b> Características en saturación del transistor 2N3904.....	61
<b>Tabla 7:</b> Lista de materiales del circuito del servidor .....	71
<b>Tabla 8:</b> Lista de materiales del circuito del visualizador.....	71
<b>Tabla 9:</b> Lista de componentes y footprints asociados del servidor.....	82
<b>Tabla 10:</b> Lista de componentes y footprints asociados del Visualizador.....	86
<b>Tabla 11:</b> Direcciones y contenido del servidor .....	108
<b>Tabla 12:</b> Coste anual .....	134
<b>Tabla 13:</b> Días efectivos por año.....	134
<b>Tabla 14:</b> Distribución temporal de trabajo.....	135
<b>Tabla 15:</b> Amortización del software .....	136
<b>Tabla 16:</b> Amortización del equipo.....	136
<b>Tabla 17:</b> Coste de fabricación con PCBWay .....	137
<b>Tabla 18:</b> Coste de prototipado.....	137
<b>Tabla 19:</b> Coste de producción en masa .....	138
<b>Tabla 20:</b> Costes indirectos parciales.....	139
<b>Tabla 21:</b> Costes totales .....	139
<b>Tabla 22:</b> Análisis de la transmisión del datalogger.....	144



## Índice de capturas

<b>Captura 1:</b> Administrador de equipos .....	24
<b>Captura 2:</b> Propiedades Puerto COM .....	24
<b>Captura 3:</b> Configuración avanzada puerto COM .....	25
<b>Captura 4:</b> Tensión del diodo 1N4001 en función de la corriente .....	59
<b>Captura 5:</b> Envío mensaje con hyperterminal Hércules .....	63
<b>Captura 6:</b> Trama Analizador lógico, mensaje completo .....	63
<b>Captura 7:</b> Envío mensaje corto hyperterminal hércules .....	63
<b>Captura 8:</b> Trama analizada del mensaje corto .....	64
<b>Captura 9:</b> Editor de símbolos de KiCad, nuevo símbolo .....	73
<b>Captura 10:</b> Numeración de pines de la pantalla en el editor de símbolos .....	74
<b>Captura 11:</b> Símbolo esquemático de la pantalla TFT .....	74
<b>Captura 12:</b> Propiedades del símbolo de la pantalla .....	75
<b>Captura 13:</b> Colocación de los pads en la footprint de la pantalla .....	76
<b>Captura 14:</b> Footprint de la pantalla .....	77
<b>Captura 15:</b> Configuración del modelo 3D de la footprint de la pantalla .....	77
<b>Captura 16:</b> Modelo 3D de la footprint de la pantalla TFT .....	78
<b>Captura 17:</b> Modelo 3D de la footprint de la pantalla TFT V2 .....	78
<b>Captura 18:</b> Símbolo esquemático del módulo 03962A .....	79
<b>Captura 19:</b> Modelo 3D del módulo 03962A .....	79
<b>Captura 20:</b> Footprint del módulo 03962A .....	80
<b>Captura 21:</b> Modelo 3D de la footprint del módulo 03962 <sup>a</sup> .....	80
<b>Captura 22:</b> Cálculo ancho de pista para el circuito del servidor .....	82
<b>Captura 23:</b> Emplazamiento de los componentes en la PCB del servidor .....	83
<b>Captura 24:</b> Rutado de la PCB del Servidor .....	83
<b>Captura 25:</b> Vista 3D superior de la PCB del Servidor .....	84
<b>Captura 26:</b> Vista 3D inferior de la PCB del Servidor .....	84
<b>Captura 27:</b> Cálculo ancho de pista para el circuito del Visualizador .....	85
<b>Captura 28:</b> Emplazamiento de los componentes en la PCB del Visualizador .....	87
<b>Captura 29:</b> Rutado de la cara superior de la PCB del Visualizador .....	87
<b>Captura 30:</b> Rutado de la cara inferior de la PCB del Visualizador .....	87
<b>Captura 31:</b> Vista 3D superior de la PCB del Visualizador .....	88
<b>Captura 32:</b> Vista 3D inferior de la PCB del Visualizador .....	88
<b>Captura 33:</b> Trazado de ficheros de fabricación Gerber .....	90
<b>Captura 34:</b> Ficheros Gerber en FlatCAM .....	91
<b>Captura 35:</b> Mirror Y en FlatCAM .....	91
<b>Captura 36:</b> Generación del Gcode de taladrado .....	92
<b>Captura 37:</b> Fichero drl_cnc de 1mm en FlatCAM .....	92
<b>Captura 38:</b> Taladros en GRBLcontrol .....	93
<b>Captura 39:</b> Ruta de aislado de las pistas en FlatCAM .....	93
<b>Captura 40:</b> Generación del fichero de aislado de pistas en FlatCAM .....	94
<b>Captura 41:</b> Gcode del aislado de pistas en la CNC .....	94
<b>Captura 42:</b> Ruta del corte de placa en FlatCAM .....	95
<b>Captura 43:</b> Rutas para el corte de la placa en FlatCAM .....	95
<b>Captura 44:</b> Corte de la placa en la CNC .....	96
<b>Captura 45:</b> PCB realizada con CNC, lado de las pistas .....	97
<b>Captura 46:</b> PCB realizada con CNC, serigrafía .....	97
<b>Captura 47:</b> PCB realizada con CNC, montaje final .....	97
<b>Captura 48:</b> Página web del servidor .....	109
<b>Captura 49:</b> Caja RS PRO de ABS Gris .....	121



<i>Captura 50: Caja Hammond de ABS piro retardante Gris</i> .....	121
<i>Captura 51: Posprocesado del ABS</i> .....	125
<i>Captura 52: Efecto warping</i> .....	125
<i>Captura 53: Efecto cracking</i> .....	125
<i>Captura 54: Vista explosionada del servidor</i> .....	126
<i>Captura 55: Segmentación servidor (PLA Glitter Verde)</i> .....	127
<i>Captura 56: Segmentación servidor (PLA Silk Gold)</i> .....	128
<i>Captura 57: Vista superior de la envolvente del servidor</i> .....	128
<i>Captura 58: Vista inferior de la envolvente del servidor</i> .....	128
<i>Captura 59: Vista explosionada del visualizador</i> .....	129
<i>Captura 60: Segmentación visualizador (PLA Glitter Verde)</i> .....	130
<i>Captura 61: Impresión de la envolvente del visualizador</i> .....	130
<i>Captura 62: Vista superior de la envolvente del visualizador</i> .....	131
<i>Captura 63: Vista inferior de la envolvente del visualizador</i> .....	131
<i>Captura 64: Captura del analizador lógico sobre el datalogger</i> .....	143
<i>Captura 65: Captura del analizador lógico, primera trama</i> .....	144





## Introducción y objetivos

### Marco teórico

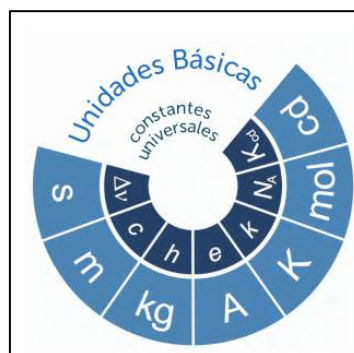
El desarrollo de la ciencia y la tecnología, la investigación, fabricación y control de procesos industriales, la protección del medio ambiente, gestión energética y de los recursos naturales, todo ello depende en gran parte de que las medidas sean fiables.

Metrología, “ciencia que tiene por objeto el estudio de los sistemas de pesas y medidas” (Española, 2021)

La metrología es una de las ciencias más antiguas del mundo cuya relevancia e incidencia en la economía y la sociedad es desconocida por muchos. “Su papel en el progreso humano es invasivo, pero discreto hasta el punto de que puede pasar desapercibido como la necesidad de un ambiente respirable para la inmensa mayoría de las especies vivientes (Comité de Metrología del Instituto de la Ingeniería en España, 2019)

El origen de la metrología actual surge después de la Revolución Francesa, con el decreto de la Asamblea Nacional Francesa, que estableció un sistema nacional de pesas y medidas. En 1791 legalizó un sistema métrico decimal de medida en el que la unidad de masa era el decímetro cúbico de agua a 4°C y como medida de longitud el metro, definido por la diezmillonésima parte del cuadrante meridiano terrestre. Ambas unidades se materializaron, en un cilindro de platino en el caso de la masa y en una barra de platino para la longitud. Ambas se depositaron en los Archivos del Imperio en el año 1799. Siendo este sistema el antecesor del actual Sistema Internacional de Unidades (SI).

Finalmente, en la Conferencia General de Pesos y Medidas de 2018 (CGPM), (Bureau International des Poids et Mesures, 2018), se establecieron 7 unidades básicas en función de constantes universales (ver **Figura 1**), permitiendo una menor incertidumbre y mayor estabilidad en las realizaciones prácticas.



**Figura 1:** Unidades del SI

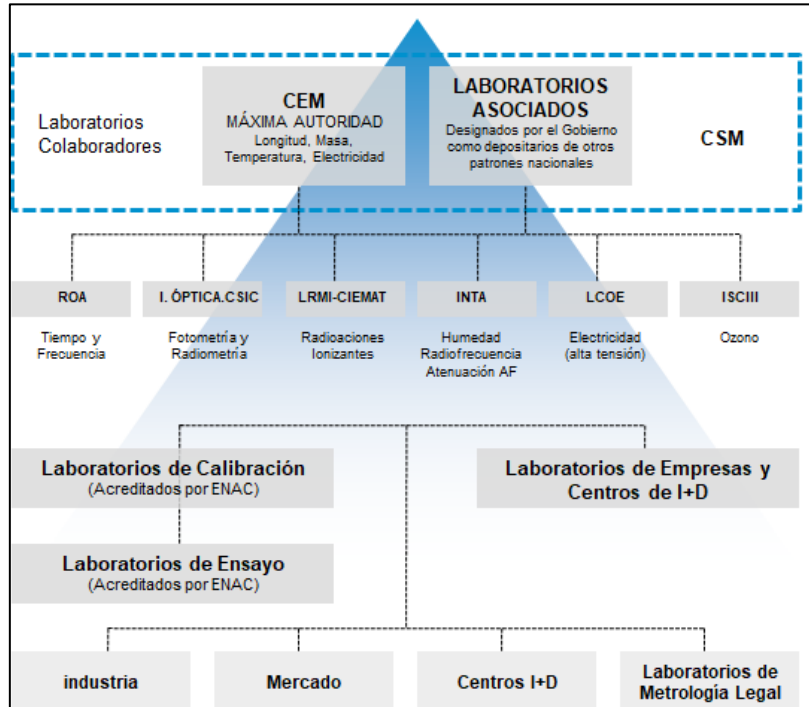
(Fuente: (Ministerio de Industria Comercio y Turismo, 2021; Fairchild Semiconductor Corporation, 2014))

Una vez definidas unas unidades, es necesario que todos los instrumentos de medición estén calibrados para que las medidas obtenidas sean fiables. Para ello se necesita de una calibración adecuada que se hace por medio de la trazabilidad, de manera que cualquier medición debe ser trazable hasta un patrón o estándar.

En el proceso de calibración de un instrumento, se compara la medición del instrumento con el resultado de un instrumento de exactitud conocida, que a su vez es calibrado contra un patrón nacional o internacional.

Para garantizar la trazabilidad durante la práctica, se debe cumplir los siguientes puntos:

- La cadena de comparación no debe interrumpirse.
- El instrumento de medición superior debe tener una exactitud de medición de 3 a 4 veces mayor. De manera que la incertidumbre de cada medición sea conocida y pueda calcularse la incertidumbre total.
- Todos los resultados en cada paso deben documentarse.
- Todos los organismos involucrados deben probar su competencia mediante acreditación.
- Las calibraciones deben repetirse en intervalos periódicos apropiados.



**Figura 2:** Infraestructura Metroológica Española

Fuente: (Ministerio de Industria Comercio y Turismo, 2021)

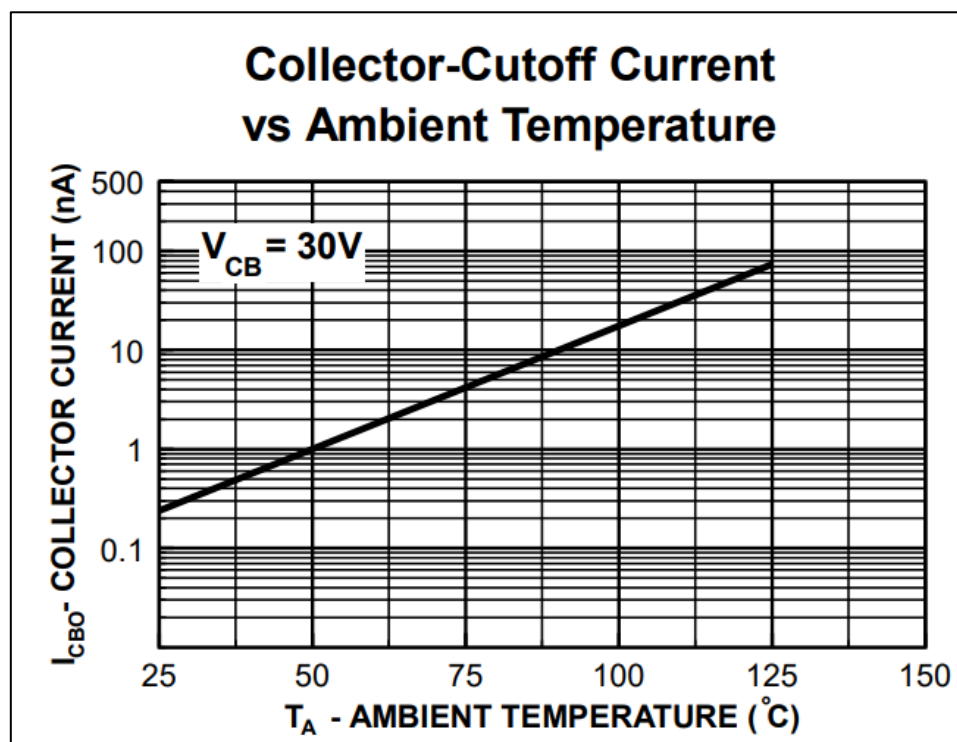




Todos los instrumentos de medida varían su comportamiento en función de las condiciones ambientales, debido a los cambios de físicos y químicos de la materia que afectan tanto al instrumento de medida como a la variable a medir. Un ejemplo claro sería medir una varilla de acero con una regla de aluminio, a una temperatura baja ambos materiales se contraen, pero no de igual manera y a una temperatura alta ambos se dilatan de distinta forma, por ello las medidas obtenidas serán distintas.

Hoy en día, la mayor parte de los instrumentos de medida son electrónicos, y esta electrónica también está sujeta a variaciones en su comportamiento en función de las condiciones ambientales, principalmente temperatura y humedad, ver **Figura 3**. A medida que buscamos obtener valores más precisos (más pequeños) el efecto negativo de los cambios ambientales aumenta.

Los laboratorios acreditados, para garantizar la fiabilidad de sus medidas deben realizar las mediciones en condiciones ambientales controladas, con instrumentos calibrados por una entidad superior.



**Figura 3:** Variación de la corriente de colector del transistor 2N3904 con la temperatura

Fuente: (Fairchild Semiconductor Corporation, 2014)

## Objetivo general

En este proyecto se busca desarrollar un visualizador termohigrógrafo con alarma. Este dispositivo informará de manera clara y rápida al personal de laboratorio de las condiciones ambientales en la zona de trabajo.

El visualizador tendrá una forma compacta y admitirá carga por USB, de manera que el operario podrá situarlo en su mesa de trabajo y alimentarlo mediante un cargador de móvil o un puerto USB libre del ordenador. Admitirá una configuración básica de algunos parámetros como los rangos de alarma para la temperatura y la humedad. Para informar de las condiciones ambientales de la sala dispondrá de una pantalla que muestre dichos valores y unos indicadores de colores que cambiarán en función de las condiciones ambientales. El patrón que seguirán los indicadores será similar al de los semáforos ya que es un código simple de tres colores que las personas han interiorizado. De manera que un color rojo se relaciona rápidamente con “detente” un naranja o amarillo con “cuidado” y el verde con “continua”.

El dispositivo se utilizará en el laboratorio LACECAL<sup>3</sup> situado en el sótano de la Escuela de Ingenierías Industriales. Este laboratorio se encuentra dividido en dos partes “Calibración” y “Ensayos”, para ello se crearán dos visualizadores idénticos pero cada uno estará configurado para mostrar las condiciones de la parte del laboratorio en que se encuentre.

Actualmente el laboratorio cuenta con una sonda de temperatura y humedad en cada zona de medición, ambas conectadas a un datalogger<sup>4</sup> que almacena los valores medidos y los transmite mediante cable por comunicación RS232 a un ordenador al que puede acceder el personal de laboratorio para consultar las condiciones ambientales del lugar.

## Objetivos específicos

- Pantalla que muestre la temperatura y humedad actual.
- Señalización luminosa.
- Batería propia que garantice una autonomía de varias horas.
- Comunicación inalámbrica para obtener los datos de temperatura y humedad.
- Configuración manual de los parámetros de alarma a través de botonera o similar.

<sup>3</sup> Laboratorio de Calibración Eléctrica de Castilla y León.

<sup>4</sup> Dispositivo electrónico que registra los datos obtenidos a través de sensores externos.



## **Justificación del proyecto**

En el presente trabajo se busca integrar los conocimientos y capacidades adquiridos durante la titulación, desarrollando un proyecto en el ámbito de la electrónica y la automatización.

Desde el laboratorio LACECAL se propone un proyecto que busca crear un visualizador termohigrógrafo con alarma, cuyas características técnicas coinciden con las competencias adquiridas durante los estudios. De forma que el correcto desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado permita la finalización de los estudios y la obtención del título de Ingeniero especializado en Electrónica Industrial y Automática.





## Capítulo 1: Posibles soluciones

### Idea 1: PC como transmisor:

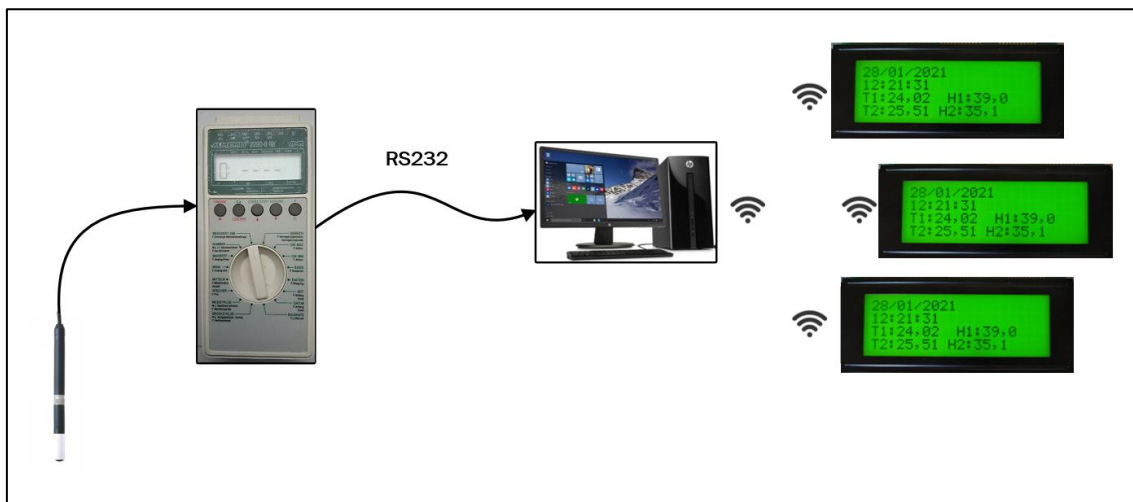
En el laboratorio existe un ordenador conectado al datalogger por cable, usando el protocolo RS232 en la comunicación entre ambos dispositivos. El datalogger recibe los valores de las sondas de temperatura y humedad repartidas por el laboratorio y por medio de la comunicación serie, transmite estos valores al ordenador que los almacena en un fichero de texto con el formato de la **Figura 4**, comenzando con la fecha, seguida la hora de la medida y después la temperatura y humedad captada por la primera sonda, por último, los valores de la segunda sonda.

21/10/2020	10:33:31	24,02	39,0	25,51	34,1
------------	----------	-------	------	-------	------

**Figura 4:** Formato del fichero .txt con los datos del datalogger

Fuente: Elaboración propia

Aprovechando que cada minuto se genera un fichero de texto llamado “ahora.txt” con los valores de la última medición realizada en el formato descrito anteriormente. Se busca desarrollar un programa en c/c++ que acceda a dicho fichero y utilice una antena Wifi conectada al ordenador para crear una red inalámbrica a la que se conecten los visualizadores repartidos por el laboratorio y reciban la información de la última medida (ver **Figura 5**).



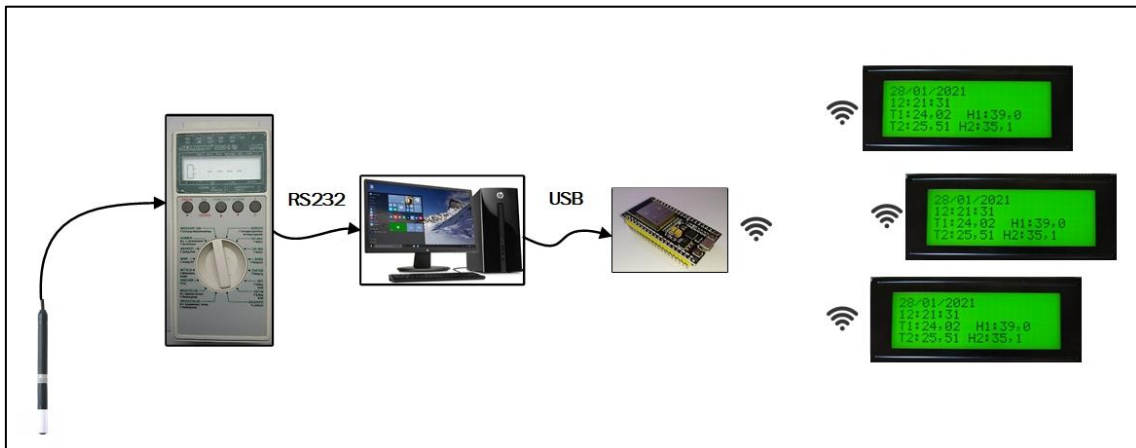
**Figura 5:** Esquema de la Idea 1

Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de esta idea habría que añadir una antena Wifi al ordenador del laboratorio, pero no haría falta modificar la conexión entre el datalogger y el ordenador.

## Idea 2: ESP32 como transmisor conectado al ordenador:

Siguiendo el planteamiento de la idea anterior, se conserva la actual conexión de los dispositivos, pero en vez de añadir una antena Wifi al ordenador, se conecta un ESP32 a través de un puerto USB, actuando este como punto de acceso inalámbrico (menor coste que la antena), ver **Figura 6**.



**Figura 6:** Esquema de la Idea 2

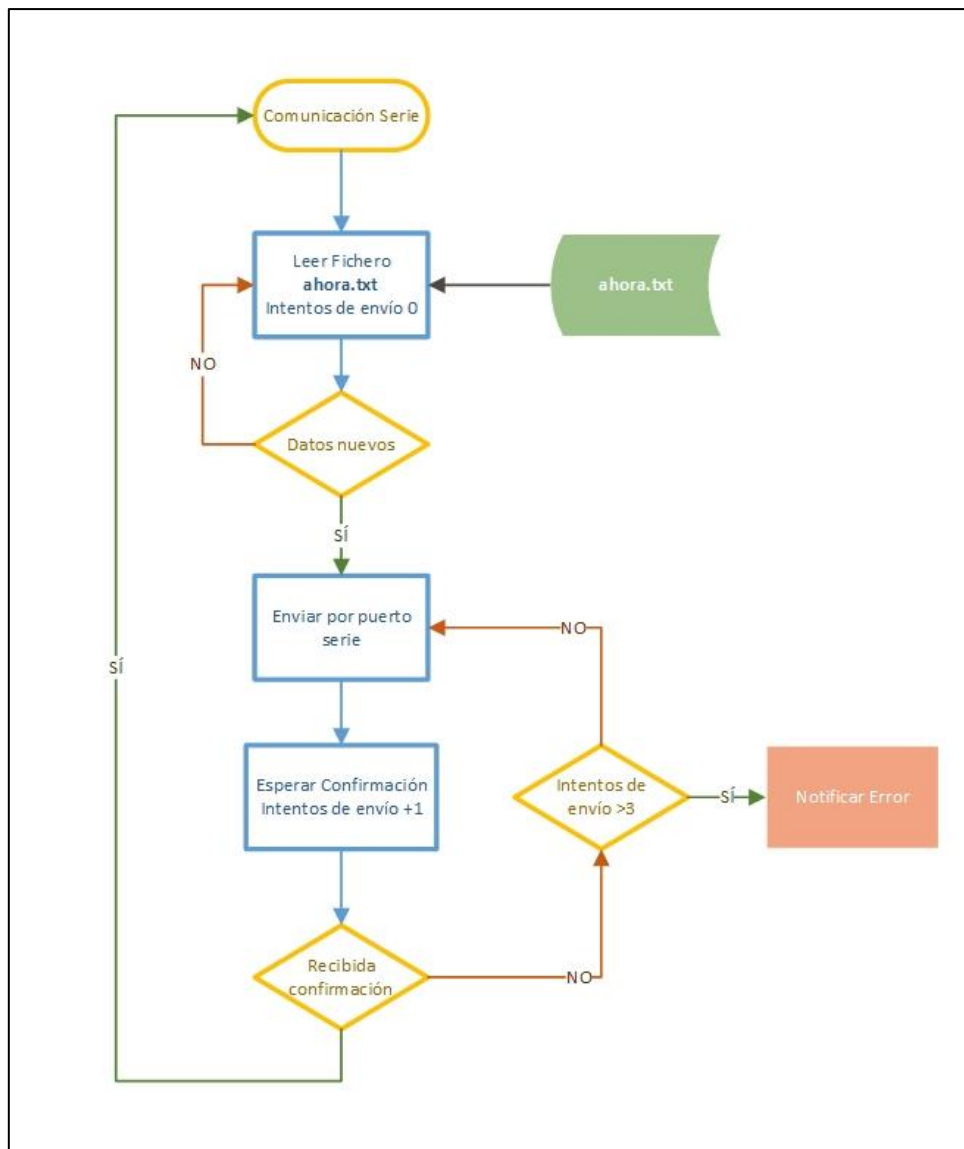
Fuente: Elaboración propia

Mediante un programa en c++ en constante ejecución en el ordenador, utilizando la librería *SerialClass* se pueden comunicar el ESP32 y el ordenador, ver **Diagrama 1**.

Este programa lee el fichero *ahora.txt*, transmitiendo su contenido a través del puerto serie al ESP32 que a su vez comparte la información de manera inalámbrica a los visualizadores del laboratorio.

La librería *SerialClass* permite la comunicación a través del puerto serie y la librería *fstream* implementa los elementos necesarios para la lectura y escritura de ficheros.

Esta idea fue descartada debido a los problemas de concurrencia en el archivo de texto con los datos, ya que a la vez lo utilizan el programa del ordenador que recibe los datos del datalogger y el programa que debería transmitir al ESP32.



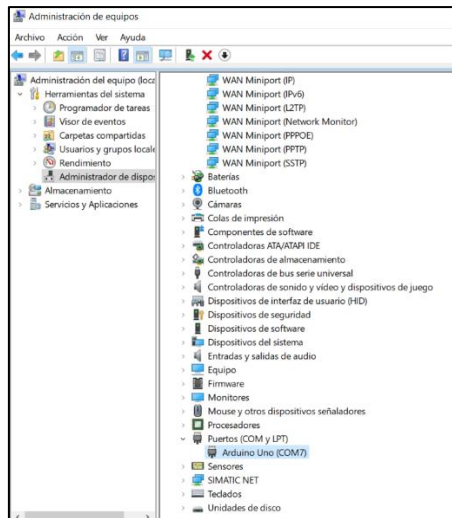
**Diagrama 1:** Conexión Serie Ordenador-ESP32

Fuente: Elaboración propia

### SerialClass:

El dispositivo con el que se desea comunicar debe estar ligado a un puerto COM, que debe haber sido configurado desde administrador de equipos, a modo de ejemplo se muestra el procedimiento para la comunicación a través del puerto COM7 con un Arduino Uno.

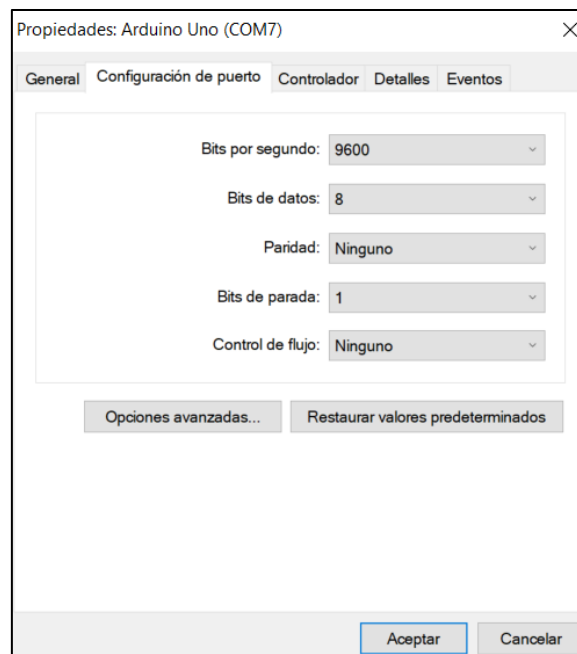
- 1 Abrir el administrador de equipos con el dispositivo conectado, buscar el apartado Puertos COM y LPT, ver **Captura 1**.



**Captura 1:** Administrador de equipos

Fuente: Elaboración propia

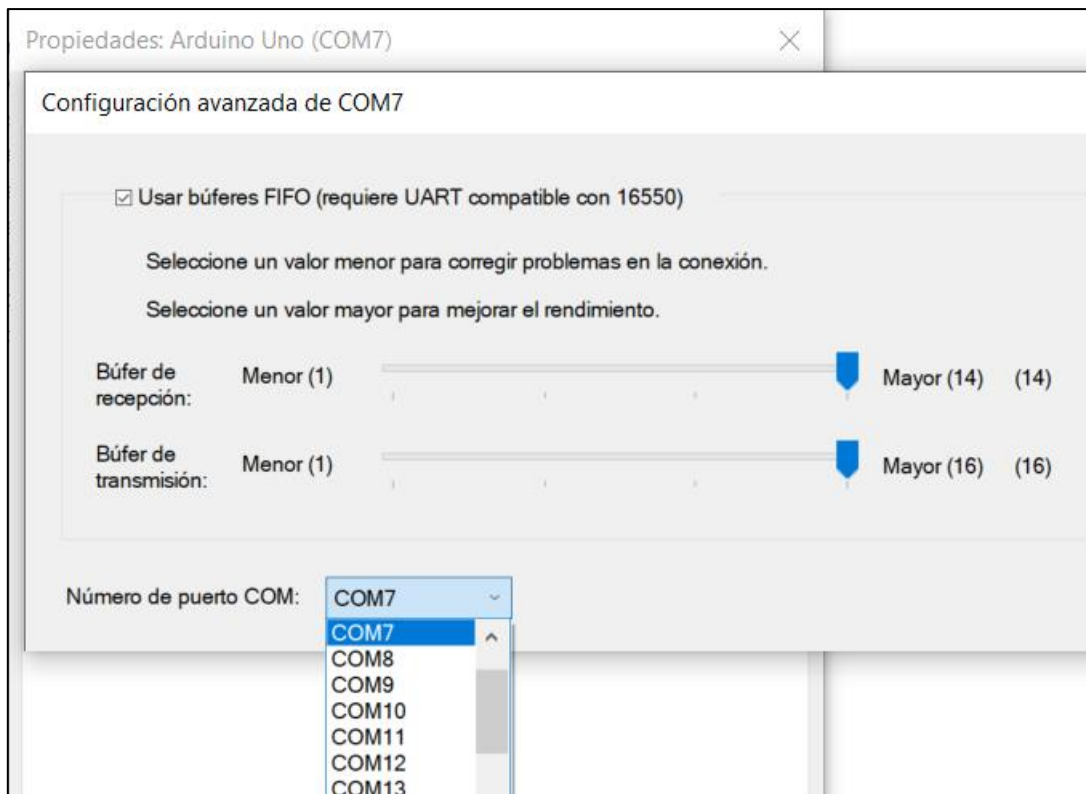
- Hacer doble clic sobre el dispositivo e ir a la pestaña Configuración de puerto aquí se configura el protocolo de comunicación, en este caso **8N1** (8 bits de datos, sin paridad y 1 bit de parada) a 9600 baudios (ver **Captura 2**). En opciones avanzadas se pueden configurar el número de puerto asignado (ver **Captura 3**). Estas son las características por defecto de la comunicación serie con Arduino.



**Captura 2:** Propiedades Puerto COM

Fuente: Elaboración propia





**Captura 3:** Configuración avanzada puerto COM

Fuente: Elaboración propia

- 3 En el código para el ordenador se crea un elemento de *clase Serial*, en este caso se llama *Puerto*, para ello se utiliza la siguiente línea de código:

```
Serial* Puerto = new Serial("COM7");
```

Para comprobar que el puerto está correctamente conectado se utiliza:

```
Puerto -> isConnected();
```

Devuelve un 0 si no está disponible y un 1 en caso contrario.

Para enviar y recibir datos a través del puerto COM:

```
Puerto -> WriteData(buffer, sizeof(buffer) - 1);
```

```
n = Puerto -> ReadData(lectura, 49);
```

*Buffer* y *lectura* son dos arrays de char que contienen el mensaje a enviar y el mensaje recibido, respectivamente. *n* es una variable entera que representa la longitud del mensaje recibido.



### **fstream:**

Para acceder a un fichero se debe crear un elemento de *clase fstream* para un fichero que de solo lectura (*ifstream*) llamado *fichero*, ligado al archivo de texto *TFG.txt*.

Solo lectura: `ifstream fichero("TFG.txt");`

Solo escritura: `ofstream fichero("TFG.txt");`

Lectura y escritura: `fstream fichero("TFG.txt");`

Utilizando *fichero >> 'Variable destino'* se puede copiar el contenido de una línea del fichero en la variable deseada, y utilizando *fichero << 'Variable origen'* se puede escribir el contenido de la variable en una línea del fichero.

El constructor de la clase por defecto abre el fichero para su utilización, por ello cuando se terminen las operaciones en el archivo hay que cerrarlo mediante:

```
fichero.close();
```

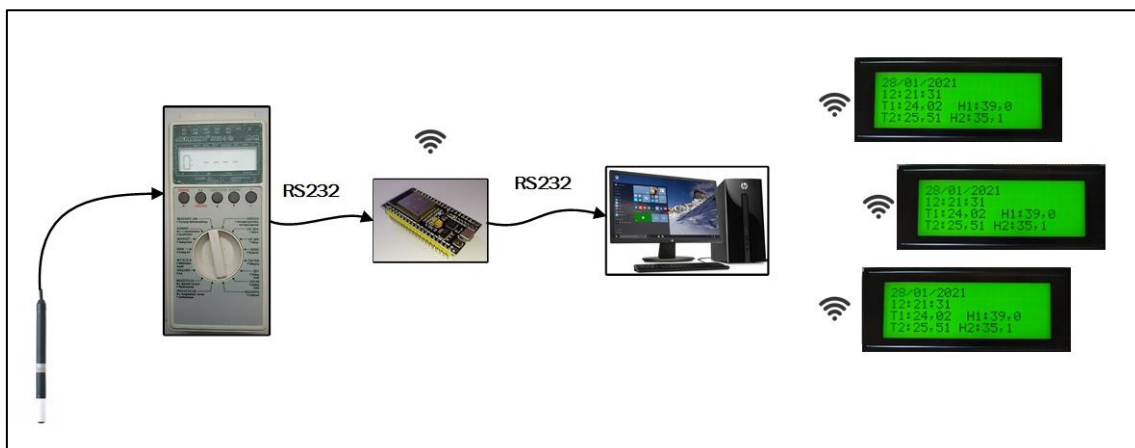


### Idea 3: ESP32 entre el datalogger y el ordenador:

Mediante esta solución, no se necesita ningún programa en el ordenador, el ESP32 toma la señal de datos Tx que va del datalogger al ordenador. El protocolo RS232 de la señal no es admitido por el ESP32, por ello se necesita convertir tanto el rango de tensiones (de  $\pm 12V$  a 0-5V) de la señal, como la lógica digital utilizada, en RS232 el 0 se representa por tensión positiva y en TTL con 0V y el 1 por tensión negativa en RS232 y por 5V en TTL, ver **Interfaz de datos RS-232**.

El ESP32 actúa como punto de acceso inalámbrico (servidor de datos), creando su propia red Wifi a la que se conectan los visualizadores o cualquier usuario conectado a dicha red que conozca la dirección IP del servidor.

Para que el ESP32 pueda tomar la señal de datos solo hay que desconectar el cable que une el datalogger y el ordenador por el extremo del datalogger, conectar ese extremo a la tarjeta con el ESP32 servidor y esta tarjeta conectarla al datalogger. De esta manera tanto ordenador como ESP32 reciben la información de temperatura y presión de las sondas.



**Figura 7:** Esquema de la Idea 3

Fuente: Elaboración propia

Esta es la idea que se desarrollará a lo largo del presente trabajo debido a su mayor relación con la electrónica y mejor dominio de los conceptos necesarios para su funcionamiento.





## Capítulo 2: Tecnología utilizada

### 2.1 Interfaz de datos RS-232

**Interfaz:** “Conexión, física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones” (Española, 2021)

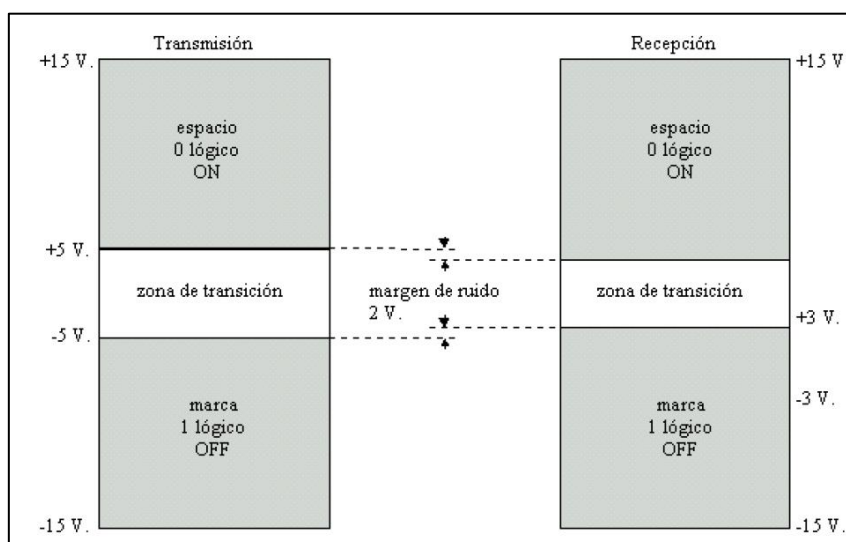
En 1969, la EIA<sup>5</sup> y los laboratorios Bell (AT&T) conjuntamente formularon y publicaron la recomendación EIA RS-232, que tras algunas revisiones se convirtió en RS-232-C.

La norma abarca la descripción de un “interfaz de propósito general entre un Equipo Terminal de Datos (ETD) y un Equipo de Comunicación de Datos (ETCD), mediante un intercambio de datos binarios en serie.

La comunicación se realiza mediante señales digitales, binarias codificadas por nivel de tensión. Se definen dos bandas de tensión una para el cero lógico y otra para el uno lógico. Las bandas son diferentes para emisión y recepción, ver **Figura 8**.

La norma especifica que el conector tendrá como máximo 25 patillas, cada una con una función asignada, ver **Figura 9**. Además, es posible cortocircuitar cualquier número de patillas del conector sin causar daños al equipo o a la interfaz.

Velocidad máxima recomendada de 20000 bps<sup>6</sup> y longitud máxima recomendada de 15 metros. La velocidad máxima y la distancia útil máxima se relacionan de forma inversa.



**Figura 8:** RS-232-C Características Eléctricas

(Fuente: (Pérez Turiel, 2020))

<sup>5</sup> Electronic Industries Alliance, Alianza de Industrias Electrónicas de Estados Unidos.

<sup>6</sup> Bits por segundo.

De las 25 señales de la interfaz RS232, solo se definen 21 circuitos de intercambio, quedando cuatro no asignados. Los definidos se clasifican en 5 grupos:

- Circuitos de masa.
- Circuitos de datos.
- Circuitos de control del interfaz.
- Circuitos de temporización.
- Canal secundario.

Solo el circuito de masa es de uso obligatorio.

La denominación de los circuitos se define respecto a su función en el lado ETD, de manera que, por ejemplo, el circuito de transmisión de datos es la salida de datos desde el ETD y el circuito de recepción de datos es la entrada de datos al ETD.

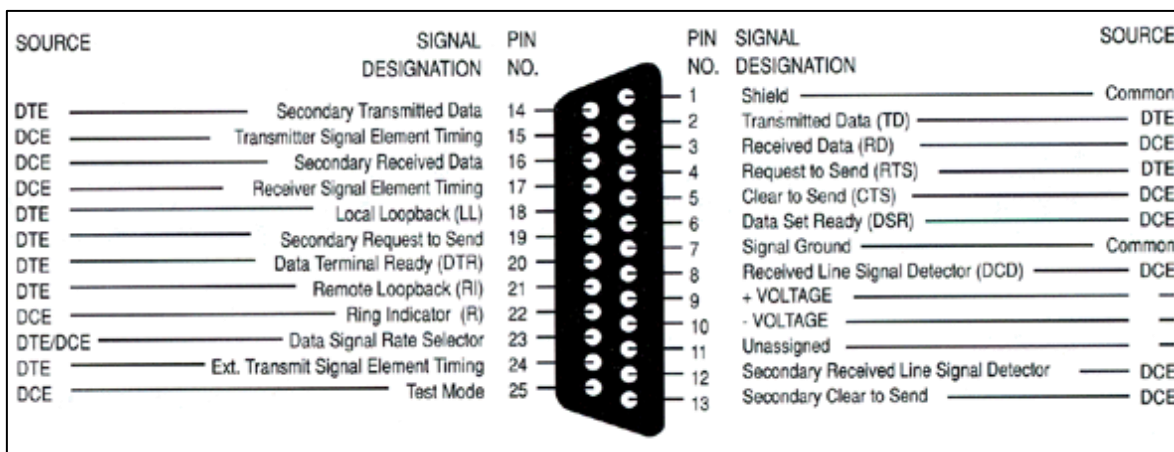
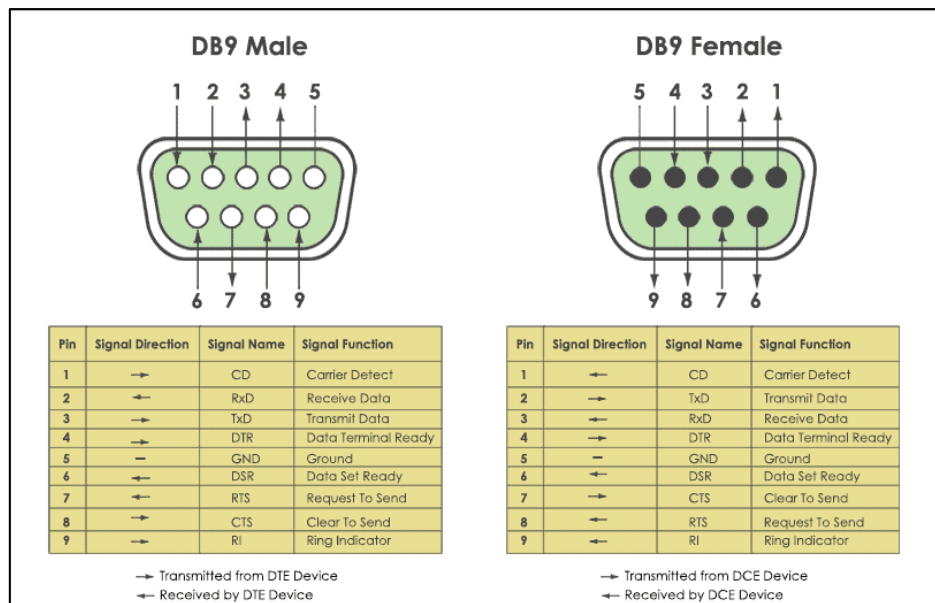


Figura 9: Pines del conector DB25 RS-232

(Fuente: (AGGSoftware, 2021))

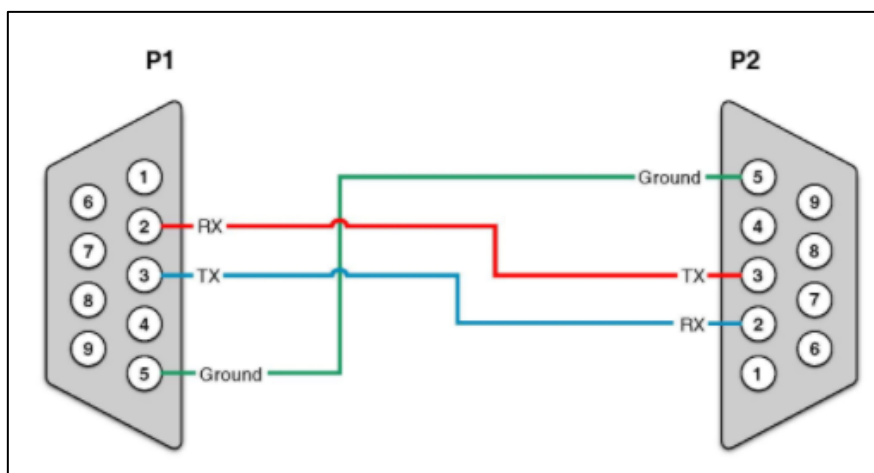
Para una comunicación completa (enviar y recibir datos), solo se necesitan 3 de los circuitos: GND, TD (Transmisión de datos) y RD (Recepción de datos). Por ello es habitual utilizar conectores reducidos como el DB9, ver Figura 10.



**Figura 10:** Pines Conector DB9

Fuente: (Diagram Database, 2021)

Aunque la norma se define para la conexión de un ETD y un ETCD, es posible conectar dos ETD entre sí. Para ello es suficiente con cruzar los conductores de transmisión (pin 2) y de recepción (pin 3), ver **Figura 11**.



**Figura 11:** Conexión entre dos ETD

Fuente: (AmericanCableAssemblies, 2021)



Tiempo después (1978) surge la norma RS-422 que supera las limitaciones de la norma RS-232-C. La nueva norma cambia los aspectos eléctricos de la interfaz, realizándose la transmisión de datos en modo diferencial, a través de dos pares de hilos independientes. Un par para el circuito de transmisión y otro para el de recepción. La tensión especificada es de +5V, de manera que en uno de los conductores del par se transmite en lógica positiva y simultáneamente en el otro par en lógica negativa, por ello la tensión existente entre ambos conductores es el doble de la tensión de alimentación.

El conductor empleado cuando no se utilizan circuitos de control es el par trenzado apantallado.

El uso de la doble codificación en lógica positiva y negativa permite obtener una variación efectiva de 10V entre el '0' y el '1' lógico. Esto da lugar a un mejor comportamiento ante interferencias, permitiendo aumentar la distancia máxima hasta 1200 metros, aunque esto depende inversamente de la velocidad de transmisión, al igual que en RS232.

Finalmente, en abril de 1983 la EIA presenta la interfaz RS-485, cuyas características son similares a la RS-422, pero ofrece mejores prestaciones en la conexión multipunto, permitiendo la conexión simultanea de hasta 32 dispositivos sobre un mismo par trenzado.





## 2.2 Pantalla TFT-LCD

La tecnología TFT<sup>7</sup> es una evolución de las pantallas LCD<sup>8</sup>. En las pantallas LCD los elementos de imagen se excitan de forma directa, esto hace que cada uno de los tres colores (subpíxeles) que forman cada pixel de la pantalla necesite conexiones por ambos extremos. Por ello, este sistema resulta viable en pequeñas pantallas como las de las calculadoras que habitualmente solo utilizan un color de texto sobre un fondo de otro color.

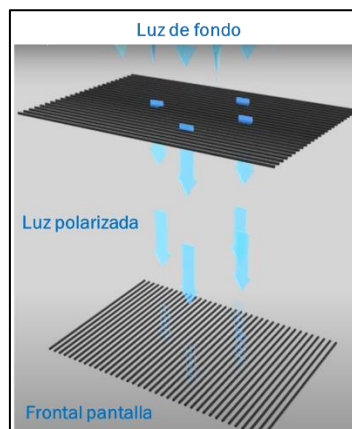


**Figura 12:** Pantalla LCD monocromática

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1 Tecnología LCD

Las pantallas LCD utilizan una iluminación trasera y dos filtros polarizadores cruzados a 90°. El primer filtro solo deja pasar la luz en una orientación, y al encontrarse esta con el segundo filtro en perpendicular, la luz no puede pasar y la pantalla se ve negra.



**Figura 13:** Filtros polarizadores de pantalla LCD

Fuente: (SCHWENKE, 2021)

<sup>7</sup> Thin Film Transistor, Transistor de Película Delgada

<sup>8</sup> Liquid Crystal Display, Pantalla de Cristal Líquido

Para que la luz pueda atravesar el segundo filtro polarizador necesita ser girada  $90^\circ$  en el camino. Para esta tarea se utiliza el cristal líquido, que son sustancias que combinan características de sólido y de líquido. Presentan la anisotropía de un sólido cristalino (algunas propiedades varían en función de la dirección considerada) y la movilidad entre moléculas de un líquido.

Los cristales líquidos se clasifican en función de la forma de sus moléculas, existiendo dos tipos principalmente:

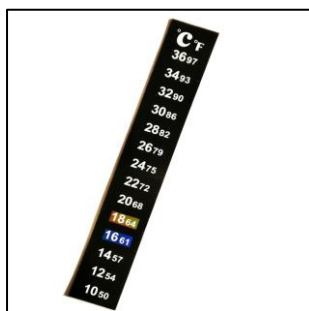
- **Cristales Líquidos Calamíticos:** moléculas en forma de varilla
- **Cristales Líquidos Discóticos o Columnares:** moléculas en forma de disco.

También se pueden dividir en función de que efecto origina el estado de cristal líquido:

- **Cristal Líquido Termótropo:** originado por el efecto de la temperatura.
- **Cristal Líquido Liótropo:** creados por la presencia de algún disolvente.

Un uso habitual de los cristales líquidos liótropos es en la industria de los cosméticos y los termótropos se emplean en los termómetros o pinturas termocromáticas que cambian la manera en que reflejan la luz al variar la temperatura, ver **Figura 14** y **Figura 15**.

Información adaptada de una publicación del (*Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea, Universidad de Zaragoza, 2021*).



**Figura 14:** Termómetro de cristal líquido

Fuente: (Alibaba, 2021)



**Figura 15:** Pintura termo-cromática

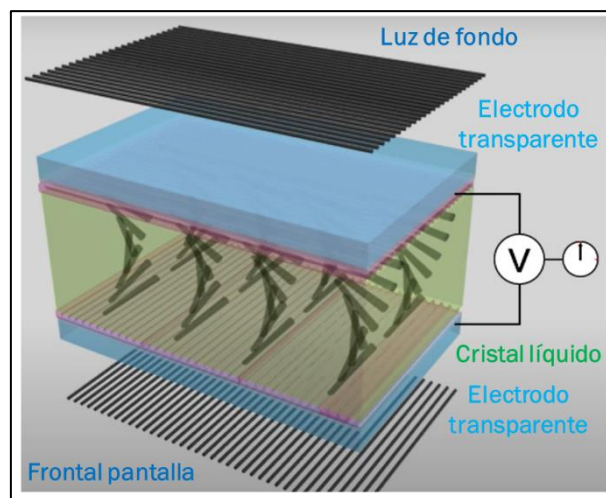
Fuente: (PintarSinParar, 2021)

En el caso de las pantallas se hace uso de las propiedades electroópticas, combinando la anisotropía de los cristales, la fluidez de los líquidos y las propiedades dieléctricas. Como resultado, al aplicar un campo electromagnético sobre el cristal líquido, las moléculas de este se orientan siguiendo la dirección del campo.



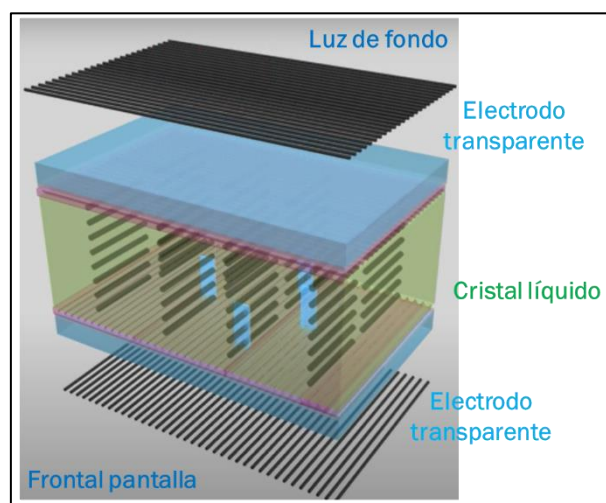
En la **Figura 16**, se ha añadido la capa de cristal líquido entre los dos filtros polarizadores, junto con dos electrodos que generan un campo electromagnético para cambiar la forma de las moléculas del cristal. En el estado que se muestra, la luz es girada por el cristal pudiendo pasar el último filtro de polarización, iluminando la pantalla. Sin embargo, en la **Figura 17** al variar la tensión en los electrodos, las moléculas se reorientan y la luz deja de cambiar de orientación, eliminando la imagen de la pantalla.

Al regular la tensión aplicada, se varía la orientación de los cristales, cambiando la cantidad de luz que puede pasar, variando la intensidad del color mostrado.



**Figura 16:** Cristal líquido pantalla LCD permitiendo el paso de la luz

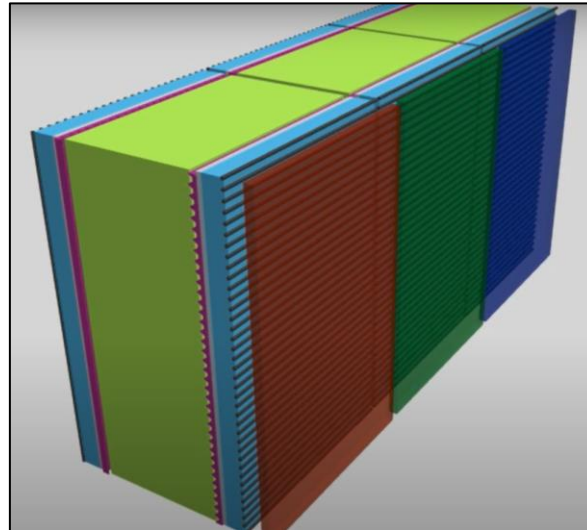
Fuente: (SCHWENKE, 2021)



**Figura 17:** Cristal líquido pantalla LCD impidiendo el paso de la luz

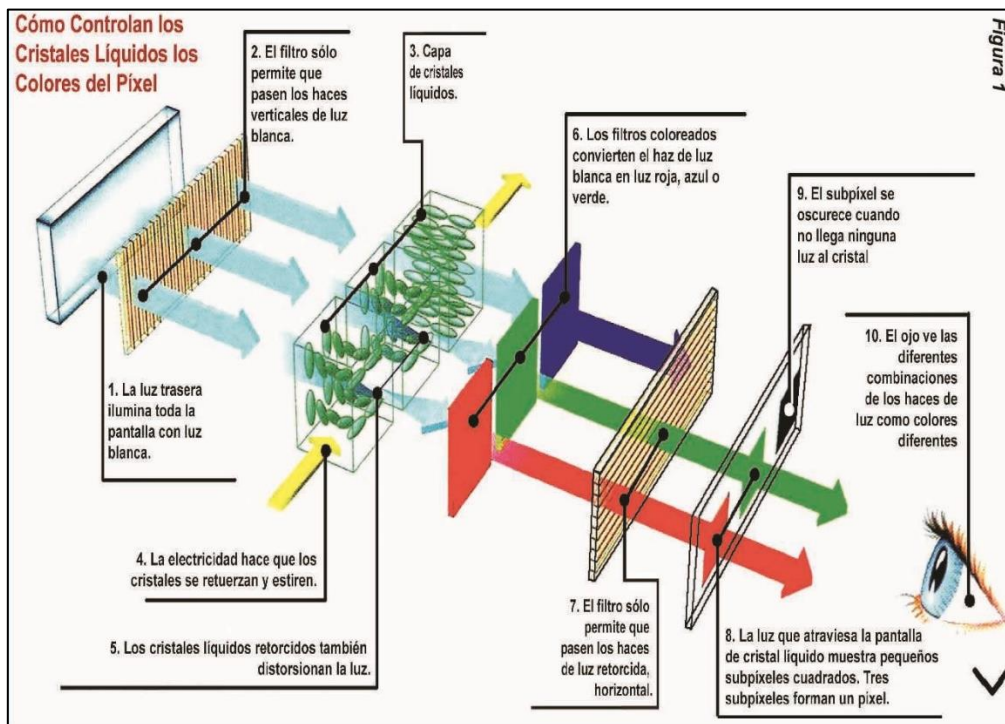
Fuente: (SCHWENKE, 2021)

Cada uno de los elementos explicados anteriormente formarían un píxel de una pantalla monocromática. Sin embargo, en las pantallas a color cada píxel está formado por tres subpíxeles, uno rojo, otro verde y otro azul (RGB). Estando cada uno formado por el conjunto anterior, junto con un filtro de color. Ver **Figura 18**.



**Figura 18:** Píxel RGB formado por tres subpíxeles

Fuente: (SCHWENKE, 2021)



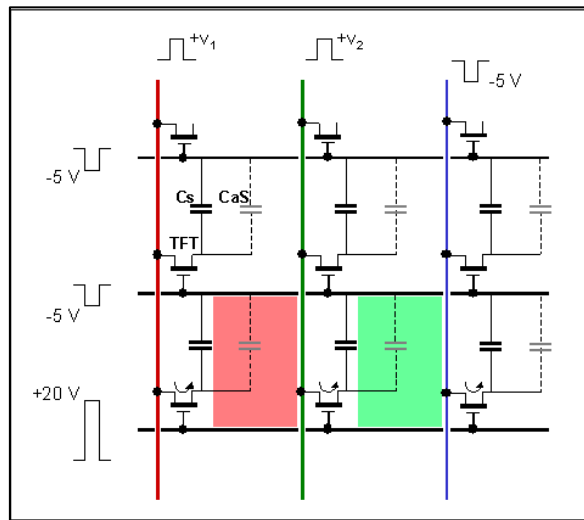
**Figura 19:** Esquema pixel pantalla LCD

Fuente: (Sanyo, 2021)



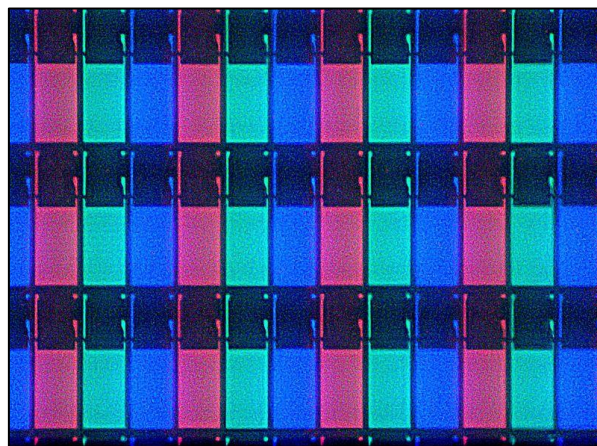
### 2.2.2 Tecnología TFT-LCD

El problema de las pantallas LCD es que cada subpíxel necesita estar controlado individualmente, dando lugar a millones de conexiones. Con la tecnología TFT, se conectan los subpíxeles por filas y columnas de manera que al aplicar tensión positiva en una fila y tensión negativa en una columna, el píxel situado en el cruce será el único activo. Sin embargo, aunque solo un píxel recibe la tensión completa, el resto de los píxeles de la fila y columna reciben parte de la tensión tendiendo a oscurecerse. Para evitar esto se añade un transistor conmutador a cada píxel.



**Figura 20:** Esquema píxel pantalla TFT

Fuente: (Wikimedia Commons, 2021)



**Figura 21:** Vista al microscopio de pantalla TFT

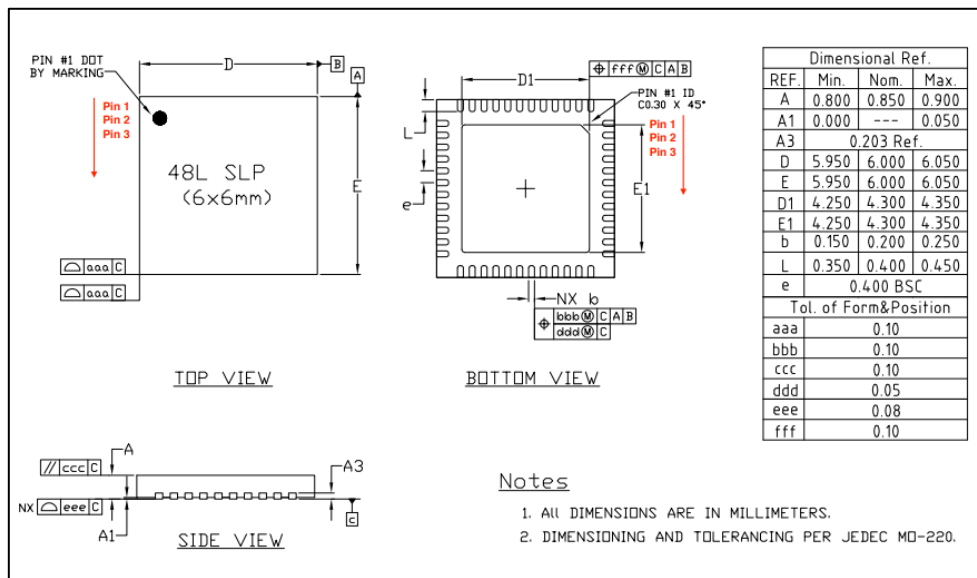
Fuente: (Wikimedia Commons, 2021)

### 2.3 ESP32

Es un microcontrolador con Wifi, Bluetooth y Bluetooth de Baja Energía (BLE) que permite trabajar desde sensores de baja-energía hasta las tareas más complejas como tratamiento de audio.

El núcleo del módulo es el chip ESP32-D0WDQ6:

- **D:** Doble núcleo
- **O:** Sin memoria flash integrada
- **WD:** Wi-Fi+ BT+ BTE.
- **Q6:** empaquetado QFN 6\*6, ver **Figura 22**.



**Figura 22:** Empaquetado QFN48 6x6mm

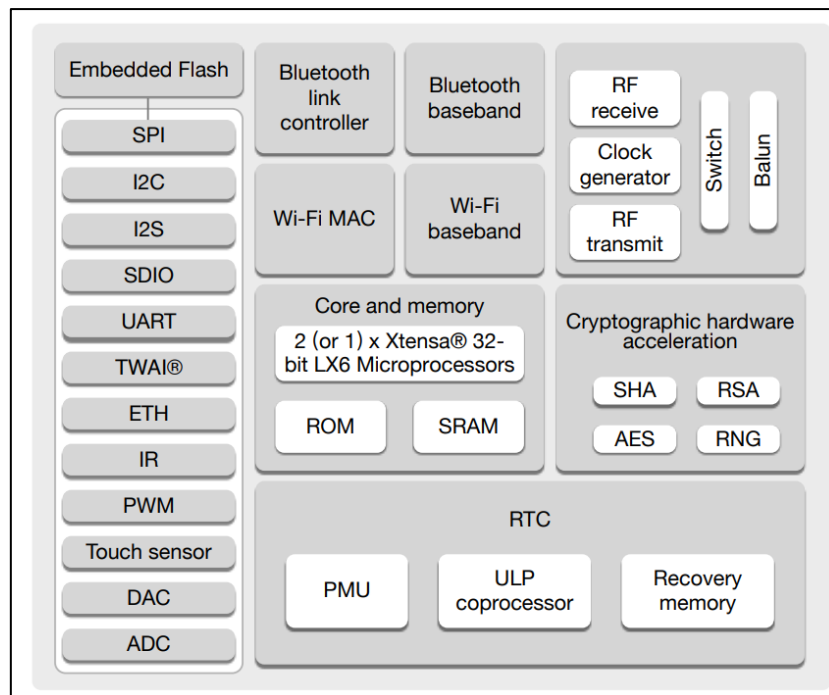
Fuente: (Espressif Systems, 2021)

Las dos CPUs pueden ser controladas individualmente y la frecuencia del reloj puede ajustarse de 80MHz a 240MHz. Para las tareas sencillas como monitoreo de los periféricos existe un coprocesador de bajo consumo que permite desactivar la CPU principal para ahorrar energía.

También se integran algunos periféricos como sensores capacitivos de contacto, sensores de efecto Hall, SPI<sup>9</sup> de alta velocidad, UART<sup>10</sup>, I2C, convertidores ADC y DCA, ver **Figura 23**.

<sup>9</sup> Serial Peripheral Interface, Interfaz de Periféricos en Serie

<sup>10</sup> Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, Transmisor-Receptor Asíncrono Universal



**Figura 23:** Diagrama funcional de las series ESP32

Fuente: (Espressif Systems, 2021)

El sistema operativo es FreeRTOS (*Real-Time operating system for microcontrollers*) junto con lwIP (*lightweight IP*), una pila TCP/IP alternativa de código abierto utilizada en los sistemas integrados.

Debido a su extendido uso existen diferentes comunidades que han desarrollado código que permite utilizar las funciones más complejas del procesador de manera más sencilla.

## 2.4 Sistemas BMS y baterías.

*Información extraída de los apuntes de (Vazquez, 2021)*

Para regular la carga y descarga de la batería se necesita un sistema de gestión de batería BMS<sup>11</sup>. Un sistema electrónico que gestiona una batería recargable y la protege mediante el análisis de diferentes parámetros.

Dependiendo del uso de la batería, el sistema BMS será más o menos complejo, incluyendo diferentes funciones y características entre las que destacan:

- **Protección de las celdas de la batería:** el sistema de gestión debe asegurar que las celdas trabajan dentro de sus márgenes de seguridad.
- **Control de la carga:** el sistema debe encargarse de que las condiciones durante la recarga de la batería son las adecuadas.
- **Control de la descarga:** el BMS debe garantizar que la batería trabaja en un régimen de descarga apropiado para la aplicación en la que se está usando y debe evitar que la batería sobrepase sus límites de funcionamiento para prolongar su vida útil.
- **Determinación del estado de carga:** es una función a través de la cual y mediante diferentes algoritmos, el sistema es capaz de reconocer en qué estado se encuentra la batería.
- **Determinación del estado de salud:** el sistema, a través de un análisis de diferentes parámetros debe ser capaz de saber si la batería o alguna celda se encuentra en buen estado o si por el contrario está dañada o ha perdido una parte importante de su capacidad.
- **Balance de celdas:** en una batería compuesta por múltiples celdas, es posible que no todas se encuentren en el mismo estado y esto afecta directamente al rendimiento y al deterioro de toda la batería. Por ello el sistema debe tratar de que todas las celdas estén en un estado lo más parecido posible.
- **Control de temperatura:** la temperatura es una variable determinante para el correcto funcionamiento de las baterías. Por ello el sistema debe conocer la temperatura de las celdas y del ambiente para, en caso de que se sobrepasen unos límites, aplicar las acciones necesarias para mantener la batería en una temperatura adecuada para no afectar a su rendimiento ni a su vida útil.

En sistemas más complejos e inteligentes, se pueden encontrar módulos que se encargan de recoger información histórica de diferentes parámetros de la batería, para comprobar que las celdas de la batería pertenecen al tipo que corresponde (por si se han cambiado celdas viejas por nuevas) o sistemas de comunicación con la batería para una mejor carga y descarga.

---

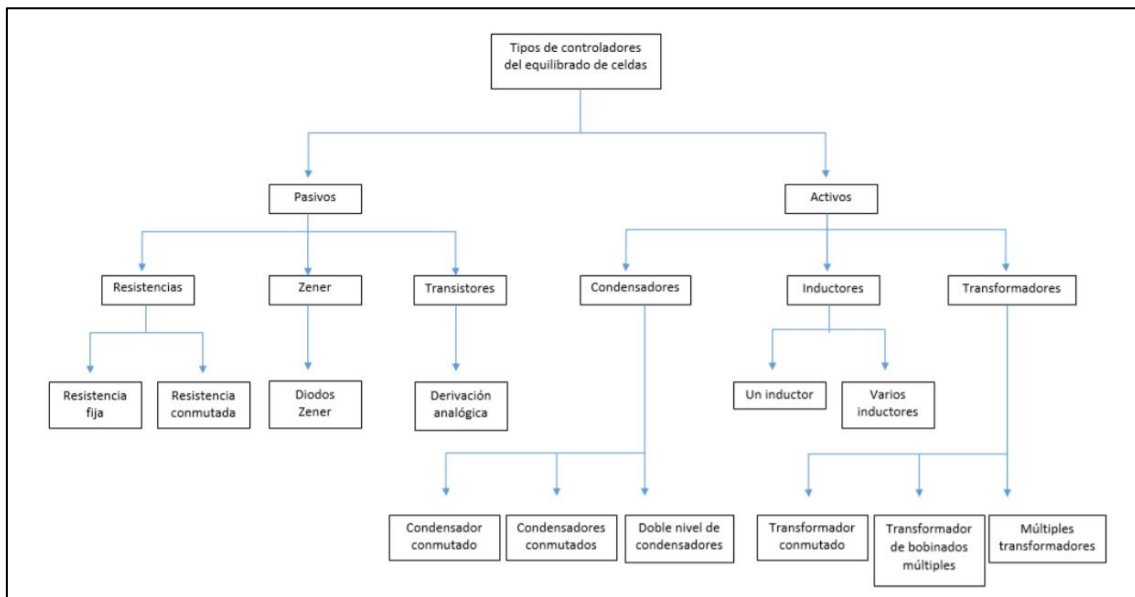
<sup>11</sup> Battery Manager System





Los sistemas de equilibrado de celdas se dividen en dos tipos, pasivos o activos, dependiendo si para el equilibrado consumen la energía de las celdas más cargadas o la transfieren a las celdas menos cargadas.

Los métodos pasivos o métodos de celda a calor transforman la energía en calor, por medio de distintos procedimientos. Los métodos activos, se clasifican en función de cómo reparten la energía sobrante de las celdas. Ver **Diagrama 2**.



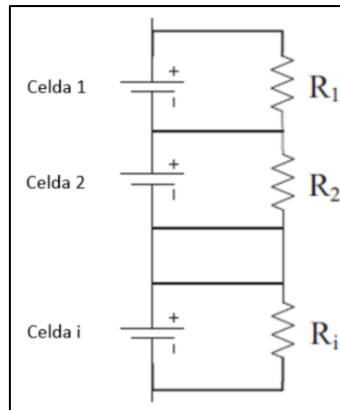
**Diagrama 2:** Categorías y procedimientos de equilibrado de baterías

Fuente: (Vazquez, 2021)

Los métodos pasivos son los más simples en cuanto a control e implementación y por tanto más baratos, por ello son los más empleados en la actualidad. Sus principales desventajas son la pérdida de la energía al disiparse en forma de calor. También existe la posibilidad de tener altas corrientes durante el periodo de disipación, lo cual implica tener componentes capaces de soportarlas, y capaces de disipar todo el calor generado.

Algunos métodos pasivos empleados son los siguientes:

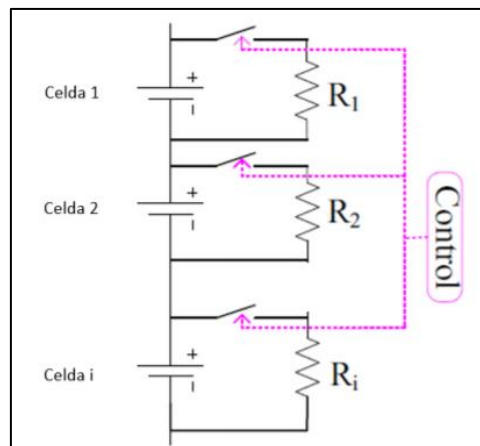
- **Resistencia fija:** Este método desvía constantemente corriente de las celdas a una resistencia fija en paralelo con ellas. Esta resistencia limita la tensión de cada celda a cambio de una pérdida constante de energía por la resistencia. Es el método más barato y simple, pero la continua pérdida de energía está llevando a reducir su uso en la actualidad.



**Figura 24:** Equilibrado de baterías por resistencia fija

Fuente: (Vazquez, 2021)

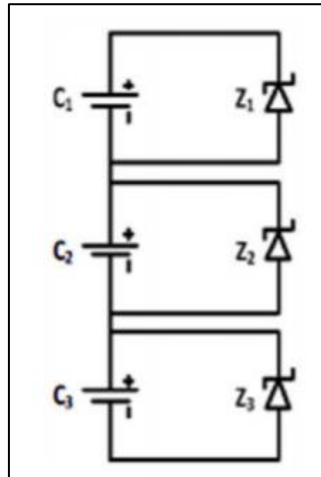
- **Resistencia conmutada:** se basa en la resistencia fija, pero para evitar un consumo continuo, se añade un interruptor controlado que conecta la resistencia a la celda solo para liberar la sobrecarga. Es un método un poco más complejo, pero es fácil y económico de implementar.



**Figura 25:** Equilibrado de baterías por resistencia conmutada

Fuente: (Vazquez, 2021)

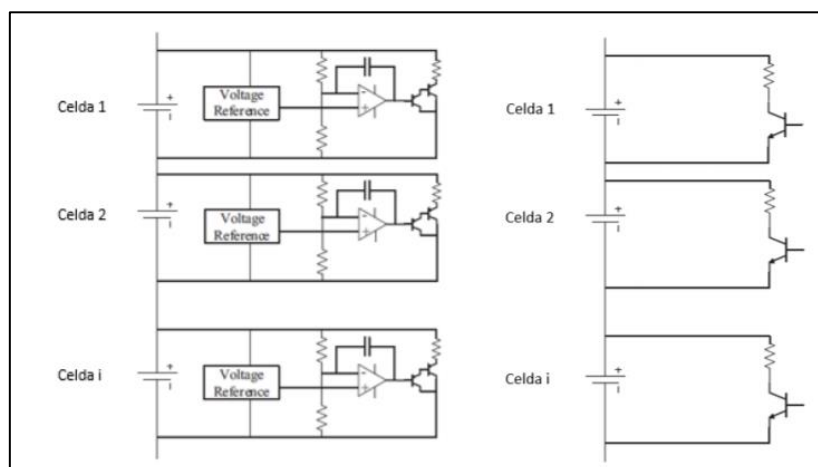
- **Diodos Zener:** se sustituyen las resistencias por diodos Zener, limitando la tensión, protegiendo a las celdas de la sobrecarga. Pero se generan grandes corrientes durante la carga y el equilibrado, por ello se necesitan componentes sobredimensionados y costosos.



**Figura 26:** Equilibrado de baterías por diodos Zener

Fuente: (Vazquez, 2021)

- **Derivación analógica:** Es el método más efectivo debido a que sustituye la resistencia por un transistor controlado por una referencia de tensión. De esta manera la tensión de la celda está controlada constantemente hasta que todas las celdas alcanzan la tensión media. El transistor opera en la zona lineal, y se emplea solamente en baterías de baja potencia debido a la baja capacidad de disipación de los transistores. Es más complejo que los circuitos anteriores ya que necesita controladores analógicos.



**Figura 27:** Equilibrado de baterías analógico

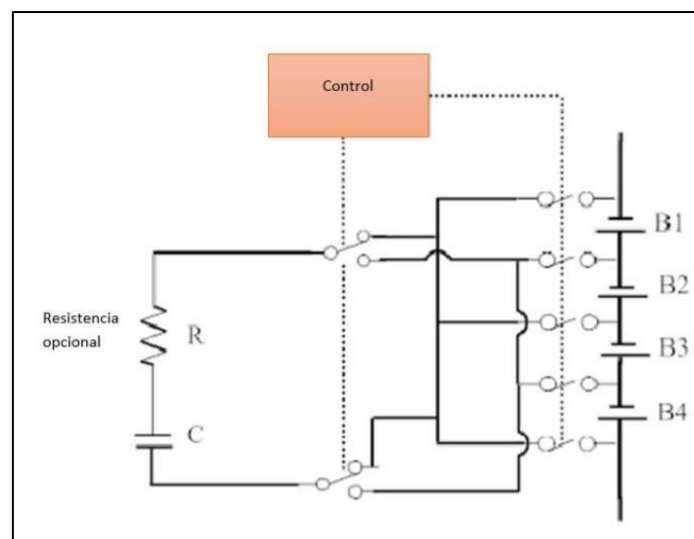
Fuente: (Vazquez, 2021)

En cuanto a los métodos activos, algunos son:

- **Condensador conmutado:** Existe un condensador y una serie de interruptores que se encargan de ir conectando el condensador en paralelo a las distintas celdas de la batería en un proceso cíclico. Cuando el condensador está conectado a una celda, la diferencia de tensión entre ambos hace que el condensador absorba o entregue carga de la celda. De esta manera, las celdas más cargadas transfieren carga al condensador y este se la pasa a las celdas más cargadas. Tras varios ciclos los potenciales se van igualando.

Este proceso es más lento cuanto mayor diferencia de tensión existe entre las celdas más alejadas de la serie. Esto se puede mejorar añadiendo medidores de tensión que especifiquen a que celdas se debe conectar el condensador, aunque se necesita un control más complejo.

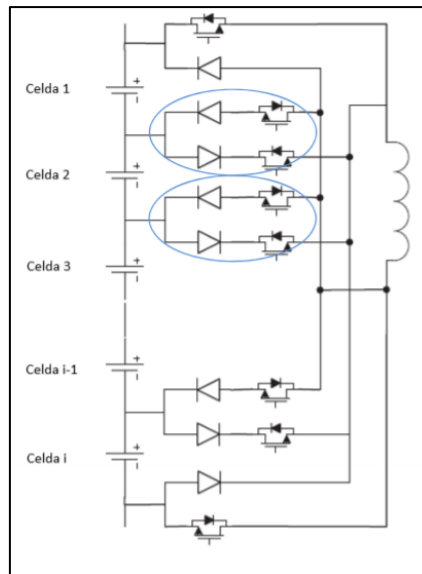
Para reducir las corrientes por el condensador se puede añadir una resistencia en serie.



**Figura 28:** Equilibrado de baterías por condensador conmutado

Fuente: (Vazquez, 2021)

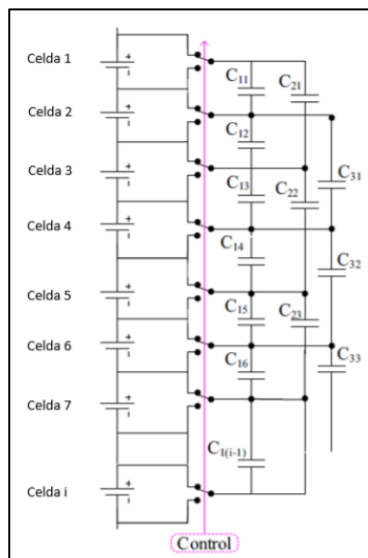
- **Un inductor:** similar al método de un condensador, pero emplea una inductancia como elemento para transferir energía. Los interruptores que conectan la inductancia a cada celda son unidireccionales, excepto los de los extremos, ya que la corriente en una inductancia no puede cambiar bruscamente. Es un método rápido pero el control es complejo.



**Figura 29:** Equilibrado de baterías por inductancia

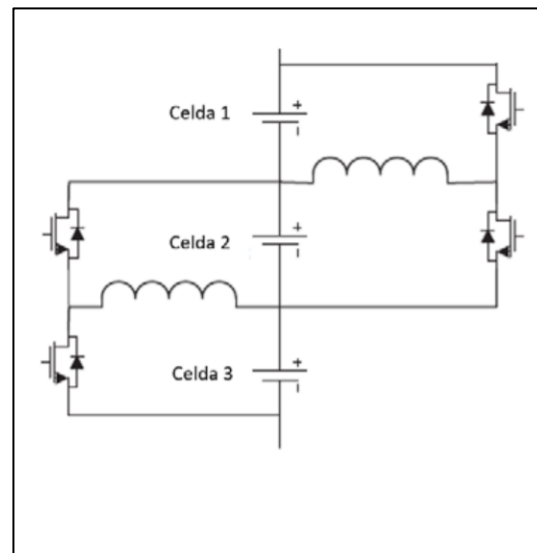
Fuente: (Vazquez, 2021)

Tanto para el método de condensador como de bobina, existen circuitos más complejos en los que se utilizan varios condensadores o varias bobinas para acelerar el proceso de equilibrado.



**Figura 30:** Equilibrado de baterías con varios condensadores

Fuente: (Vazquez, 2021)



**Figura 31:** Equilibrado de baterías con varias inductancias

Fuente: (Vazquez, 2021)

- **Transformador conmutado:** en este circuito se utiliza un transformador para transferir carga entre las celdas. Controlando como se carga el transformador se puede intercambiar energía de las celdas al paquete o del paquete a las celdas. El principal inconveniente de este sistema es que se requiere de un control preciso y continuo del estado de carga de cada celda.

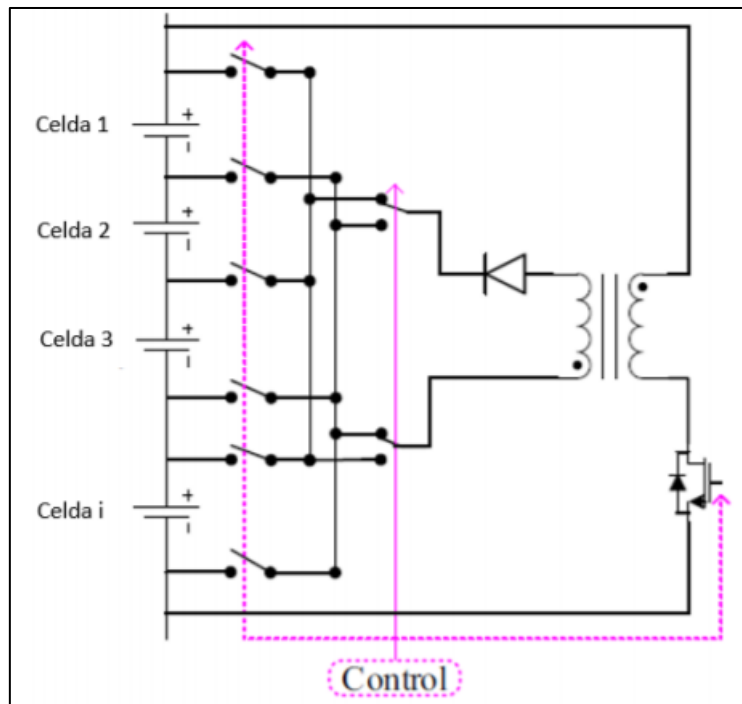


Figura 32: Equilibrado de baterías con transformador conmutado

Fuente: (Vazquez, 2021)

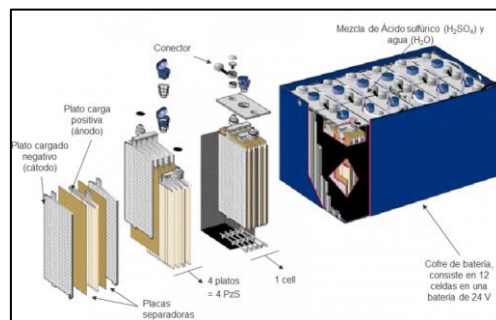
Existen distintos tipos de baterías en función de que están compuestas, esto afecta a la capacidad que almacenan, vida útil o incluso el daño medioambiental que pueden causar.

- **Baterías de plomo-ácido:** hoy en día son las más utilizadas en la industria, debido a que utilizan plomo (barato) tanto para la placa positiva como para la negativa. Ambas placas, la positiva ( $\text{PbO}_2$ , óxido de plomo) y la negativa ( $\text{Pb}$ , plomo puro esponjoso), están sumergidas en ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con el electrolito disuelto. Ambas placas se sulfatan y la densidad del electrolito disminuye.

Cuando se aplica una corriente eléctrica continua a la batería, la densidad del ácido aumenta, la placa positiva pierde sulfato y la placa negativa se oxida, quedando ambas placas cargadas por mucho tiempo. Al descargarse se produce la reacción inversa, la placa positiva se sulfata y en la negativa se produce la electrodeposición de plomo puro.

Las baterías de plomo ácido varían en función del uso que tengan:

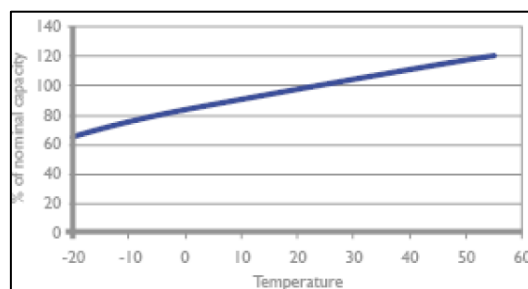
- **Baterías estacionarias:** están constantemente cargándose, por ello hay que tener cuidado de que no se sequen. Los materiales de la rejilla y el electrolito están diseñados para minimizar la corrosión. Se utilizan en sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) o de emergencia.
- **Baterías de tracción:** están sometidas a una constante y ligera descarga durante largos periodos de tiempo. Poseen electrodos gruesos, rejillas pesadas y exceso de material activo (Pb y PbO<sub>2</sub>). Se utilizan en carretillas elevadoras, sillas de ruedas eléctricas o automóviles eléctricos.
- **Baterías de arranque:** tienen la capacidad de descargar el máximo de corriente posible en un corto espacio de tiempo, manteniendo un alto voltaje. Tiene una baja resistencia interna, mediante una gran superficie de electrodo, poco espacio entre placas y conexiones “heavy-duty” (baja resistividad) entre celdas. Se utilizan en los motores de arranque de vehículos de motor diésel o gasolina.



**Figura 33:** Esquema batería ácido plomo

Fuente: (Exide Group, 2021)

La capacidad de estas baterías depende fuertemente de la temperatura respecto a la temperatura de diseño. La capacidad aumenta si la temperatura se incrementa, y viceversa. Esto no significa que se obtengan mejores resultados, porque una mayor temperatura acelera el proceso de reducción-oxidación, reduciéndose su vida útil.



**Figura 34:** Efecto de la temperatura sobre la capacidad de la batería

Fuente: (Vazquez, 2021)

- **Baterías de Níquel-Cadmio:** a diferencia de las baterías de Plomo-ácido, en estas el electrolito no participa en la reacción electrónica, por ello la densidad no depende del estado de carga. El electrolito es una disolución acuosa de hidróxido de potasio (KOH), y Níquel y Cadmio para cátodo y el ánodo respectivamente.

Cada elemento tiene una tensión nominal de 1.2V. Pueden realizarse descargas profundas y sobrecargas, por ello no necesitan reguladores. Pueden permanecer largos periodos de tiempo en bajo estado de carga sin dañarse. Durante la descarga la tensión se mantiene estable hasta casi el 90% de profundidad de descarga. Tiene una velocidad de recarga superior a otros tipos de baterías y una vida útil mucho mayor que las de plomo-ácido. Es muy costosa, tiene una auto descarga superior a las de plomo-ácido y el cadmio es tóxico.

- **Baterías de Ion- Litio:** debido a que el litio es el más liviano de los metales y posee un gran potencial electroquímico, si se usa como electrodo negativo se puede obtener alto voltaje y gran capacidad dando lugar a una alta densidad de energía.

En los años 80 se descubrió que el ciclaje de carga afecta la estabilidad térmica del electrodo de litio dando lugar a una fuga térmica que lleva rápidamente la temperatura de la celda a la temperatura de fusión del litio originando una violenta reacción. Esto llevó a desarrollar baterías de litio no metálico, usando iones de litio como el Dióxido de litio-cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ), haciéndolo seguro si se toman precauciones durante la carga y descarga.

Para el electrodo positivo se comenzó utilizando carbón y después grafito. Y para el electrodo negativo cobalto y manganeso.

Estas baterías tienen mucho menos impacto ambiental que las de cadmio o plomo.

- **Baterías de Litio-Fosfato de Hierro:** se emplea Fosfato de Hierro Litio ( $\text{LiFePO}_4$ ) como cátodo de una batería de iones de litio. Esto hace que la batería sea capaz de mantener su voltaje hasta el mismo momento de la descarga, además no hay peligro de explosión o incendio por sobrecarga. Pueden pasar largos periodos de tiempo a medio cargar sin dañarse y pueden cargarse hasta el 90% de su capacidad en 15 minutos.





- Baterías de Polímero de Litio:** son una variación de las baterías de iones de litio, en esas los iones de litio circulan entre los dos electrodos a través de un papel separador empapado en disolvente, debido a esto y que la humedad ambiental no ataca al grafito, hacen que tengan que estar selladas herméticamente en cápsulas de acero. Sin embargo, en las de polímero de Litio se emplea un electrolito sólido semejante a una película de plástico, que permite crear baterías de menor espesor y peso. Pero esta lámina seca no tiene buena conductividad y no permite generar potencias instantáneas altas, por ello en la mayoría de las baterías comerciales se agrega un electrolito gelificado, dando lugar a unas baterías híbridas entre las de Ion de litio y las de polímero de litio.

Tanto las baterías de Ion de litio como las de polímero de Litio, necesitan de circuitos externos que regulen la carga y descarga.



**Figura 35:** Batería Iones de litio de 3400mAh  
 Ø18 mm L55mm Peso: 48g  
 Fuente: (RS Components, 2021)



**Figura 36:** Batería LiPo de 3400mAh  
 62 x 49 x 10 mm Peso: 50g  
 Fuente: (RS Components, 2021)

En las curvas de descarga de una batería LiPo (**Figura 37**) se observa como la tensión de la batería se reduce a medida que se reduce su carga, y la manera en que evoluciona la tensión depende de la velocidad de descarga C (C rating), de manera que si, por ejemplo, la batería tiene una capacidad de 1000mAh, y la descargamos completamente en 1h (1C), nos proporcionará 1000mA. Sin embargo, si la descargamos con una velocidad de 2C, durará media hora y nos proporcionará 2A. Aunque esto no implica que la batería pueda proporcionar cualquier intensidad a cambio de reducir la duración de la carga. Los fabricantes suelen proporcionar dos valores de C, el primero más pequeño es la velocidad de descarga máxima admisible de forma constante y el segundo valor de C, la velocidad máxima de descarga a ráfagas, la batería admite esa descarga durante cortos intervalos de tiempo.

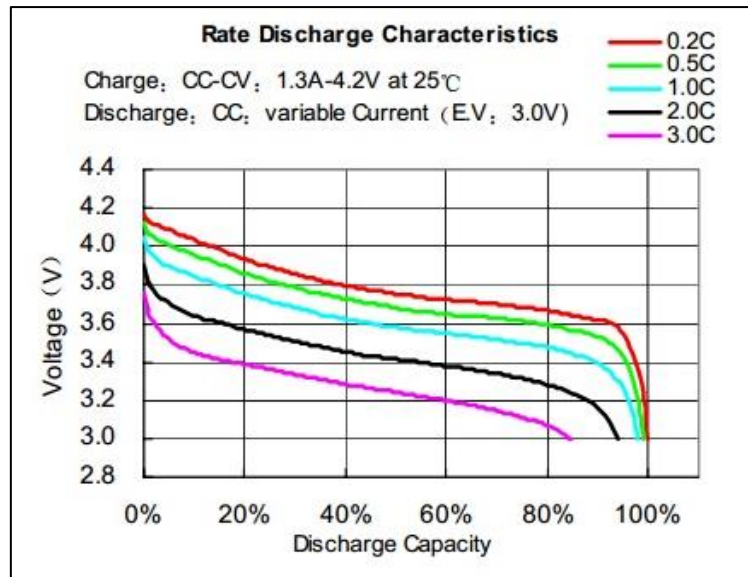


Figura 37: Curvas de descarga de una batería LiPo

Fuente: (EEMB Corporation, 2010)

En el proyecto se utilizará una batería LiPo, porque su pequeño espesor y forma rectangular coincide con la forma de los visualizadores, de manera que una batería de estas características se puede situar en la parte trasera del circuito permitiendo hacer el visualizador lo más delgado posible.

Como este tipo de batería necesita de un circuito externo que regule su carga y descarga, y la proteja de sobrecargas y descargas demasiado profundas. Se utiliza el módulo 03962A, que trabaja con baterías de una única celda y posee una entrada de 5V mediante micro USB-b.

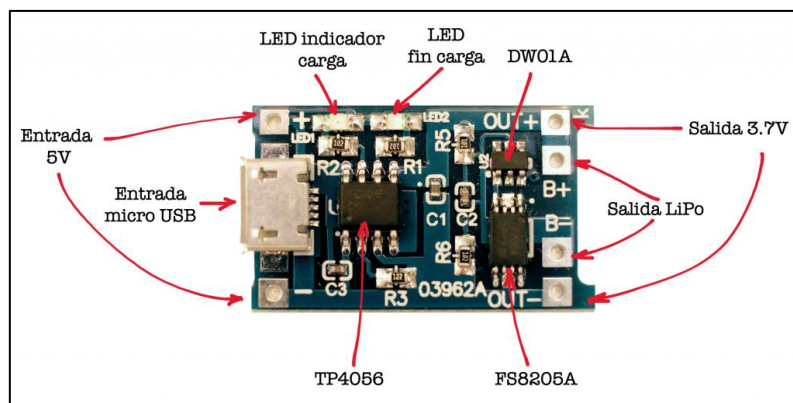


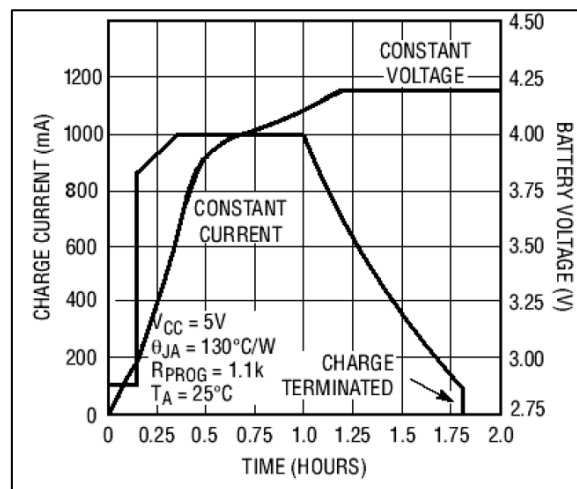
Figura 38: Módulo 03962A

Fuente: (Bike Pixels, 2021)



El módulo 03962A está formado por tres circuitos integrados:

- **TP4056:** cargador de corriente y tensión constante para baterías de Litio de una única celda, que permite regular la corriente de carga mediante una resistencia externa. La tensión nominal de carga es de 4.2V. Posee protección contra sobre descarga de la batería, activando automáticamente la recarga y una constante monitorización de la corriente, finalizando la carga cuando se alcanza un valor de 0.1C, ver **Figura 39**. También posee dos salidas para conectar un diodo led en cada una. Uno indica que la batería se ha cargado completamente y el otro que se está cargando.



**Figura 39:** Curva de carga del módulo 03962<sup>a</sup>

Fuente: (NanJing Top Power ASIC Corp., 2021)

- **DW01A:** protege la batería de sobrecargas y sobre descargas, cuando se activa la protección, en sus pines OC (pin de puerta de control de carga) u OD (pin de puerta de control de descarga) cambian de estado activando o desactivando dos MOSFET externos.

- **FS8205A:** circuito que implementa dos MOSFET, controlados por el circuito anterior para regular la carga y descarga de la batería.

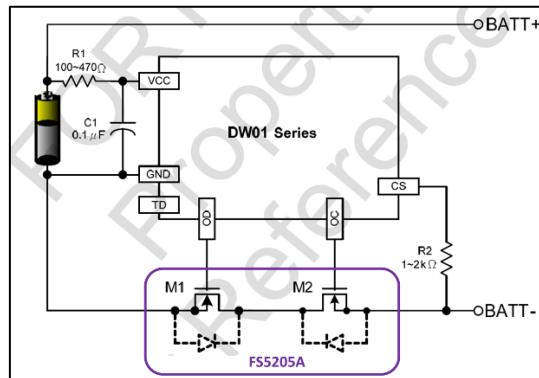


Figura 40: Circuito de protección de la batería del 03962A

Fuente: DW01A datasheet

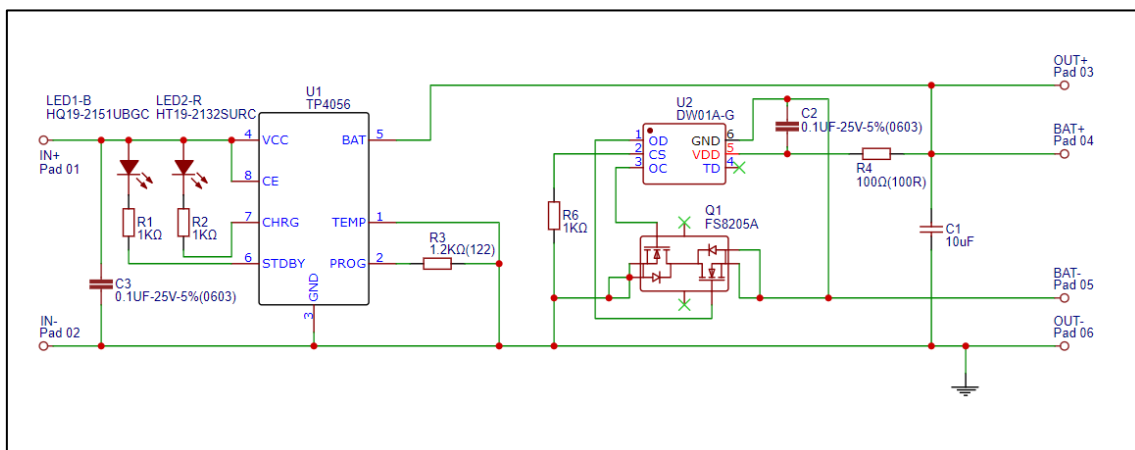


Figura 41: Esquema eléctrico del módulo 03962A

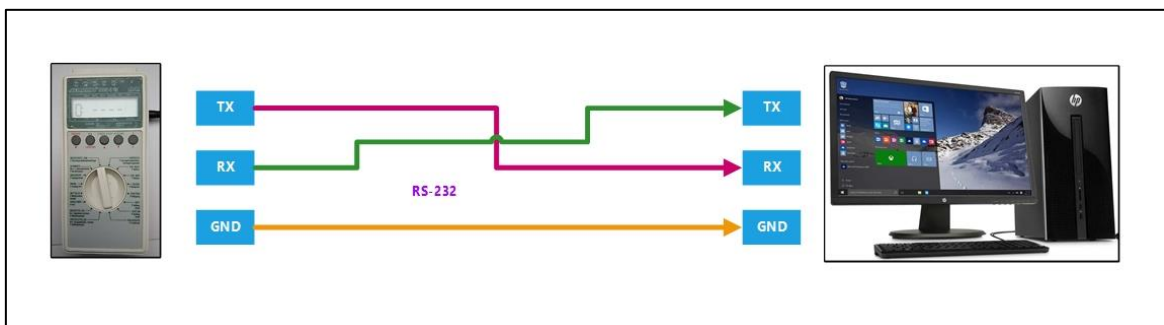
Fuente: (EasyEDA, 2021)



## Capítulo 3: Desarrollo de los circuitos

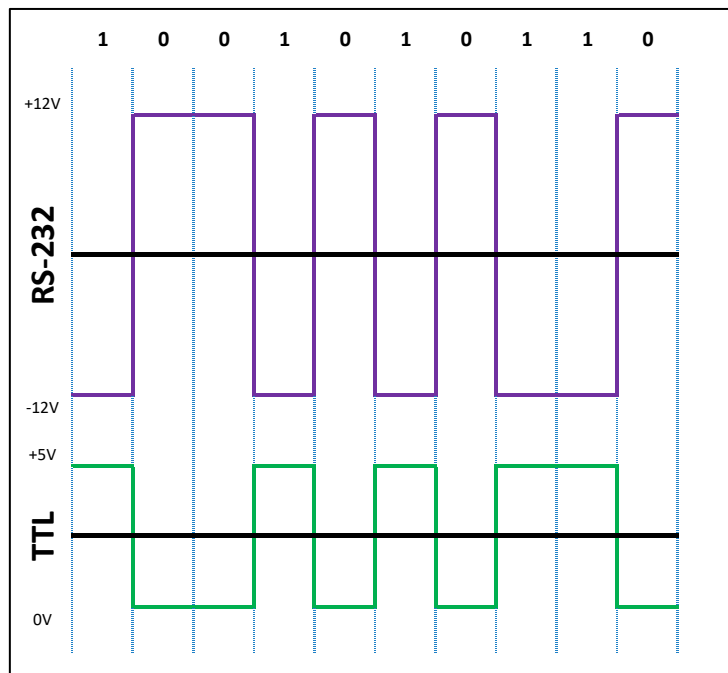
### 3.1 Servidor:

El registrador de datos del laboratorio se encuentra actualmente conectado a un ordenador por medio de una interfaz RS-232, (ver **Figura 42**), como la comunicación real entre ambos dispositivos es solo en un sentido, del datalogger al ordenador, será suficiente con tomar la señal Tx del cable, visto desde el datalogger, y convertirla a una señal de 0-3.3V con la lógica invertida respecto a la anterior, ver **Figura 43**. De manera que la conexión quedará como la descrita en la **Figura 44**.



**Figura 42:** Esquema conexión datalogger-ordenador

Fuente: Elaboración propia



**Figura 43:** Comparación de tensiones y lógica digital en RS-232 y TTL

Fuente: Elaboración propia

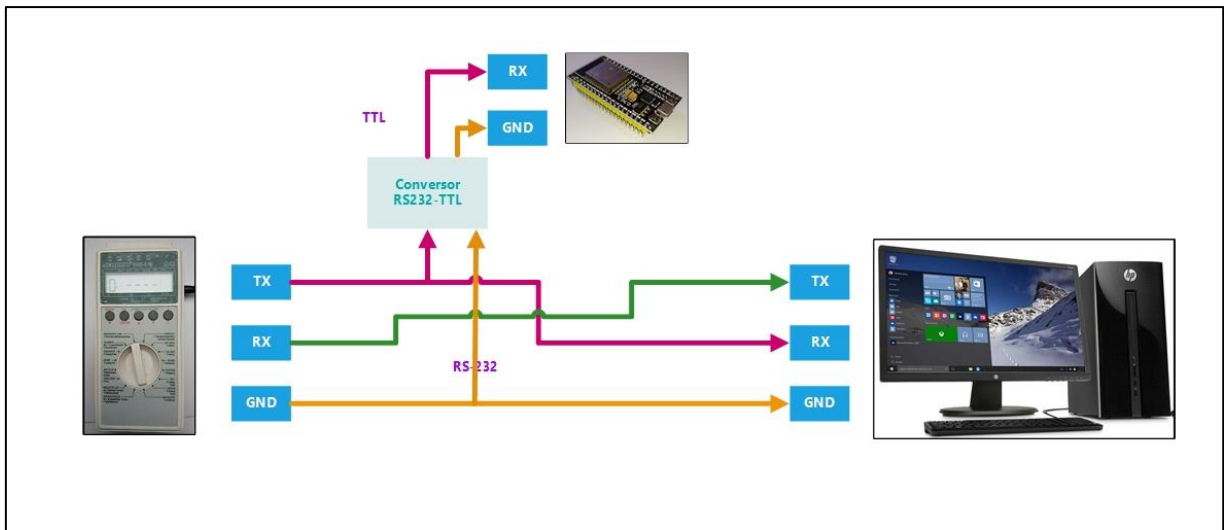


Figura 44: Esquema conexión datalogger-ordenador con ESP32

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1 Circuito conversor de RS232 a TTL

Para el circuito de conversión de RS232 a TTL se utilizará el mostrado en la Figura 45.

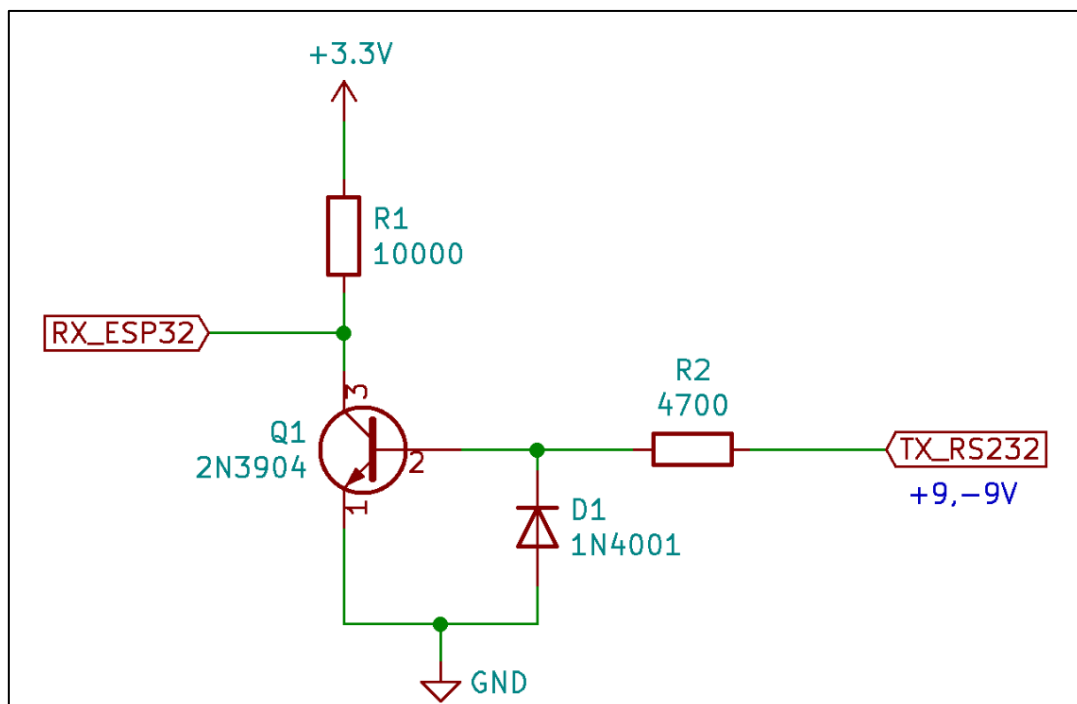


Figura 45: Circuito conversor de RS232 a TTL

Fuente: Elaboración propia



Los pines GPIO<sup>12</sup> del ESP32 actuando como entradas digitales tienen un consumo de corriente dependiendo de si están recibiendo un uno lógico ( $I_{IH}$ ) o un cero lógico ( $I_{IL}$ ), de manera que el circuito conectado a ellos debe ser capaz de suministrar la intensidad necesaria para el correcto funcionamiento. Estos valores están definidos por el fabricante en el datasheet del ESP32-Wroom32, ver **Tabla 1**.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	
$C_{IN}$	Pin capacitance	-	2	-	pF	
$V_{IH}$	High-level input voltage	$0.75 \times VDD^1$	-	$VDD^1 + 0.3$	V	
$V_{IL}$	Low-level input voltage	-0.3	-	$0.25 \times VDD^1$	V	
$I_{IH}$	High-level input current	-	-	50	nA	
$I_{IL}$	Low-level input current	-	-	50	nA	
$V_{OH}$	High-level output voltage	$0.8 \times VDD^1$	-	-	V	
$V_{OL}$	Low-level output voltage	-	-	$0.1 \times VDD^1$	V	
$I_{OH}$	High-level source current ( $VDD^1 = 3.3\text{ V}$ , $V_{OH} \geq 2.64\text{ V}$ , output drive strength set to the maximum)	VDD3P3_CPU power domain <sup>1, 2</sup>	-	40	-	mA
		VDD3P3_RTC power domain <sup>1, 2</sup>	-	40	-	mA
		VDD_SDIO power domain <sup>1, 3</sup>	-	20	-	mA

**Tabla 1:** Características eléctricas a 3.3V y 25°C del ESP32-WROOM32

Fuente: (Espressif Systems, 2020)

El valor  $VDD^1$  se obtiene del datasheet de las series del ESP32. Este valor depende de cada pin del dispositivo que se agrupan en tres dominios de potencia, ver **Figura 47**:

- **VDD\_SDIO:** Interfaz de conexión a tarjeta SD. SD+IO “Secure Digital Input/Output”, es una de las cinco versiones del formato SD, siendo el resto: SDSC, Capacidad Estándar, SDHC, Alta Capacidad, SDXC, Capacidad Extendida y SDUC, Ultra Capacidad. Los dispositivos que soportan SDIO son pequeños módulos periféricos como GPS, Wifi, bluetooth, lectores de códigos de barras o incluso pequeñas cámaras que están diseñados para encajar en una ranura SD, ver **Figura 46**.



**Figura 46:** Cámara portátil hp Photosmart con SDIO

Fuente: (Wikimedia Commons, 2021)

<sup>12</sup> General Purpose Input/Output, Entrada/Salida de Propósito General.

- VDD3P3\_CPU: Alimentación de las CPUs de 1.8V a 3.6V
- VDD3P3\_RTC: “Real Time Clock”,

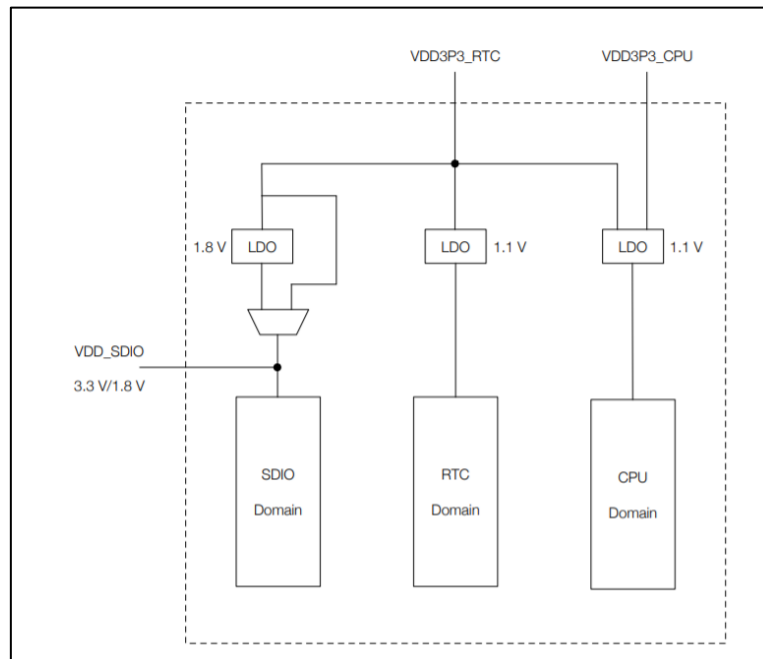


Figura 47: Esquema de potencia del ESP32

Fuente: (Espressif Systems, 2021)

Pin No.	Power Supply Pin	Analog Pin	Digital Pin	Power Domain	Analog Function1	Analog Function2
1	VDDA			VDDA supply in		
2		LNA_IN		VDD3P3		
3	VDD3P3			VDD3P3 supply in		
4	VDD3P3			VDD3P3 supply in		
5		SENSOR_VP		VDD3P3_RTC	ADC_H	ADC1_CH0
6		SENSOR_CAPP		VDD3P3_RTC	ADC_H	ADC1_CH1
7		SENSOR_CAPN		VDD3P3_RTC	ADC_H	ADC1_CH2
8		SENSOR_VN		VDD3P3_RTC	ADC_H	ADC1_CH3
9		CHIP_PU		VDD3P3_RTC		
10		VDET_1		VDD3P3_RTC		ADC1_CH6
11		VDET_2		VDD3P3_RTC		ADC1_CH7
12		32K_XP		VDD3P3_RTC	XTAL_32K_P	ADC1_CH4
13		32K_XN		VDD3P3_RTC	XTAL_32K_N	ADC1_CH5
14			GPIO25	VDD3P3_RTC	DAC_1	ADC2_CH8
15			GPIO26	VDD3P3_RTC	DAC_2	ADC2_CH9
16			GPIO27	VDD3P3_RTC		ADC2_CH7
17			MTMS	VDD3P3_RTC		ADC2_CH6
18			MTDI	VDD3P3_RTC		ADC2_CH5
19	VDD3P3_RTC			VDD3P3_RTC supply in		
20			MTCK	VDD3P3_RTC		ADC2_CH4

Tabla 2: Fragmento tabla IO\_MUX

Fuente: (Espressif Systems, 2021)





En el caso del pin 16, el valor de VDD es VDD3P3\_RTC que se corresponde con un valor de tensión típico de 3.3V, ver **Tabla 3**.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
VDDA, VDD3P3_RTC <sup>1</sup> VDD3P3, VDD_SDIO (3.3 V mode) <sup>2</sup>	Voltage applied to power supply pins per power domain	2.3	3.3	3.6	V
VDD3P3_CPU	Voltage applied to power supply pin	1.8	3.3	3.6	V
$I_{VDD}$	Current delivered by external power supply	0.5	-	-	A
T <sup>3</sup>	Operating temperature	-40	-	125	°C

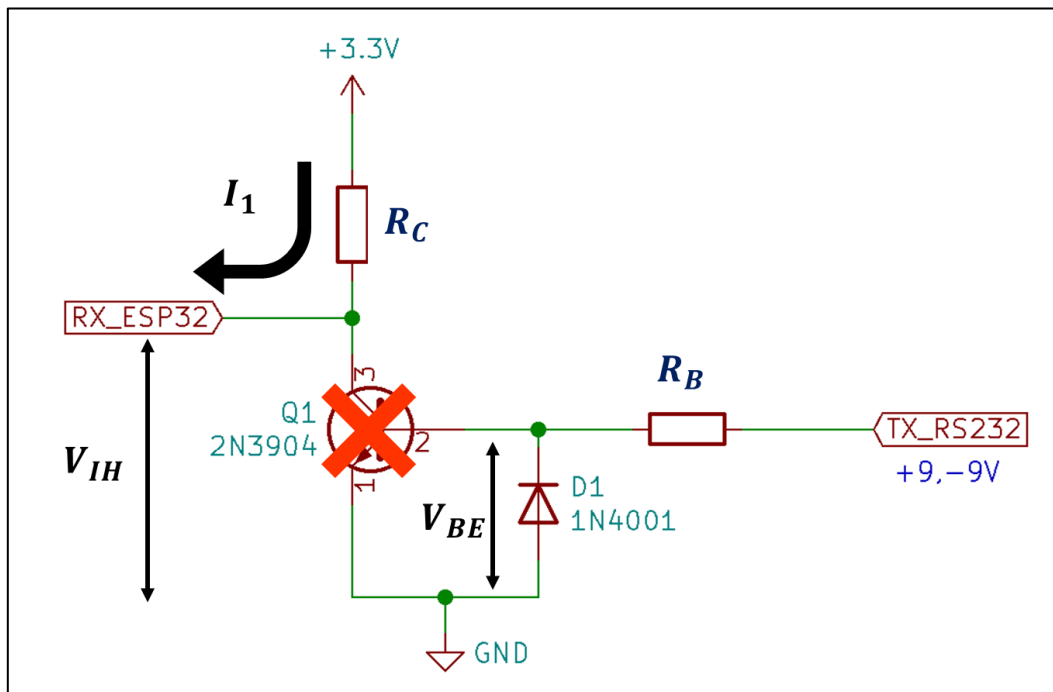
**Tabla 3:** Condiciones de operación recomendadas

Fuente: (Espressif Systems, 2021)

Por tanto, el pin 16 necesita una tensión mínima de entrada de 2.475V para que se detecte un uno lógico. Además, el circuito debe ser capaz de suministrar una corriente en el peor caso de  $I_1 = I_{IH_{máx}} \leq 50nA$ , ver **Tabla 1**.

$$V_{IH_{min}} = 0.75 * VDD3P3\_RTC = 0.75 * 3.3V = 2.475V \quad [1]$$

Análisis del circuito con el transistor en corte:



**Figura 48:** Corriente y tensiones con transistor en corte

Fuente: Elaboración propia

Resolviendo la malla de  $I_1$  para el transistor en corte, de manera que se da la mayor  $I_C$  al estar el pin Rx en estado alto  $V_{IH}$ , se obtiene:

$$V_{CC} - R_C \cdot I_1 - V_{IH_{min}} = 0 \text{ si } I_1 = I_{IH}$$

$$V_{CC} - R_C \cdot I_{IH} - V_{IH_{min}} = 0 \quad [2]$$

$$I_{IH} \geq I_{IH_{m\acute{a}x}} \rightarrow I_{IH_{m\acute{a}x}} \leq \frac{V_{CC} - V_{IH_{min}}}{R_C} \rightarrow$$

$$R_C \leq \frac{V_{CC} - V_{IH_{min}}}{I_{IH_{m\acute{a}x}}} \rightarrow R_C \leq \frac{3.3V - 2.475V}{60 \text{ nA}} \rightarrow R_C \leq 16.5 \text{ M}\Omega$$

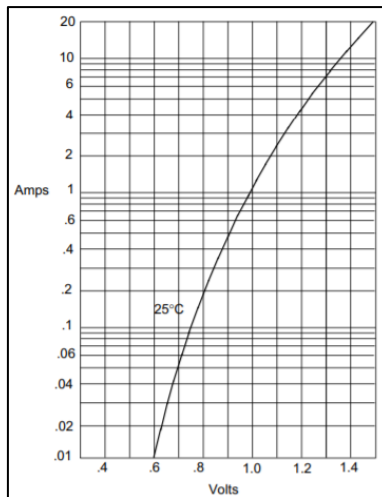
En este estado se puede dar que la tensión entre base y emisor del transistor supere la que puede aguantar la unión,  $V_{EB_{break}} = 6 \text{ V} \rightarrow V_{BE_{break}} = -6 \text{ V}$ , ver **Tabla 4**.

Electrical Characteristics <small>T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted</small>					
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10 \text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
$I_{BL}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 3 \text{ V}$		50	nA
$I_{CEX}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 3 \text{ V}$		50	nA

**Tabla 4:** 2N3904: Características eléctricas en corte del transistor

Fuente: (Fairchild Semiconductor Corporation, 2014)

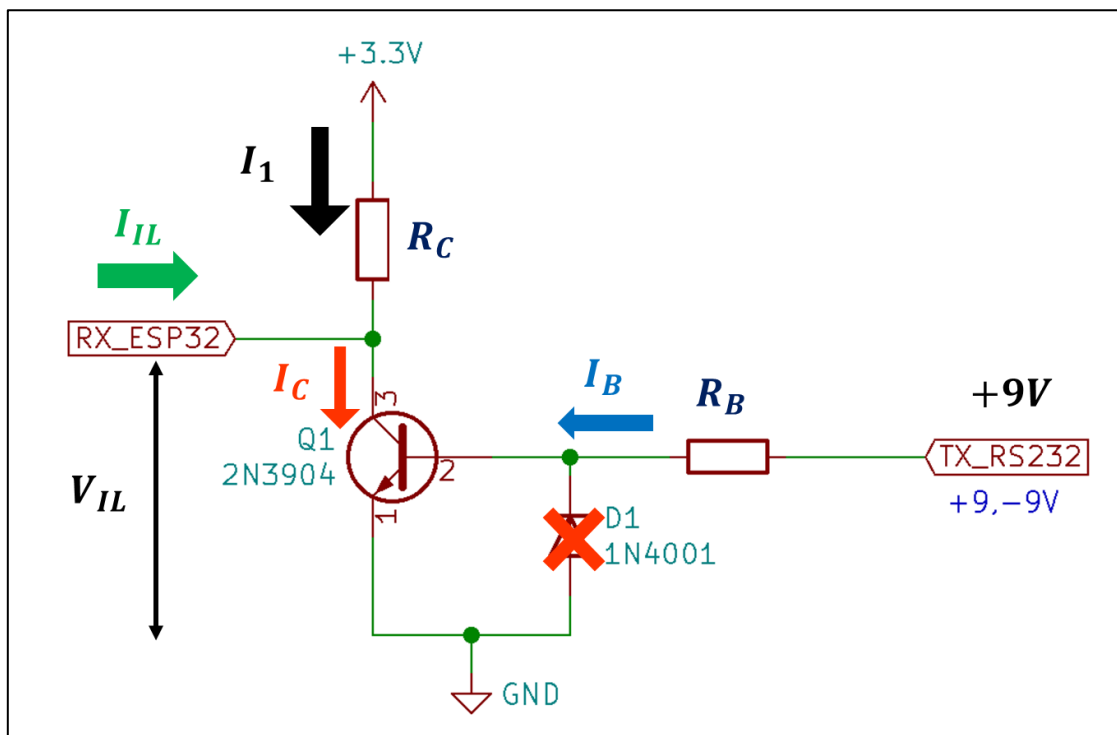
Como la tensión de base-emisor está definida por la conexión del RS232 a  $\pm 9\text{V}$ . Como  $-V_{BE_{RS232}} = -9 \text{ V} \rightarrow |-V_{BE_{RS232}}| = 9 \text{ V} > |V_{BE_{break}}| = 6 \text{ V}$  el transistor se dañaría ante esta tensión, por ello hay que limitar la tensión  $-V_{BE}$ . Utilizando un diodo como el **1N4001**, la tensión queda limitada a  $-V_{BE} = -0.6 \text{ V}$ , al ser la corriente del protocolo RS232 muy baja, ver **Captura 4**.



**Captura 4:** Tensión del diodo 1N4001 en función de la corriente

Fuente: (Vishay General Semiconductor, 2011)

Análisis del circuito con el transistor en saturación:



**Figura 49:** Corrientes y tensiones con transistor en saturación

Fuente: Elaboración propia

Resolviendo la malla para  $I_1$  se obtiene:

$$V_{CC} - R_C \cdot I_1 - V_{CE_{sat}} = 0$$

$$\text{Como } I_{IL} = 50 \text{ nA} \ll I_1 \rightarrow I_C \cong I_1 \Rightarrow V_{CC} - R_C \cdot I_C - V_{CE_{sat}} = 0 \quad [3]$$

Resolviendo la malla para  $I_B$  se obtiene:

$$+V_{RS232} - R_B \cdot I_B - V_{BE_{sat}} = 0 \quad [4]$$

Además:  $I_C = \beta \cdot I_B + (\beta + 1)I_{C0}$  considerando  $I_{C0} \approx 0 \rightarrow I_C = \beta \cdot I_B$

$$\text{en saturación } I_B > \frac{I_C}{\beta} \quad [5]$$

Según el datasheet del transistor 2N3904, ver **Tabla 5** y **Tabla 6**.

$$I_{C_{max}} = 200 \text{ mA}, V_{CE_{sat}} \in [0.2, 0.3] \text{ V}, V_{BE_{sat}} \in [0.85, 0.95] \text{ V y } h_{fe} = 60$$

Despejando  $I_C$  de [2] se obtiene:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE_{sat-max}}}{R_C} < I_{C_{max}} \rightarrow R_C > \frac{V_{CC} - V_{CE_{sat-max}}}{I_{C_{max}}}$$
$$R_C > \frac{3.3 \text{ V} - 0.3 \text{ V}}{200 \text{ mA}} = 15.5 \Omega \rightarrow R_C > \mathbf{15 \Omega}$$

De manera que  $R_C \in [15 \Omega, 16.5 \text{ M}\Omega]$

$$\text{Se elige } R_C = \mathbf{10 \text{ K}\Omega} \rightarrow I_C = \mathbf{0.31 \text{ mA}}$$

Conocido  $I_C$  y sustituyendo en [5] se obtiene:

$$I_B > \frac{0.31 \text{ mA}}{60} = \mathbf{5.17 \mu A} = I_{B_{min}} \text{ para garantizar que se trabaja entre corte y saturación.}$$

Despejando  $I_B$  de [4] se puede calcular el valor mínimo de  $R_B$ :

$$I_B = \frac{V_{RS232} - V_{BE_{sat-max}}}{R_B} > I_{B_{min}} \rightarrow R_{B_{min}} < \frac{V_{RS232} - V_{BE_{sat-max}}}{I_{B_{min}}}$$
$$R_B < \frac{9 \text{ V} - 0.95}{5.17 \mu A} = \mathbf{1.55 \text{ M}\Omega}$$

Luego  $R_B = \mathbf{4700 \Omega} \rightarrow I_B = \mathbf{1.71 \text{ mA}}$



Absolute Maximum Ratings* <small>T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted</small>			
Symbol	Parameter	Value	Units
V <sub>CEO</sub>	Collector-Emitter Voltage	40	V
V <sub>CBO</sub>	Collector-Base Voltage	60	V
V <sub>EBO</sub>	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I <sub>C</sub>	Collector Current - Continuous	200	mA
T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

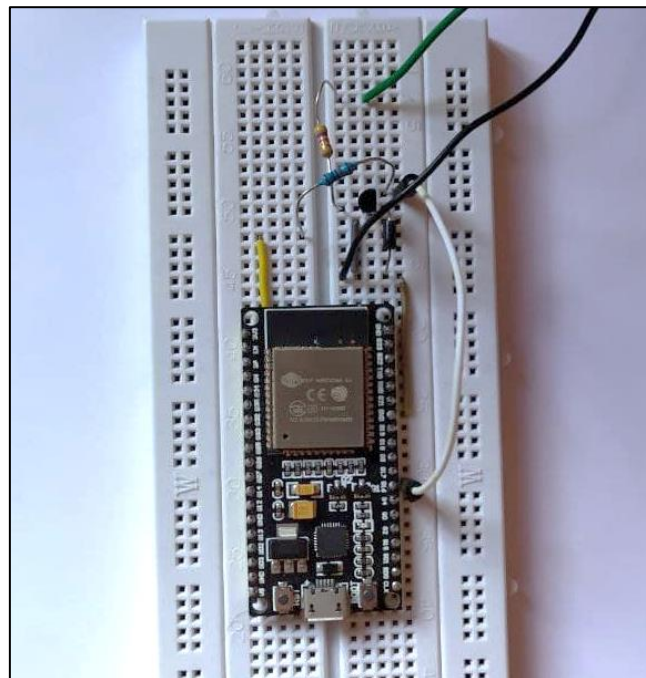
**Tabla 5:** Valores máximos del transistor 2N3904

Fuente: (Fairchild Semiconductor Corporation, 2014)

ON CHARACTERISTICS*					
h <sub>FE</sub>	DC Current Gain	I <sub>C</sub> = 0.1 mA, V <sub>CE</sub> = 1.0 V	40	300	
		I <sub>C</sub> = 1.0 mA, V <sub>CE</sub> = 1.0 V	70		
		I <sub>C</sub> = 10 mA, V <sub>CE</sub> = 1.0 V	100		
		I <sub>C</sub> = 50 mA, V <sub>CE</sub> = 1.0 V	60		
		I <sub>C</sub> = 100 mA, V <sub>CE</sub> = 1.0 V	30		
V <sub>CE(sat)</sub>	Collector-Emitter Saturation Voltage	I <sub>C</sub> = 10 mA, I <sub>B</sub> = 1.0 mA		0.2	V
		I <sub>C</sub> = 50 mA, I <sub>B</sub> = 5.0 mA		0.3	V
V <sub>BE(sat)</sub>	Base-Emitter Saturation Voltage	I <sub>C</sub> = 10 mA, I <sub>B</sub> = 1.0 mA	0.65	0.85	V
		I <sub>C</sub> = 50 mA, I <sub>B</sub> = 5.0 mA		0.95	V

**Tabla 6:** Características en saturación del transistor 2N3904

Fuente: (Fairchild Semiconductor Corporation, 2014)



**Figura 50:** Prueba del circuito del servidor en protoboard

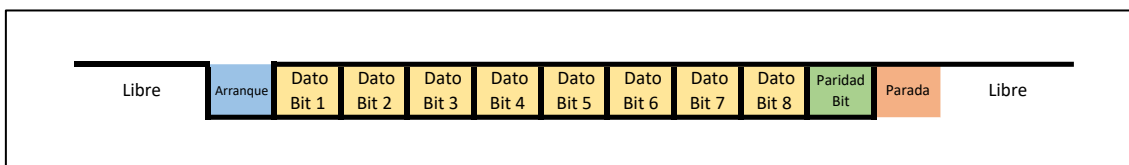
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1.1 Prueba de la comunicación serie

Para simular el datalogger se utiliza un cable conversor de USB a RS232 con conector DB-9 hembra, la misma salida del datalogger. Utilizando el hyperterminal Hércules SETUP utility (de HW-group) se envían las mismas cadenas de caracteres que utiliza el datalogger del laboratorio.

Se utiliza una transmisión asíncrona cuya unidad de transmisión es el carácter usando codificación ASCII<sup>13</sup>. Para una correcta comunicación ambos interlocutores deben utilizar la misma velocidad de comunicación y el mismo formato de carácter.

Cuando la línea está libre el emisor la mantiene al nivel del 1 lógico, en el caso de RS232 a 12V y en el caso de USB/TTL a 5V, Para indicar al receptor que va a recibir un carácter, el emisor comienza enviando un *bit de arranque* cuyo nivel lógico es el 0, opuesto al estado de reposo de la línea, esto activa la circuitería del receptor para recibir los bits de datos. Tras estos se puede mandar un bit de paridad y por último uno o varios bits de parada que coinciden con el estado de reposo de la línea.



**Figura 51:** Comunicación asíncrona

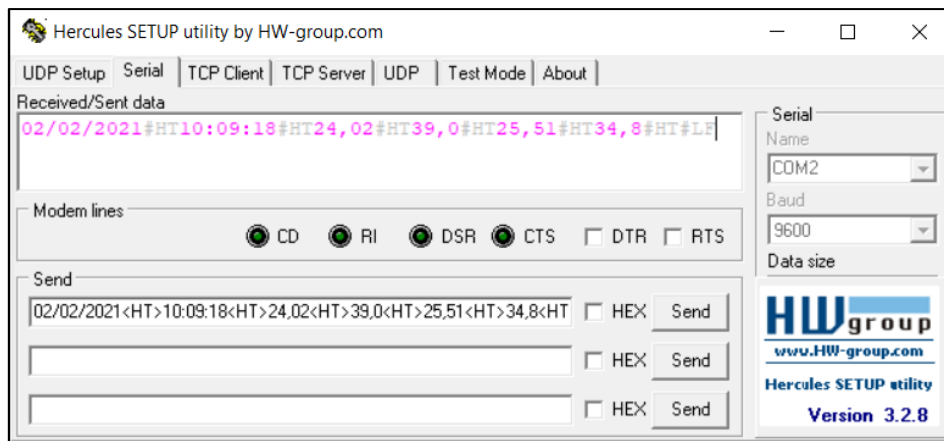
Fuente: Elaboración propia

Utilizando el hyperterminal Hércules se envía la siguiente cadena de caracteres (ver **Captura 5**):

```
02/02/2021<HT>10:09:18<HT>24,02<HT>39,0<HT>25,51<HT>34,8<HT><LF>
```

Los caracteres entre <> son códigos ASCII, siendo HT el Tabulador horizontal y LF Nueva línea.

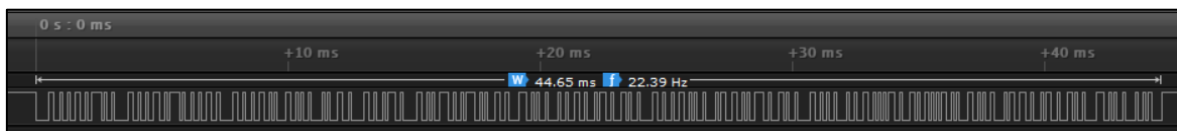
<sup>13</sup> American Standard Code for Information Interchange, Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información.



**Captura 5:** Envío mensaje con hyperterminal Hércules

*Fuente: Elaboración propia*

Utilizando el analizador lógico se puede observar la trama TTL que se obtiene a la salida del circuito conversor, ver **Captura 6**. La transmisión completa de la trama lleva un tiempo de 44.65ms que equivale a una frecuencia de 22.39Hz.

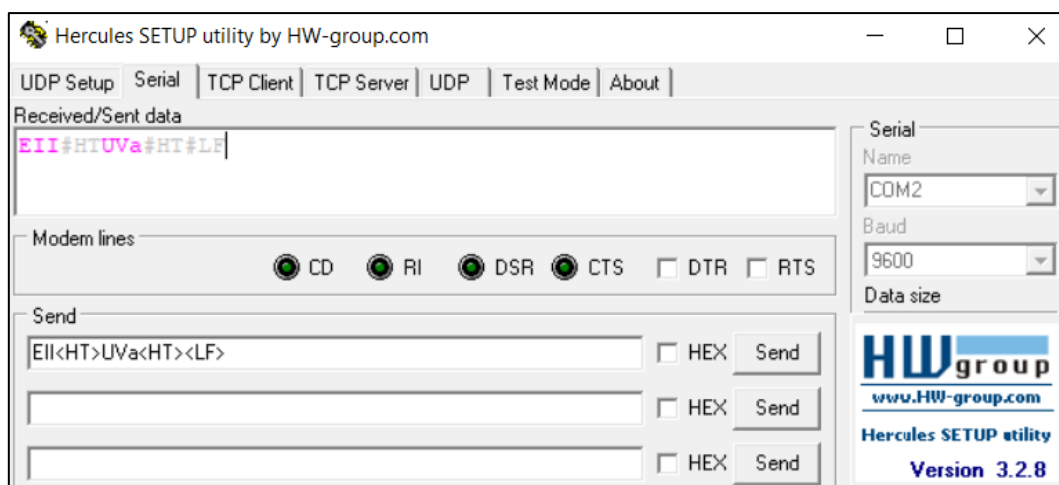


**Captura 6:** Trama Analizador lógico, mensaje completo

*Fuente: Elaboración propia*

Para analizar la trama transmitida se analiza un caso más sencillo con el siguiente conjunto de caracteres, ver **Captura 7**:

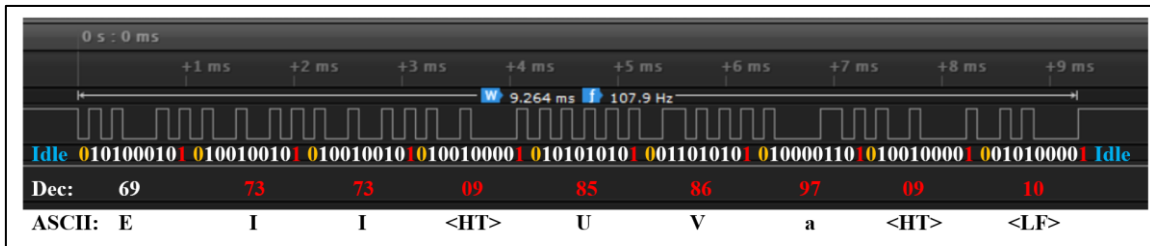
EII<HT>UVa<HT><LF>



**Captura 7:** Envío mensaje corto hyperterminal hércules

*Fuente: Elaboración propia*

La trama obtenida con el analizador lógico se puede ver en la **Captura 8** junto con su análisis al transformar los pulsos a los estados lógicos binarios correspondientes, su conversión a número decimal y el carácter ASCII que representan. Teniendo en cuenta que el bit de la derecha de la parte de datos es el Bit Más Significativo, el de mayor peso (Most Significant Bit, MSB) y el de la derecha el Bit Menos Significativo, el de menor peso (Less Significant Bit, LSB), de manera que al transmitir el “número 1”, su codificación binaria sería “10000000”.



**Captura 8:** Trama analizada del mensaje corto

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.1.2 Circuito de alimentación

Este circuito se mantendrá siempre en el mismo lugar, por ello no necesita alimentación desde batería. Pero debido a la dificultad de soldar manualmente un puerto hembra micro USB-B a una PCB, se ha optado por utilizar la entrada USB del módulo de carga de baterías ya que se dispone de gran cantidad de ellos.

Como la tensión de alimentación será constante a 5V, no como en el visualizador que al usar batería la tensión parte 4.2V y va disminuyendo con el tiempo. En el caso del servidor se utiliza el LDO<sup>14</sup> (AMS1117 3.3V) integrado en el propio ESP32, el inconveniente de este componente es que tiene un dropout de 1V, de manera que la diferencia entre la tensión de entrada y de salida debe ser de al menos un 1V. Como la alimentación es de 5V y la salida de 3.3V, la diferencia es de 1.7V superando el dropout del LDO.

El circuito conversor se ha diseñado para trabajar a 3.3V que obtiene del pin de 3.3V del ESP32, ya que como el consumo de corriente va a ser mínimo, el ESP32 puede realizar la función de alimentación sin peligro.

También se ha incluido un diodo LED que indicará si el circuito se encuentra alimentado.

<sup>14</sup> Low Dropout Regulator, Regulador de Baja Caída



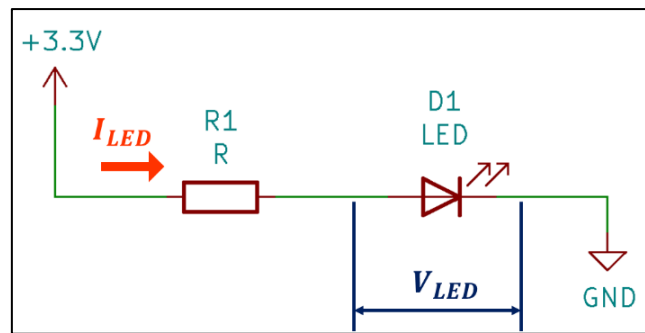


Figura 52: Circuito LED indicador del Servidor

Fuente: Elaboración propia

Se busca que la intensidad del LED no supere los 15mA y se toma como tensión de caída en el LED un valor de 2V. Obteniéndose como resultado una resistencia de 100Ω.

$$R_{LED} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{3.3V - 2V}{15\text{ mA}} = 86.6\ \Omega \text{ (Valor comercial)} \rightarrow \mathbf{100\Omega} \quad [6]$$

### 3.1.3 Circuito de datos RS232

Para la conexión del RS232, se utilizan dos conectores, uno macho que se conecta al datalogger y uno hembra que se conecta al ordenador. Los pines de cada conector se conectan con el correspondiente del otro sin cruzar Tx y Rx, y haciendo una derivación de Tx visto desde el datalogger al circuito conversor.

El resultado final de la unión de todos los circuitos descritos se puede ver en la **Figura 53** y en detalle en los documentos Anexos.

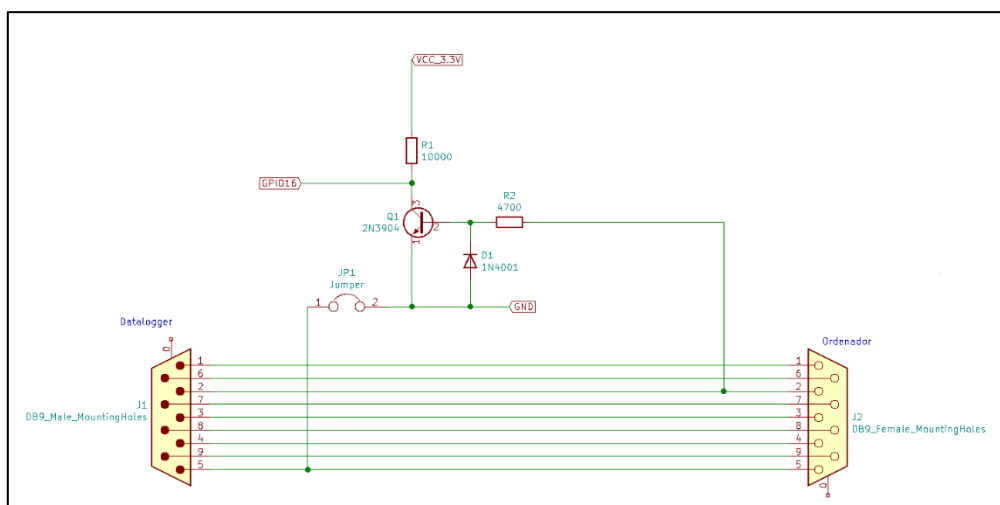


Figura 53: Esquema del circuito del Servidor

Fuente: Elaboración propia

## 3.2 Visualizador:

### 3.2.1 Circuito de alimentación

Debido a que este dispositivo es portátil dispondrá de alimentación auxiliar desde una batería. Además, incluirá una pantalla TFT táctil que necesita ser alimentada a 3.3V, y aunque el ESP32 admite alimentación a 5V aunque internamente trabaja a 3.3V. Por este motivo todos los elementos del circuito se han elegido para trabajar a esta tensión.

Una batería LiPo de una única celda proporciona una tensión máxima de 4.2V y una nominal de 3.7V, como estas tensiones son demasiado elevadas para alimentar directamente la pantalla o el ESP32 por el pin de 3.3V o demasiado baja para alimentarlo por el pin de 5V del ESP32. Se necesita un regulador lineal de voltaje externo que proporcione 3.3V estables a partir de la tensión de la batería. Además, este LDO debe tener un dropout muy pequeño, ya que, si fuera como el interno del ESP32, de un 1V, al utilizar la tensión de la batería, incluso en el mejor caso de 4.2V, la salida del LDO sería de 3.2V, insuficiente para alimentar los componentes. Además, esta tensión irá reduciéndose a medida que se descargue la batería. Por ello, se emplea el LDO MCP1825S, con un dropout de 210 mV.

La alimentación del circuito desde el exterior se realiza a través del conector micro USB-b del módulo 03962A a 5V. Este módulo regula la carga y descarga de la batería, y a partir de su salida se alimenta el regulador de tensión de 3.3V.

También se monitoriza el estado de carga de la batería a través del convertidor analógico del ESP32, para así informar al usuario del nivel de carga. Para ello se mide la tensión de la batería desde un pin analógico del ESP32, hay que reducir la tensión que recibe el pin a un máximo de 3.3V, para ello, la manera más sencilla de lograrlo es crear un divisor de tensión con dos resistencias entre bornas de la batería y conectar el pin analógico al punto medio del divisor de tensiones. Si las resistencias son del mismo valor, la tensión medida será la mitad de la tensión de la batería. Además, para que este divisor no suponga un consumo para la batería, se deben utilizar resistencias del orden de k $\Omega$ . Las utilizadas son de **47k $\Omega$** .

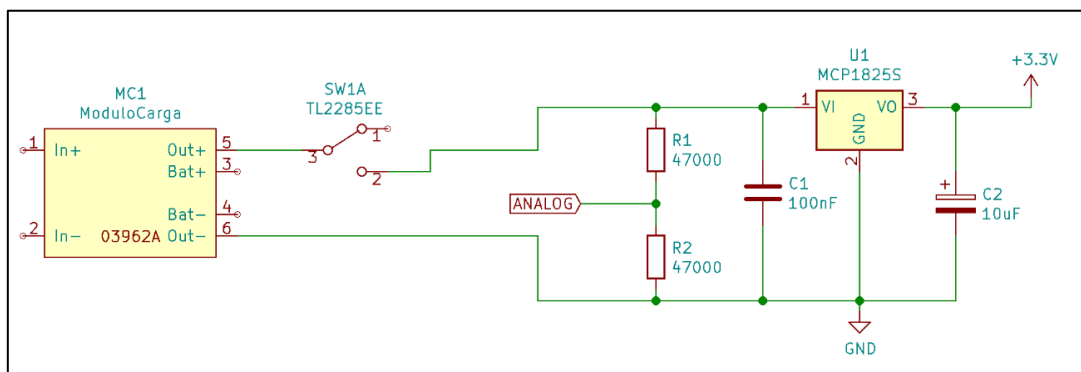
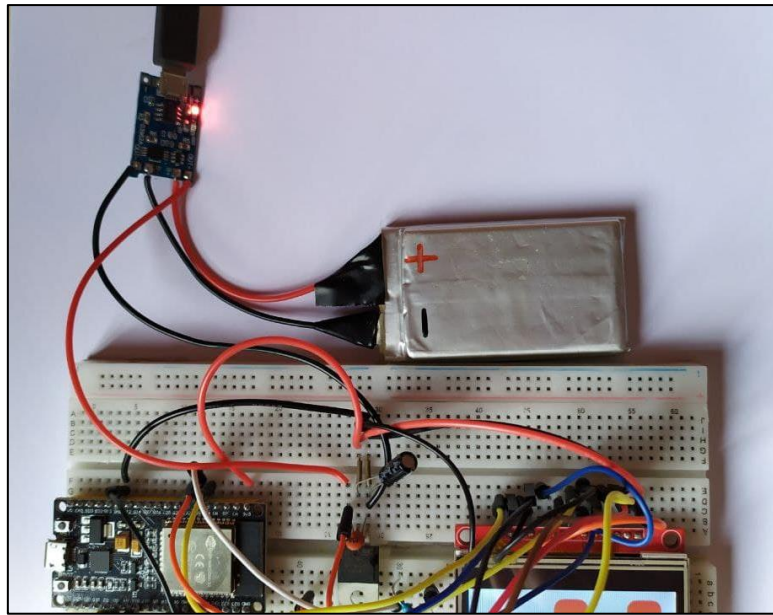


Figura 54: Esquema de alimentación del Visualizador

Fuente: Elaboración propia



**Figura 55:** Circuito de alimentación del visualizador en protoboard

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.2 Circuito de alarma, buzzer

Los visualizadores disponen de alarma sonora para alertar al usuario cuando los valores de temperatura y humedad están fuera del rango adecuado.

Para realizar esta alarma se puede emplear un buzzer activo o uno pasivo, el primero tiene electrónica interna y al alimentarse con tensión continua emite un único sonido, sin embargo, el buzzer pasivo no tiene electrónica interna y necesita ser alimentado por una señal de frecuencia variable que define el sonido que emite.

Para el visualizador, se opta por usar un buzzer pasivo, porque puede emitir distintos sonidos o notas, que se emplearán para hacer más interactivo el uso del visualizador, por ejemplo, al pulsar en ciertos menús de la pantalla se pueden producir distintas notas, o también, se puede usar un sonido para alertar al usuario si la batería está baja y otro cuando sea porque las condiciones de la sala no son las adecuadas.

A nivel de diseño electrónico el buzzer pasivo supone una resistencia de unos  $8\Omega$ , de manera que para no dañar el ESP32, es necesario añadir una resistencia en serie para que la corriente por el GPIO no sea muy elevada.

El buzzer está conectado al GPIO 32, que se corresponde con el pin 7 del ESP32 y pertenece al dominio de potencia VDD3P3\_RTC, de acuerdo con la **Tabla 1**, la corriente máxima de salida es de 40mA.

$$I_{buz} = \frac{V_{cc}}{R + R_{buz}} < I_{m\acute{a}x} \rightarrow R > \frac{V_{cc}}{I_{m\acute{a}x}} - R_{buz} \quad [7]$$

Sustituyendo y resolviendo en [ 7 ] se obtiene:

$$R > \frac{3.3V}{40mA} - 8\Omega \rightarrow R > 74.5\Omega \rightarrow (\text{valor comercial}) R = 100\Omega$$

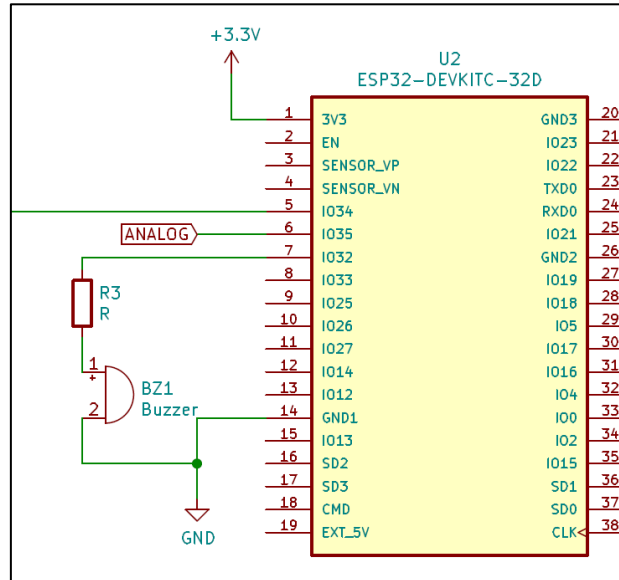


Figura 56: Esquema del circuito de alarma del visualizador

Fuente: Elaboración propia

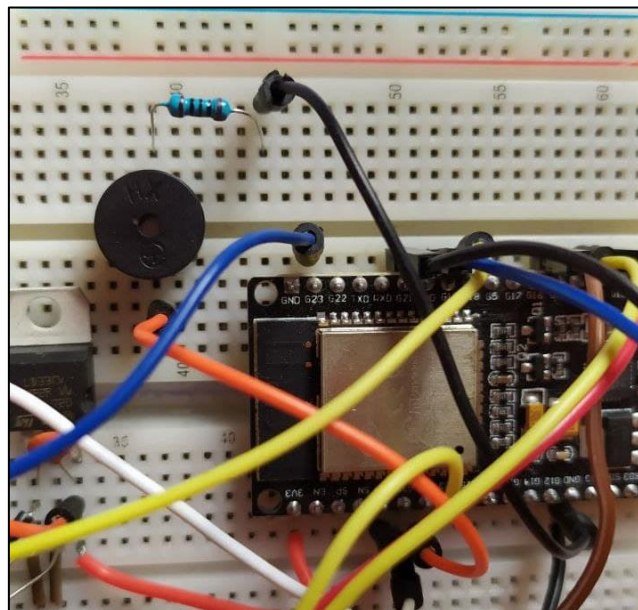


Figura 57: Prueba del circuito de alarma del visualizador en protoboard

Fuente: Elaboración propia



### 3.2.3 Circuito de la pantalla

La pantalla empleada se comunica por SPI de manera separada para la parte gráfica y para la parte táctil. La pantalla se puede considerar como dos módulos esclavos separados conectados al maestro, el ESP32. Para seleccionar el microcontrolador al que se desea acceder, el ILI9341 para la pantalla gráfica o el TSC2046 para la parte táctil, el maestro activa el pin de Chip Select correspondiente.

Para la comunicación se necesitan 3 líneas comunes para ambos microcontroladores, MISO, MOSI y CLK. Además, de una línea de control del ILI9341 para la entrada D/C (data/register) y otra de reset. Si a estas se suman dos líneas de alimentación comunes, 3.3V y GND, en total se necesitan 8 conexiones del ESP32 a la tarjeta de la pantalla. El módulo táctil dispone de una salida digital que pasa a nivel bajo cuando se detecta una pulsación en la pantalla. Para mejorar el funcionamiento software del visualizador, se utiliza este pin para que el ESP32 solamente acceda a la información del táctil cuando se ha activado la interrupción, en vez de hacer un programa periódico que consulte los datos cada cierto tiempo.

Como la pantalla necesita iluminación desde el fondo, el pin de backlight de la pantalla debe estar conectado a 3.3V, luego no es necesario conectarlo al ESP32. En total se necesitan 8 conexiones del ESP32: MISO, MOSI, CLK, CS\_tactil, CS\_grafico, T\_IRQ, D/C, RESET.

La placa de la pantalla también cuenta con un lector de tarjetas SD, que también utiliza SPI, pero como no es necesario, no se ha conectado al maestro. Si se quisiera utilizar, solo supondría una conexión a mayores con el ESP32, la entrada de Chip Select.

El circuito resultante es el que se muestra en la **Figura 58** y en detalle en los documentos Anexos.

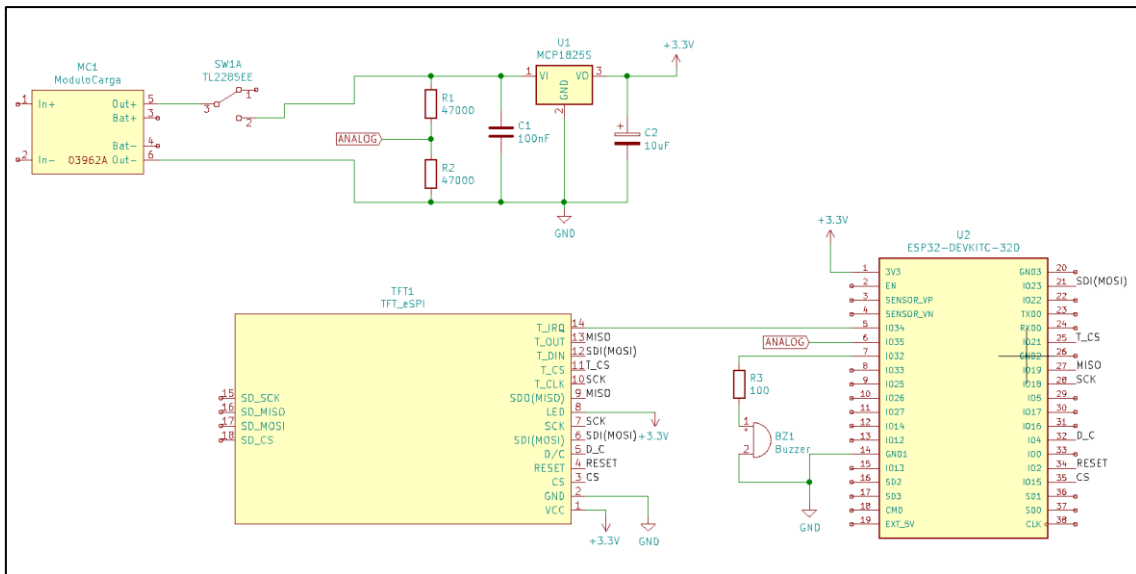


Figura 58: Esquema del circuito del Visualizador

Fuente: Elaboración propia

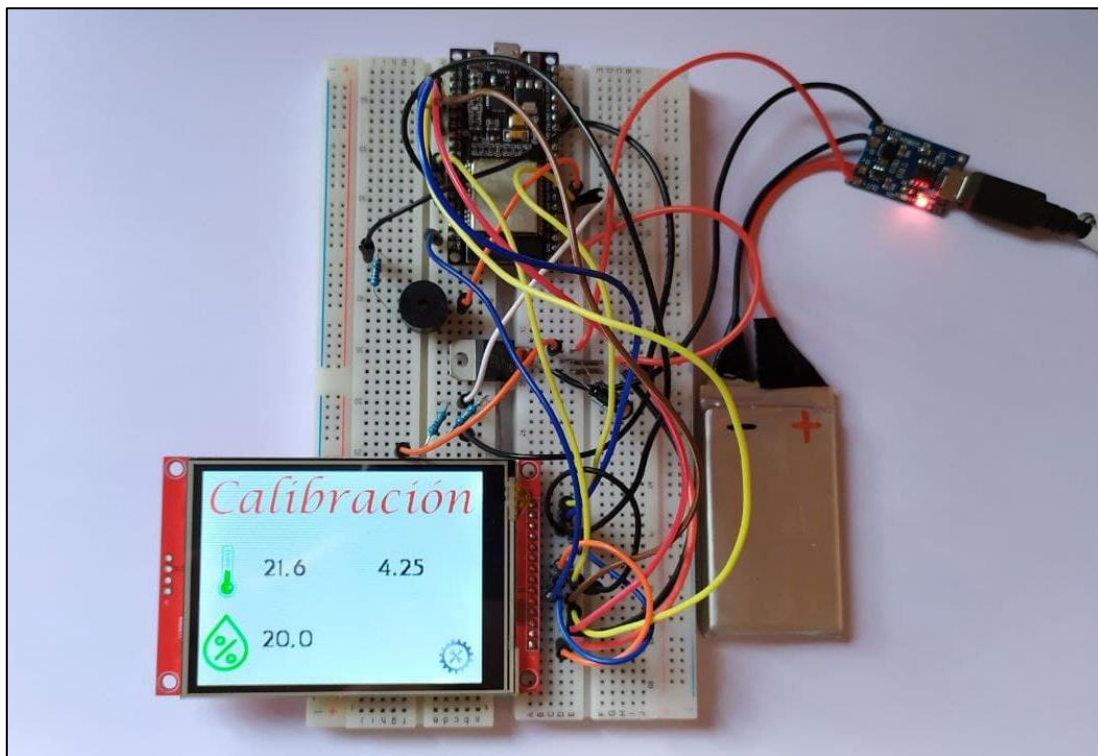


Figura 59: Prueba del circuito completo del Visualizador en protoboard

Fuente: Elaboración propia



Id	Identificador	Empaquetado	Cantidad	Identificación
1	U1	MODULE_ESP32-DEVKITC-32D	1	ESP32-DEVKITC-32D
2	SW1	TL2285	1	TL2285EE
3	J4	Pin_DO.9mm_L10.0mm_W2.4mm_FlatFork	1	Conn_01x01
4	J3	Pin_D1.0mm_L10.0mm	1	Conn_01x01
5	R3	R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal	1	100
6	D2	LED_D5.0mm	1	LED
7	D1	D_DO-41_SOD81_P10.16mm_Horizontal	1	1N4001
8	J2	DSUB-9_Female_Horizontal_P2.77x2.84mm_EdgePinOffset9.90mm_Housed_MountingHolesOffset11.32mm	1	DB9_Female_MountingHoles
9	J1	DSUB-9_Male_Horizontal_P2.77x2.84mm_EdgePinOffset9.90mm_Housed_MountingHolesOffset11.32mm	1	DB9_Male_MountingHoles
10	Q1	TO-92L_Wide	1	2N3904
11	R2	R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal	1	4700
12	R1	R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal	1	10000

**Tabla 7:** Lista de materiales del circuito del servidor

Fuente: Elaboración propia

Id	Identificador	Empaquetado	Cantidad	Identificación
1	TFT1	TFT_eSPI	1	TFT_eSPI
2	U2	MODULE_ESP32-DEVKITC-32D	1	ESP32-DEVKITC-32D
3	MC1	Modulo_carga	1	ModuloCarga
4	SW1	TL2285	1	TL2285EE
5	R3	R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal	1	100
6	R2,R1	R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal	2	47000
7	C2	CP_Radial_Tantal_D5.0mm_P2.50mm	1	10uF
8	C1	C_Disc_D3.4mm_W2.1mm_P2.50mm	1	100nF
9	BZ1	Buzzer_12x9.5RM7.6	1	Buzzer
10	U1	SOT-223-3_TabPin2	1	MCP1825S

**Tabla 8:** Lista de materiales del circuito del visualizador

Fuente: Elaboración propia







## Capítulo 4: Desarrollo de las PCBs

Para el desarrollo de los circuitos impresos o PCB<sup>15</sup> se ha empleado **KiCad** un software libre de automatización de diseño electrónico o EDA<sup>16</sup>.

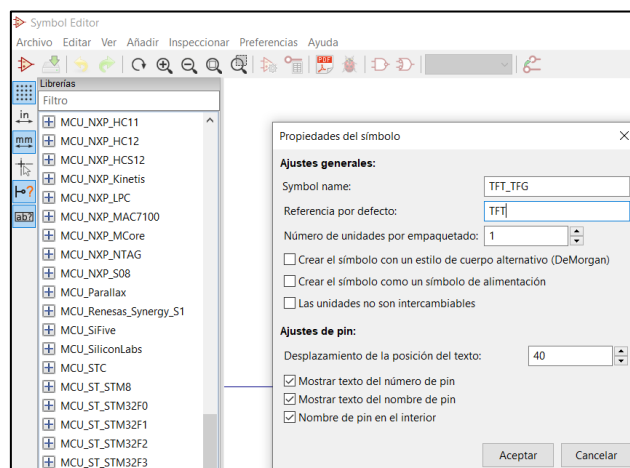
Tras haber diseñado y calculado los componentes necesarios para los circuitos, se realiza el esquema electrónico de cada uno. Para ello KiCad dispone de numerosas librerías de componentes con sus distintas footprint<sup>17</sup> y representaciones gráficas para el esquema electrónico. Sin embargo, para componentes más elaborados, que ya de por sí son un circuito impreso, como la pantalla o el módulo de control de la batería, se han creado representaciones graficas del esquema, sus correspondientes footprints y, además, se han añadido modelos 3d para la vista 3d de la PCB.

### 4.1 Creación de símbolos y de huellas en KiCad

Como no existen datasheet de la pantalla o del módulo de carga de la batería que proporcionen medidas exactas de los componentes o posiciones de las patillas o pads, resulta complicado y laborioso elaborar la footprint del componente tomando medidas manuales del objeto real. Por suerte, se encontraron modelos 3D elaborados en detalle por la comunidad de GrabCAD, sobre los que se pueden tomar medidas precisas utilizando un programa de diseño 3D como Autodesk Inventor.

#### 4.1.1 Símbolo y footprint de la pantalla TFT

Para elaborar el modelo esquemático de KiCAD se abre el Editor de símbolos y se selecciona la opción de crear nuevo símbolo y la librería de componentes donde se quiere añadir, después se introduce el nombre del componente. Si se necesita crear una nueva librería, antes de crear el símbolo hay que ir a Archivo > New Library.



**Captura 9:** Editor de símbolos de KiCad, nuevo símbolo

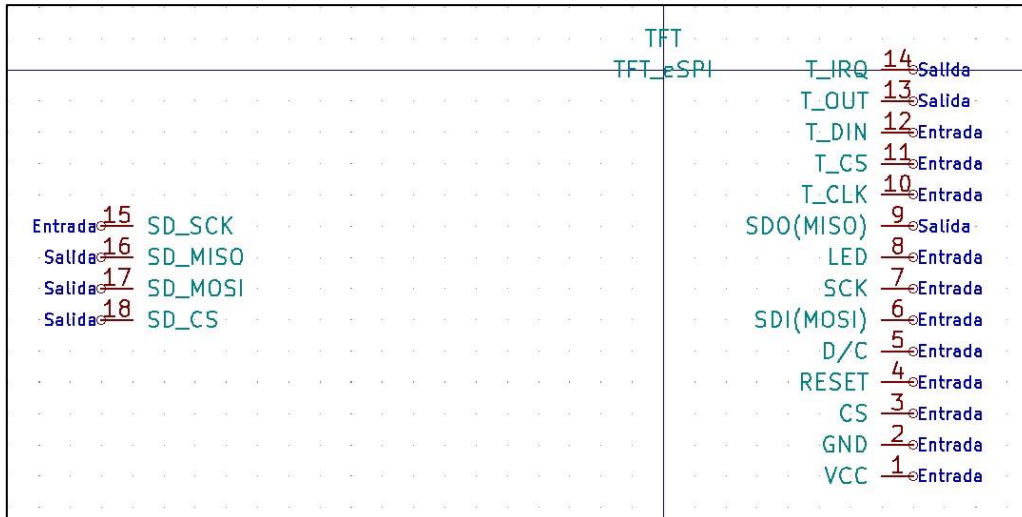
*Fuente: Elaboración propia*

<sup>15</sup> Printed Circuit Board

<sup>16</sup> Electronic Design Automation

<sup>17</sup> Huella de un componente en la PCB

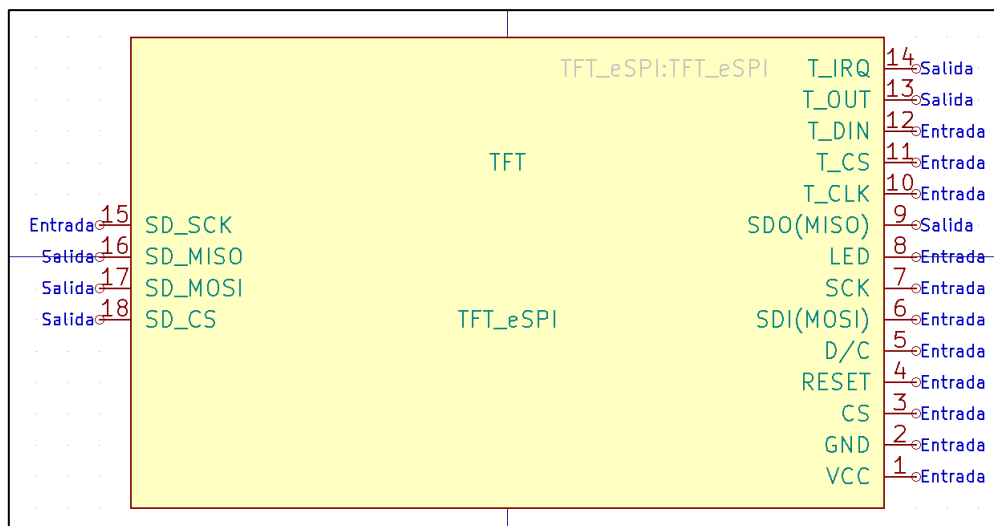
Una vez en el editor de símbolos, se añaden los pines del componente, en este caso son un total de 18 pines. El pin 1 es el de alimentación y los cuatro últimos los de la SD, quedando como se ve en la **Captura 10**. La numeración que se de en los pads de la footprint debe coincidir con la del esquemático, ya que las conexiones de cada pin irán al pad con el mismo número.



**Captura 10:** Numeración de pines de la pantalla en el editor de símbolos

Fuente: Elaboración propia

Por último, se ordenan los pines, y utilizando la herramienta de crear rectángulo se da forma al símbolo final, ver **Captura 11**.

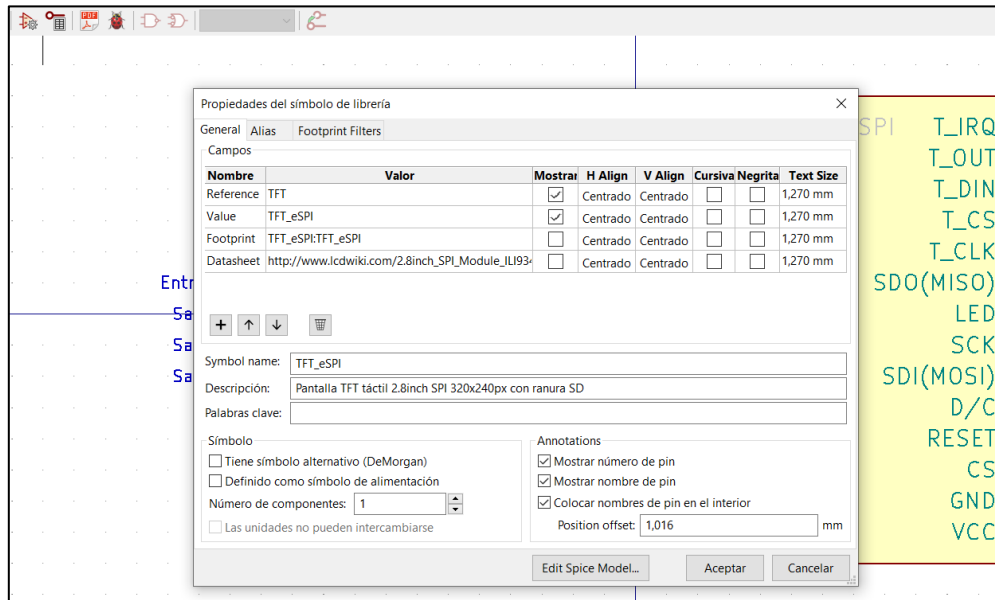


**Captura 11:** Símbolo esquemático de la pantalla TFT

Fuente: Elaboración propia



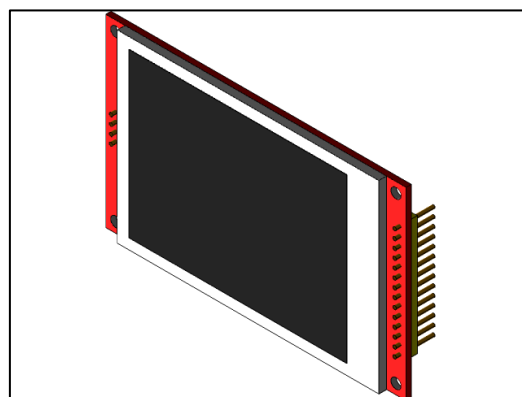
Desde la pestaña de propiedades de símbolo (ver **Captura 12**), se puede añadir un enlace al datasheet (en este caso una página de internet con información de la pantalla, al no existir datasheet), una breve descripción del componente, y la footprint asignada, una vez se haya creado.



**Captura 12:** Propiedades del símbolo de la pantalla

Fuente: Elaboración propia

Para crear la footprint de la pantalla TFT, se parte del modelo 3d elaborado por el usuario Excursively de GrabCAD, ver **Figura 60**.

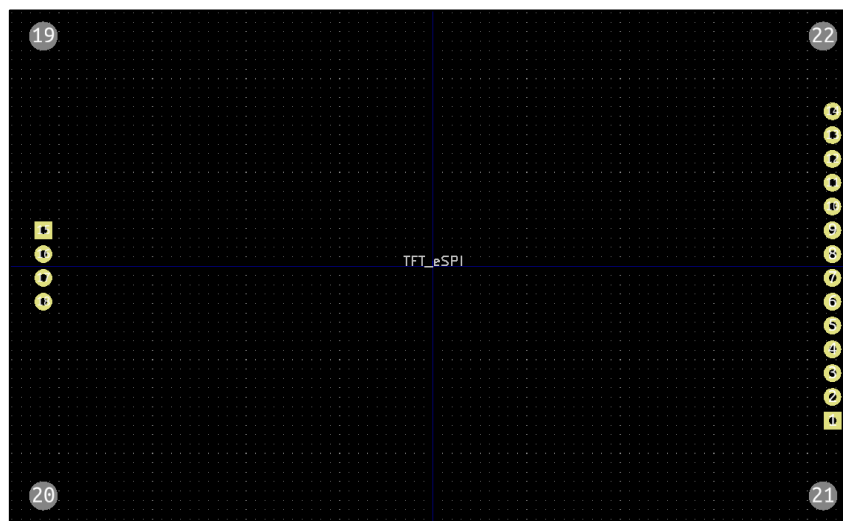


**Figura 60:** Modelo 3D de la pantalla TFT

Fuente: (Excursively, 2021)

Desde KiCad se abre el Editor de huellas, y se selecciona crear nueva huella, aquí se introduce un nombre para la huella.

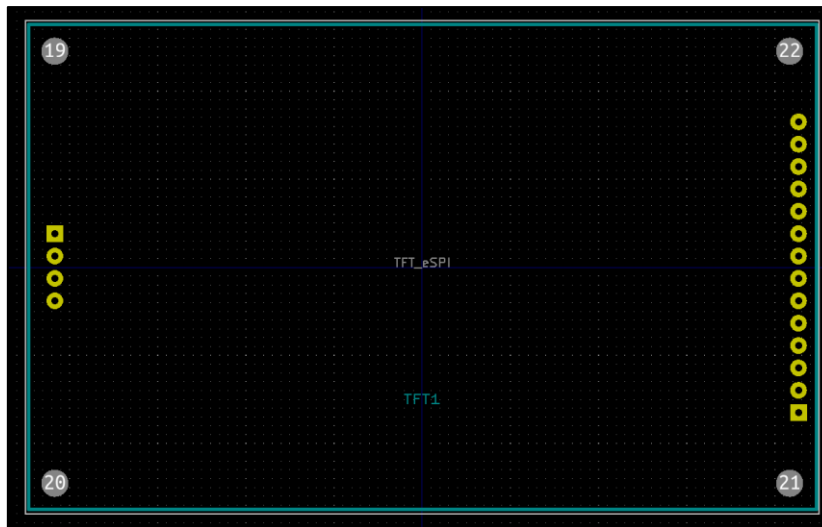
Al igual que con el símbolo del esquema, se comienzan añadiendo los pads, teniendo cuidado de que se colocan en las posiciones exactas para que luego coincidan con el componente real, para ello se toman las medidas del modelo 3D. Una vez colocados todos los pads, se numeran del 1 al 18 como se definió en el esquema. También se añaden cuatro orificios de 3mm, que coinciden con los de la pantalla, para ello se crean cuatro pads con orificio de 3mm y sin borde de pad, ver **Captura 13**.



**Captura 13:** Colocación de los pads en la footprint de la pantalla

*Fuente: Elaboración propia*

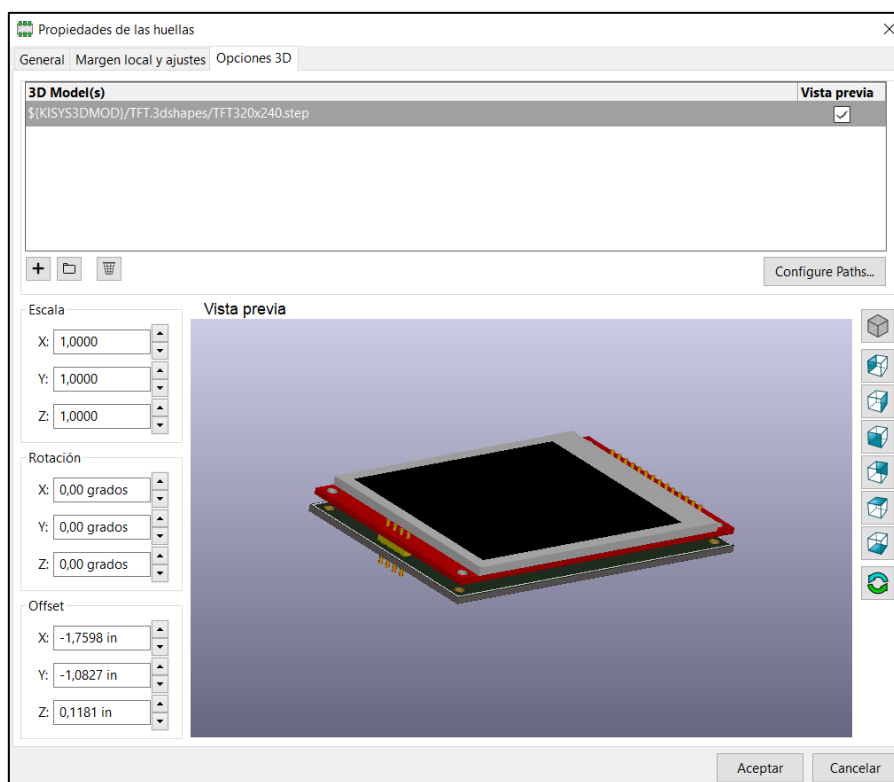
Usando la herramienta de polilínea se crea un rectángulo del tamaño de la pantalla como símbolo de la capa gráfica (azul) y otro rectángulo ligeramente más grande (gris) como zona que ocupa la pantalla, de esta manera KiCad no deja añadir componentes dentro del espacio de otro a la hora de realizar circuitos.



**Captura 14:** Footprint de la pantalla

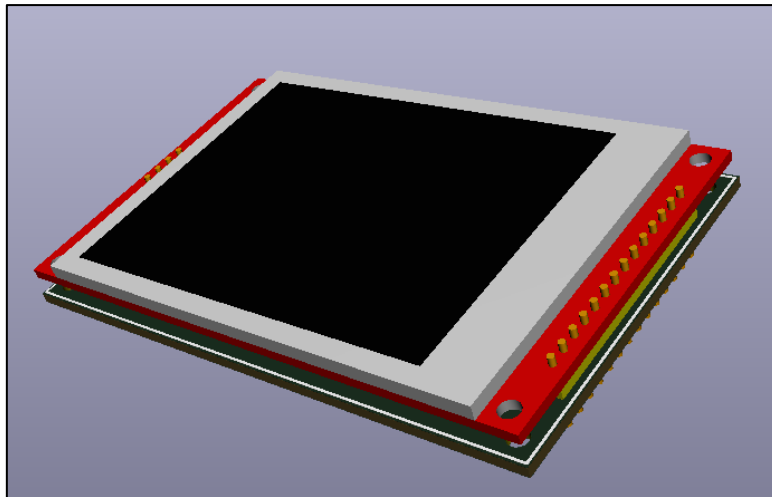
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, desde la pestaña de propiedades de huella, se añade el modelo 3D descargado anteriormente, y mediante giros y desplazamientos se alinea con los pads de la PCB, ver **Captura 15**.



**Captura 15:** Configuración del modelo 3D de la footprint de la pantalla

Fuente: Elaboración propia

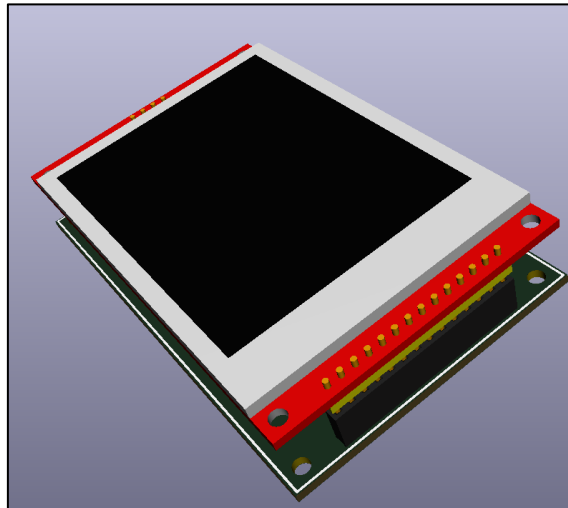


**Captura 16:** Modelo 3D de la footprint de la pantalla TFT

*Fuente: Elaboración propia*

Desde el editor de símbolos, se puede ligar el símbolo creado a esta footprint

A la hora de soldar la pantalla real a la PCB, no se insertó directamente como en la **Captura 16**, si no que se utilizaron pines hembra, haciendo que quede elevado sobre la placa. Como el modelo 3D de la PCB se va a utilizar para facilitar el diseño de la envolvente, se han añadido los modelos 3D de los pines hembra a la footprint de la pantalla, quedando como se aprecia en la **Captura 17**.



**Captura 17:** Modelo 3D de la footprint de la pantalla TFT V2

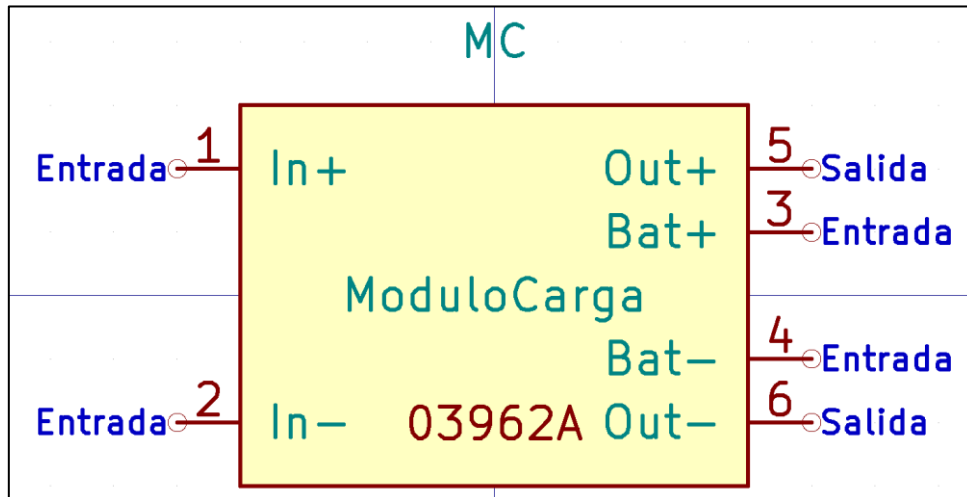
*Fuente: Elaboración propia*



#### 4.1.2 Símbolo y footprint del módulo de carga de la batería

Al igual que para crear el símbolo de la pantalla, se abre el editor de símbolos de KiCad y se selecciona la opción de crear nuevo componente.

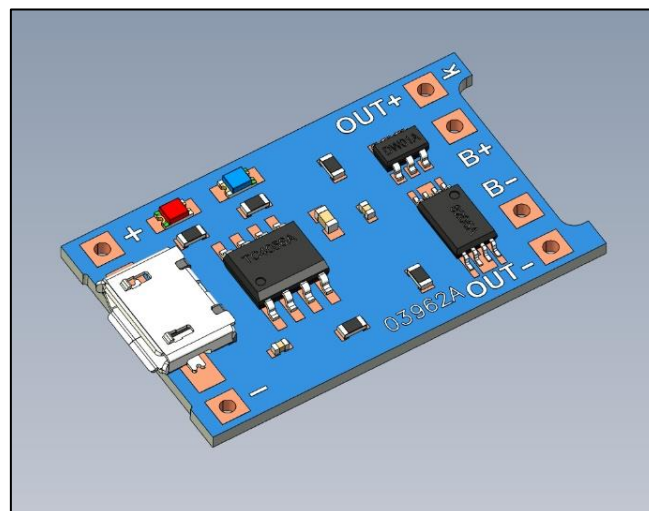
El módulo 03962A se representa mediante un rectángulo con 6 pines. El resultado se observa en la **Captura 18**



**Captura 18:** Símbolo esquemático del módulo 03962A

Fuente: Elaboración propia

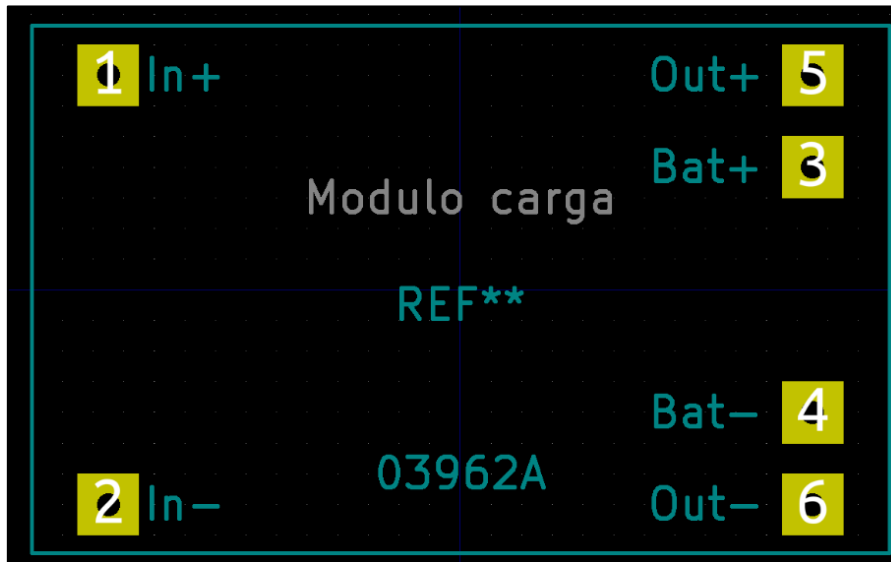
Para el desarrollo de la footprint, se utiliza el modelo 3D realizado por el usuario JS de GrabCAD, ver **Captura 19**.



**Captura 19:** Modelo 3D del módulo 03962A

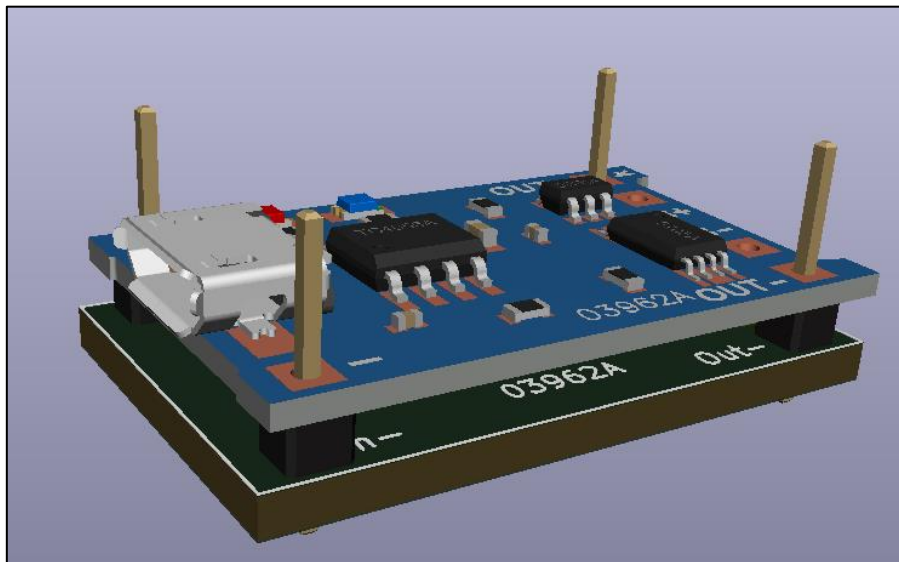
Fuente: (JS, 2021)

Como footprint (ver **Captura 20**), se ha diseñado una que permite soldar el módulo a su huella utilizando conectores machos rectos. Para ello, al añadir el modelo 3D a la footprint, también se han añadido los modelos 3D de los pines macho, ya disponibles entre los elementos de KiCAD.



**Captura 20:** Footprint del módulo 03962A

Fuente: Elaboración propia



**Captura 21:** Modelo 3D de la footprint del módulo 03962<sup>a</sup>

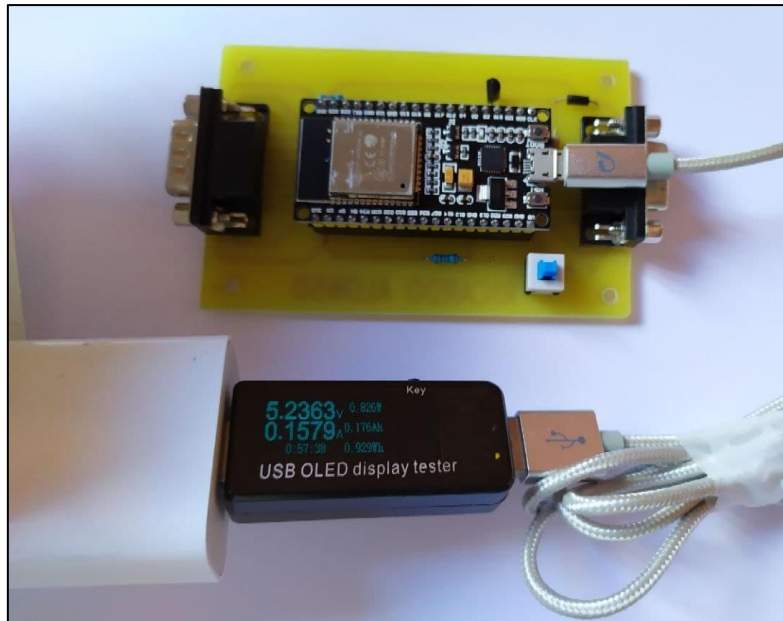
Fuente: Elaboración propia





## 4.2 Diseño de la PCB del Servidor

Para calcular el ancho de los conductores de la placa se necesita conocer el consumo de corriente que requiere el circuito, esto se ha medido experimentalmente obteniéndose una medida de intensidad máxima de 160mA, ver **Figura 61**. Todo el circuito se va a sobredimensionar, utilizando el mismo ancho de pista en todos los conductores. Aunque este valor máximo de corriente realmente solo circula por las pistas de alimentación.



**Figura 61:** Medida del consumo del Servidor

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del ancho de pista se utilizan las fórmulas [ 8] y [ 9].

$$A = \left[ \frac{I}{0.048 \cdot \Delta T^{0.44}} \right]^{1.725} \quad [ 8]$$

$$W = \frac{A}{e} \quad [ 9]$$

Siendo A el área de la sección del conductor, W la anchura de la pista, e el espesor de la pista en milésimas de pulgada, I la corriente máxima en Amperios e  $\Delta T$  el incremento máximo admisible de temperatura.

Estas ecuaciones se encuentran implementadas en una herramienta online (Smith, 2021), ver **Captura 22**.

ANSI PCB TRACE WIDTH CALCULATOR							
Input Data			Results Data				
Field	Value	Units	Trace Data	Internal Traces		External Traces	
				Value	Units	Value	Units
Current (max. 35A)	160	mA	Required Trace Width	0.06	mm	0.02	mm
Temperature Rise (max. 100°C)	10	°C	Cross-section Area	3.38	mil <sup>2</sup>	1.3	mil <sup>2</sup>
Cu thickness	35	µm	Resistance	0.42	Ω Ohms	1.09	Ω Ohms
Ambient Temperature	25	°C	Voltage Drop	0.07	Volts	0.17	Volts
Conductor Length	5	cm	Loss	0.01	Watts	0.03	Watts
Peak Voltage	5	Volts	Required Track Clearance	24	mil		

Captura 22: Cálculo ancho de pista para el circuito del servidor

Fuente: (Smith, 2021)

Se plantea un incremento máximo de temperatura de 10°C y una temperatura ambiente de trabajo de 25°C. El espesor de la capa de cobre es de 35 µm y se supone un valor aproximado de longitud del conductor, que lo utiliza el programa para calcular la resistencia del tramo de pista, pero que no influye para el valor del ancho de pista.

Como el rutado se va a realizar a una cara y por el exterior, el valor de ancho de pista necesario es de 0.02mm o 0.94mil. Como este valor es demasiado pequeño para realizarlo con los medios disponibles en el laboratorio, se ensanchan las pistas hasta un valor de 1mm. También se obtiene una separación mínima entre pistas de 24mil o 0.6mm.

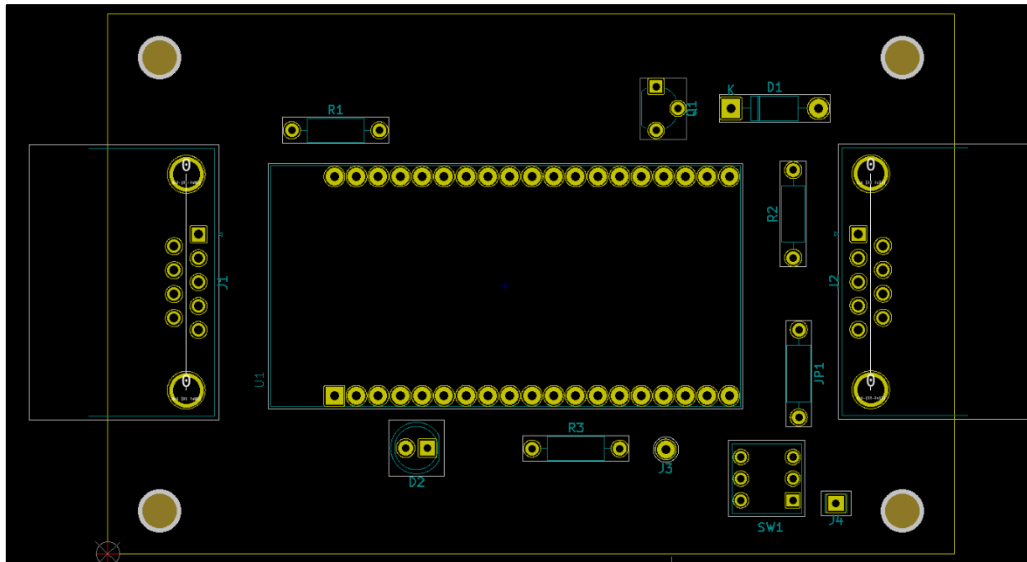
El primer paso es asignar las footprints a cada componente, ver **Tabla 9**. Esto se hace desde el esquema eléctrico, en las propiedades del componente se accede a la biblioteca de huellas de KiCad y se selecciona la huella deseada. Por último, se anota el esquema asignando una referencia a cada componente y se abre el editor de PCBs.

Componente	Huella
D1	Diode_THT:D_DO-41_SOD81_P10.16mm_Horizontal
D2	LED_THT: LED_D5.0mm
J1	Connector_Dsub: DSUB-9_Male_Horizontal_P2.77x2.84mm_EdgePinOffset9.90mm_Housed_MountingHolesOffset11.32mm
J2	Connector_Dsub: DSUB-9_Female_Horizontal_P2.77x2.84mm_EdgePinOffset9.90mm_Housed_MountingHolesOffset11.32mm
Q1	Package_TO_SOT_THT:TO-92L_Wide
R1, R2, R3	Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal
SW1	e-switch:TL2285
U1	MODULE_ESP32-DEVKITC-32D

Tabla 9: Lista de componentes y footprints asociados del servidor

Fuente: Elaboración propia

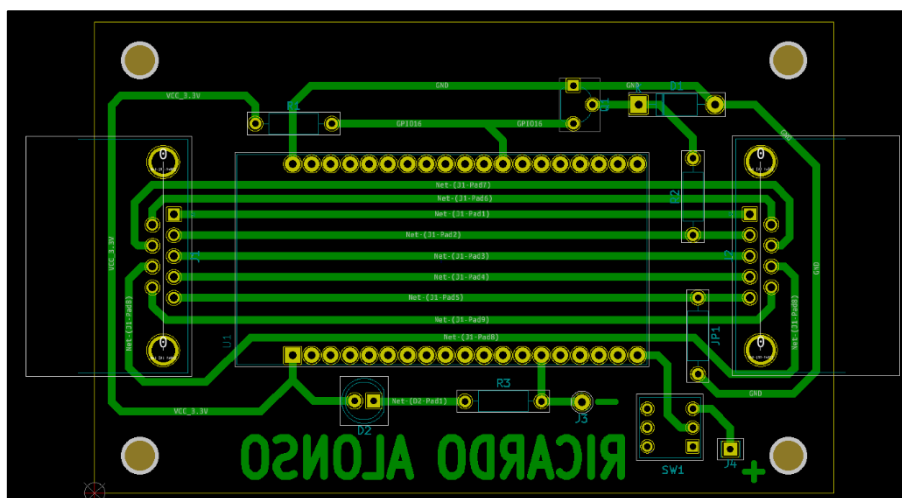
La placa diseñada de este circuito tiene forma rectangular de dimensiones 98x62.5mm. Con cuatro orificios de métrica 3 en los vértices, a 5mm de los bordes, que permitirán su fijación a la envoltente. Además, los conectores se encuentran en los lados cortos del rectángulo, de manera que sobresalgan del borde de la placa para una mejor conexión, ver **Captura 23**.



**Captura 23:** Emplazamiento de los componentes en la PCB del servidor

Fuente: Elaboración propia

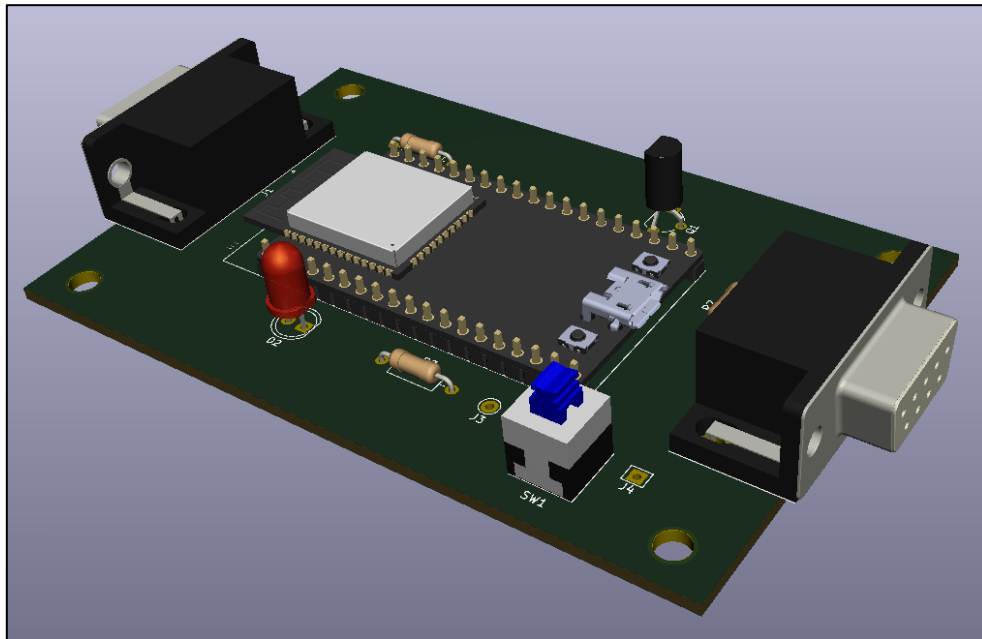
El rutado se realiza por la cara de cobre inferior utilizando el ancho de pista calculado de 1mm y una separación entre ellas mínima de 0.6mm. Además, como no se va a añadir serigrafía superior ni inferior, se utiliza el cobre de las zonas no rutadas de la placa para escribir el nombre, que aparece invertido debido a que la vista es desde la capa superior, ver **Captura 24**.



**Captura 24:** Rutado de la PCB del Servidor

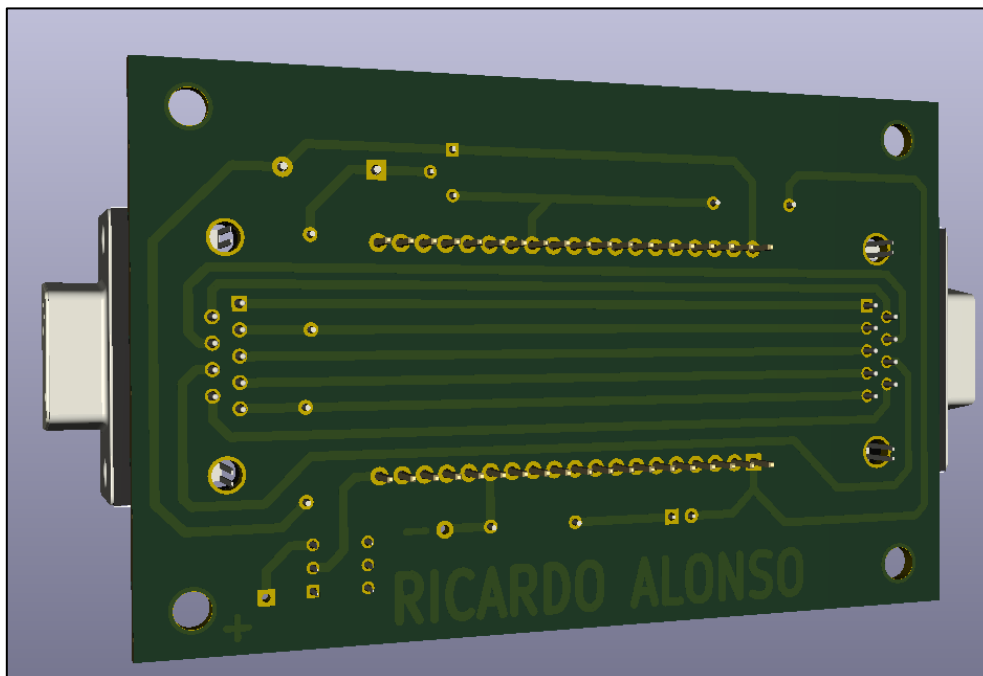
Fuente: Elaboración propia

El resultado final en forma de vista 3D se observa en las **Captura 24** y **Captura 25**.



**Captura 25:** Vista 3D superior de la PCB del Servidor

Fuente: Elaboración propia



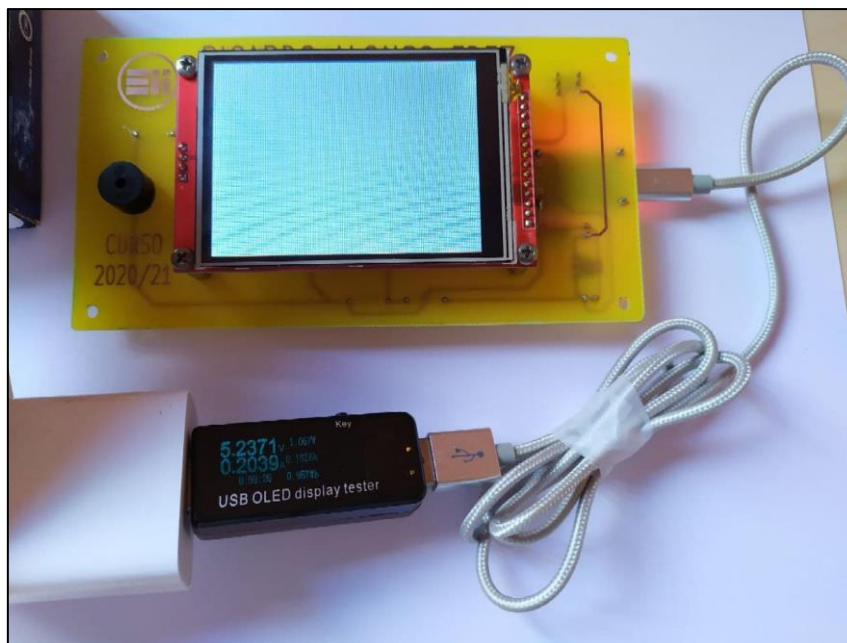
**Captura 26:** Vista 3D inferior de la PCB del Servidor

Fuente: Elaboración propia



### 4.3 Diseño de la PCB del visualizador

Para calcular el ancho de los conductores de la placa se necesita conocer el consumo de corriente que requiere el circuito, esto se ha medido experimentalmente obteniéndose una medida de intensidad máxima de 200mA, ver **Figura 62**. Todo el circuito se va a sobredimensionar, utilizando el mismo ancho de pista en todos los conductores. Aunque este valor máximo de corriente realmente solo circula por las pistas de alimentación.



**Figura 62:** Medida del consumo del Visualizador

Fuente: Elaboración propia

El cálculo es similar al realizado para el Servidor, pero cambiando el valor de corriente máxima por 200mA, ver **Captura 27**.

ANSI PCB TRACE WIDTH CALCULATOR							
Input Data			Results Data				
Field	Value	Units	Trace Data	Internal Traces		External Traces	
				Value	Units	Value	Units
Current (max. 35A)	200	mA	Required Trace Width	0.08	mm	0.03	mm
Temperature Rise (max. 100°C)	10	°C	Cross-section Area	4.6	mil <sup>2</sup>	1.77	mil <sup>2</sup>
Cu thickness	35	µm	Resistance	0.31	Ω Ohms	0.8	Ω Ohms
Ambient Temperature	25	°C	Voltage Drop	0.06	Volts	0.16	Volts
Conductor Length	5	cm	Loss	0.01	Watts	0.03	Watts
Peak Voltage	5	Volts	Required Track Clearance	24	mil		

**Captura 27:** Cálculo ancho de pista para el circuito del Visualizador

Fuente: Elaboración propia

Como el rutado se va a realizar a doble cara y por el exterior, el valor de ancho de pista necesario es de 0.03mm o 1.28mil. Como este valor es demasiado pequeño para realizarlo con los medios disponibles en el laboratorio, se ensanchan las pistas hasta un valor de 1mm. También se obtiene una separación entre pistas mínima de 24mil o 0.6mm.

Para realizar la placa se han asignado las siguientes footprint a cada componente del visualizador.

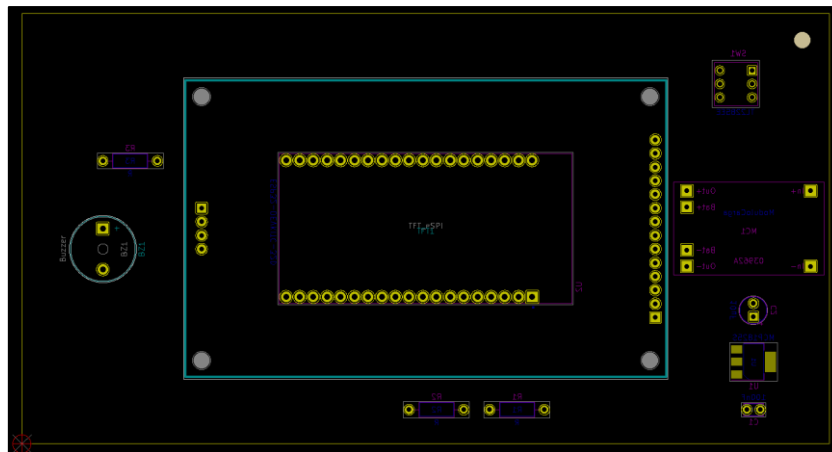
Componente	Huella
BZ1	Buzzer_Beeper: Buzzer_12x9.5RM7.6
C1	Capacitor_THT:C_Disc_D3.4mm_W2.1mm_P2.50mm
C2	Capacitor_THT:CP_Radial_Tantal_D5.0mm_P2.50mm
MC1	Modulo carga
R1,R2,R3	Resistor_THT:R_Axial_DIN0207_L6.3mm_D2.5mm_P10.16mm_Horizontal
SW1A	e-switch:TL2285
TFT1	TFT_eSPI
U1	Package_TO_SOT_SMD: SOT-223-3_TabPin2
U2	ESP32: MODULE_ESP32-DEVKITC-32D

**Tabla 10:** Lista de componentes y footprints asociados del Visualizador

Fuente: Elaboración propia

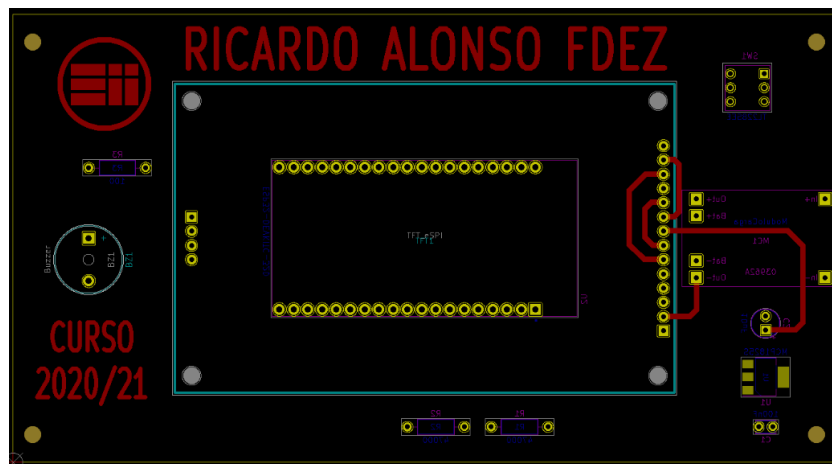
La placa diseñada de este circuito tiene forma rectangular de dimensiones 151x81mm. Con cuatro orificios de métrica 3 en los vértices, a 5mm de los bordes, que permitirán su fijación a la envolvente. Debido a la configuración de los pines de la pantalla es imposible realizar un rutado por una sola cara sin que se crucen pistas, esto lleva a rutar por ambas caras, lo cual complica la soldadura del prototipo al no poderse metalizar los orificios, por ello a la hora de soldar en las vías que conectan una cara con la otra hay que aplicar soldadura por ambos lados.

En la cara frontal se coloca la pantalla centrada en la placa y el zumbador de manera que ambos queden orientados hacia el usuario. En la cara trasera se colocan el resto de los componentes, situando el puerto USB del módulo de carga hacia el exterior de la placa (ver **Captura 28**). Además, para conectar las dos patillas de masa del LDO se utiliza una pequeña área de cobre en vez de una pista, para ayudar en la disipación térmica. También se utilizan áreas de cobre para dibujar los rectángulos internos del logo de escuela, y se añade texto en las capas de cobre al no disponer de serigrafía.



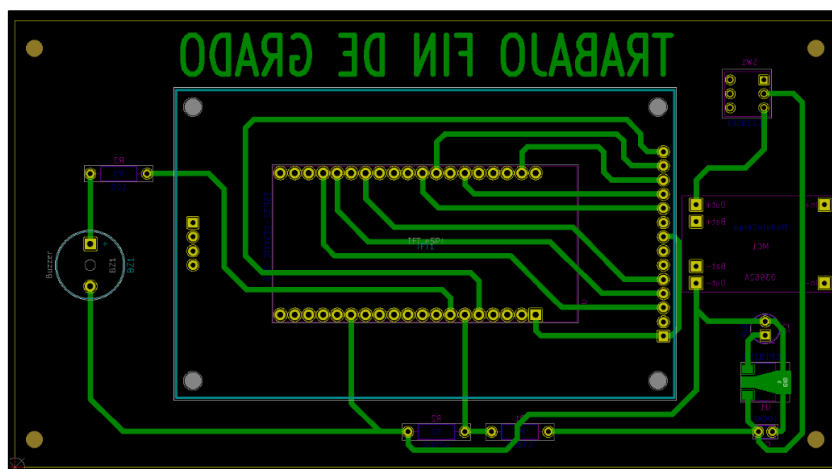
**Captura 28:** Emplazamiento de los componentes en la PCB del Visualizador

Fuente: Elaboración propia



**Captura 29:** Rutado de la cara superior de la PCB del Visualizador

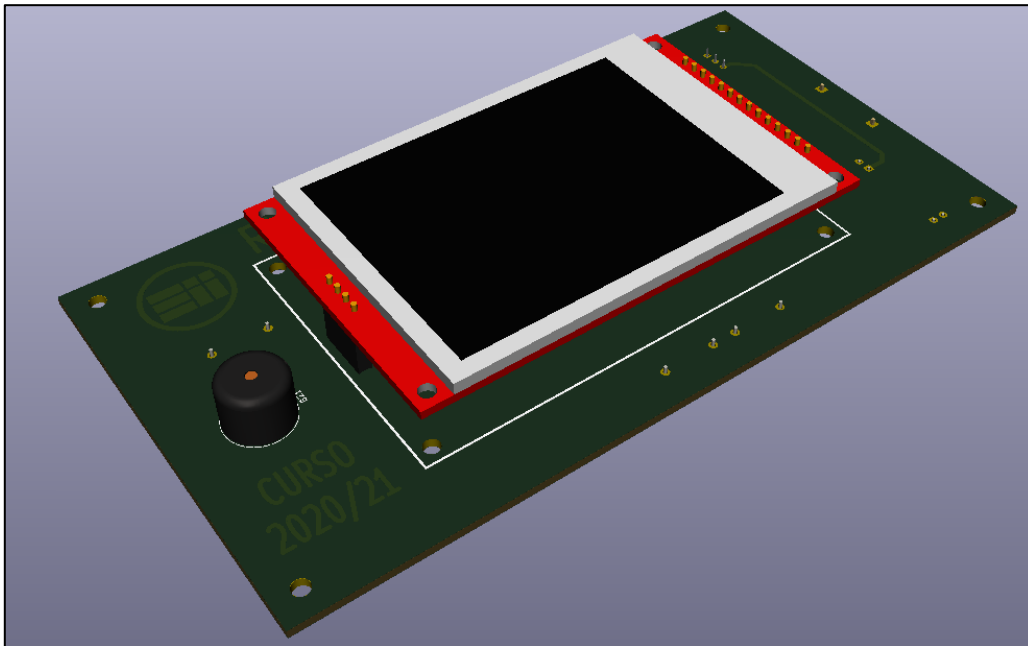
Fuente: Elaboración propia



**Captura 30:** Rutado de la cara inferior de la PCB del Visualizador

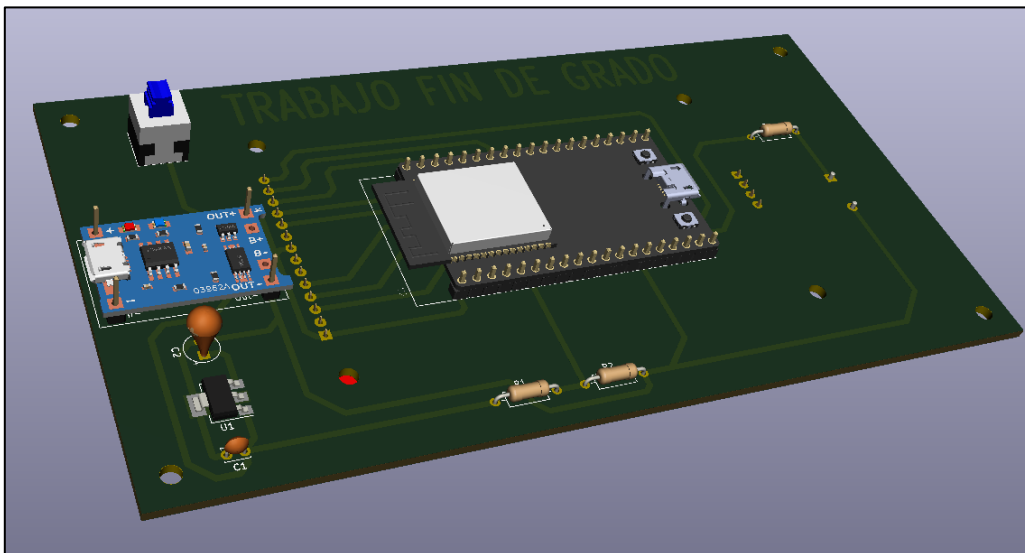
Fuente: Elaboración propia

El resultado final en forma de vista 3D se observa en las **Captura 31** y **Captura 32**.



**Captura 31:** Vista 3D superior de la PCB del Visualizador

Fuente: Elaboración propia



**Captura 32:** Vista 3D inferior de la PCB del Visualizador

Fuente: Elaboración propia





#### 4.4 Fabricación de las PCBs

Los circuitos impresos o PCBs, son un soporte de material aislante sobre el que se encuentran adheridas pistas conductoras que conectan entre si puntos de un circuito eléctrico.

El sustrato de material no conductor es un buen aislante eléctrico y resistente al fuego. El espesor más común es de 1.6 mm, aunque existen otros de acuerdo con la norma UNE 20-621-84/3. Los materiales habituales son:

- **Baquelita:** Resina Fenólica y fibra de papel. Son baratas, de color marrón opaco, absorben la humedad y tienen poca resistencia al calor. Y sus características mecánicas y eléctricas son pobres.
- **Fibra de vidrio:** Resina epoxi y tela de vidrio. Son las más utilizadas industrialmente debido a sus buenas características mecánicas y eléctricas. De color verde claro y traslúcidas.
- **Teflón:** politetrafluoroetileno, PTFE. Tienen un alto precio, muy buenas características eléctricas y mecánicas y se utilizan en aplicaciones de muy alta frecuencia. Requiere de un soporte mecánico adicional.

El material conductor es cobre electrolítico de distintos espesores, los más habituales son: 1 Oz = 35 $\mu$ m y 2 Oz = 70 $\mu$ m.

Algunas de las propiedades físicas y eléctricas de una placa de circuito impreso son:

- **Rigidez mecánica:** Debe ser capaz de soportar el peso de los componentes y los procesos de mecanización. Además, debe soportar los cambios de temperatura durante la soldadura y los debidos al funcionamiento del circuito. También debe resistir la llama o el fuego y absorber la mínima humedad posible (antigroscópicos).
- **Adhesión del cobre:** el adhesivo debe soportar los ácidos y disolventes del proceso de fabricación.
- **Anchura de las pistas:** suficiente para soportar la corriente que circula por ellas
- **Separación entre pistas:** suficiente para evitar arcos eléctricos entre pistas debido a la diferencia de potencial.

Existen distintos procesos para la fabricación de PCBs a nivel de prototipo. Los dos tipos principales son: mediante insolación y ataque con ácido, o mediante grabado mecánico.

#### 4.4.1 Fabricación mediante aislado de pistas con CNC

En este proceso una máquina de control numérico computarizado (CNC) dotada de una cuchilla corta sobre una placa de cobre para PCB. De esta forma se va dibujando el perímetro de las pistas, profundizando lo suficiente como para eliminar completamente el grosor del cobre.

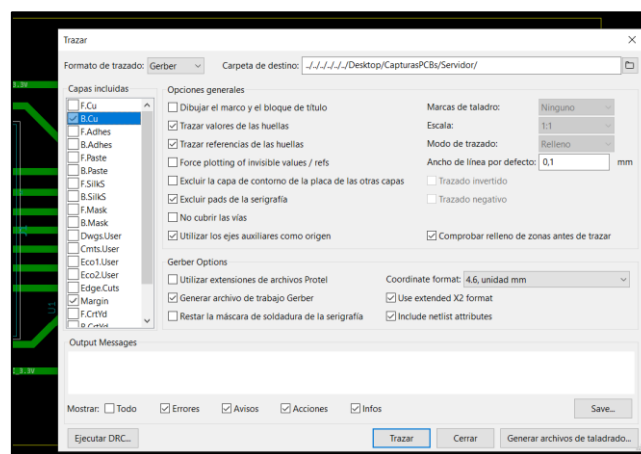
Es un proceso lento que depende en gran medida de la precisión de la máquina utilizada. Si los surcos que aíslan las pistas no son lo suficientemente anchos el polvo o el óxido pueden hacer que la pista toque otra área de cobre. Además, todas esas zonas de cobre pueden causar interferencias en los circuitos que trabajen con radiofrecuencias. Una solución a esto es eliminar esas áreas de cobre. Si las áreas a eliminar suponen un gran porcentaje de la placa resulta más lógico utilizar el método del ácido.

Una vez se tiene diseñada la PCB, se pueden generar los ficheros de fabricación, en este caso el formato debe ser Gerber, en KiCad esto se hace desde la opción Trazar.

Los ficheros necesarios son los de las caras con cobre (las pistas) y si la placa solo tiene pistas por un lado se puede generar el fichero de serigrafía para después grabarla con la CNC sobre el lado sin cobre. También es necesario generar el fichero de taladrado. A modo de ejemplo se describe el proceso para la placa del Servidor (una sola cara de cobre).

Para evitar tener que voltear la placa tras realizar los agujeros, los taladros se realizan desde la cara inferior. Si se tuviera que voltear y no queda perfectamente alineada los pads no coincidirán con los orificios.

Se generan los archivos de la cara inferior de cobre, el borde de la placa y el fichero de taladrado, ver **Captura 33**. El fichero de taladrado se genera desde la pestaña Generar archivos de taladrado.

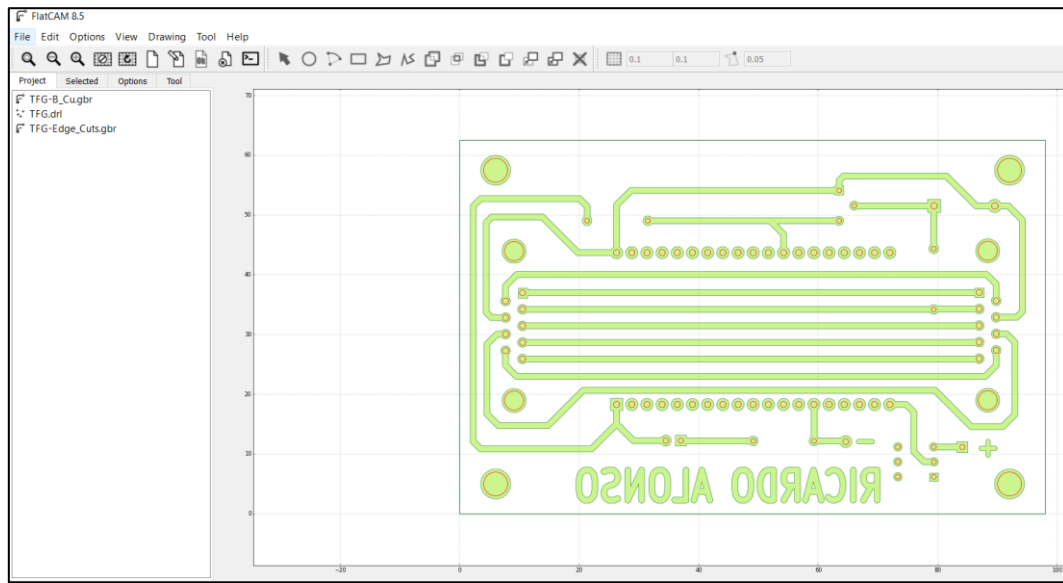


**Captura 33:** Trazado de ficheros de fabricación Gerber

Fuente: Elaboración propia

Existen diferentes programas para obtener el código máquina o gcode que utilizará la CNC a partir de los ficheros Gerber. Se va a utilizar FlatCAM un software libre y de código abierto en constante desarrollo.

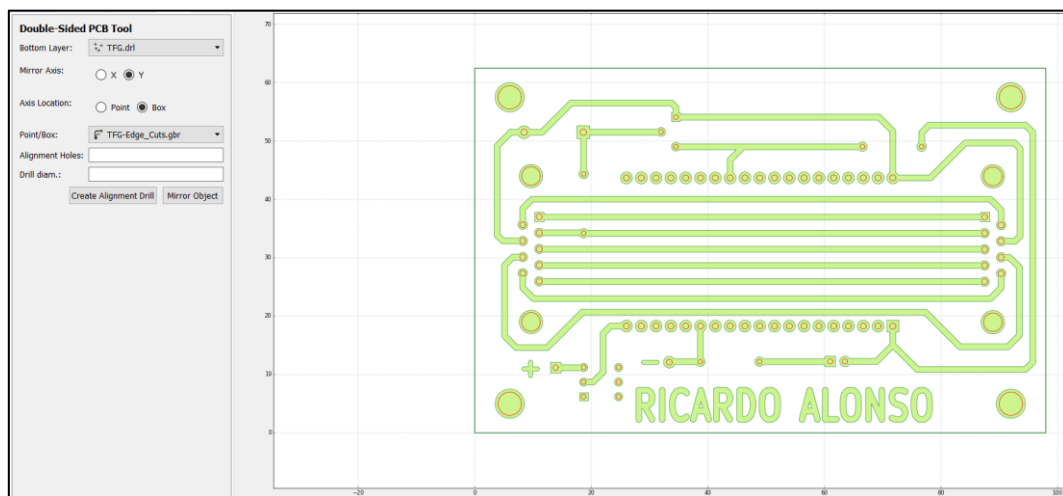
Lo primero es cargar los ficheros Gerber en FlatCAM. Al hacer esto se observa que los ficheros no están invertidos, aparecen vistos desde la capa superior, ver **Captura 34**.



**Captura 34:** Ficheros Gerber en FlatCAM

Fuente: Elaboración propia

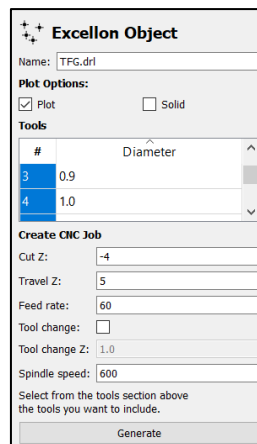
Para poder invertir las capas, hay que ir a Tool > Double-Sided PCB Tool. En la nueva ventana que aparece se seleccionan de uno en uno los ficheros de las pistas y de taladrado, y se les aplica Mirror Y sobre la capa del borde la placa, que al ser simétrica respecto al eje Y sirve como referencia para las otras. Ver **Captura 35**.



**Captura 35:** Mirror Y en FlatCAM

Fuente: Elaboración propia

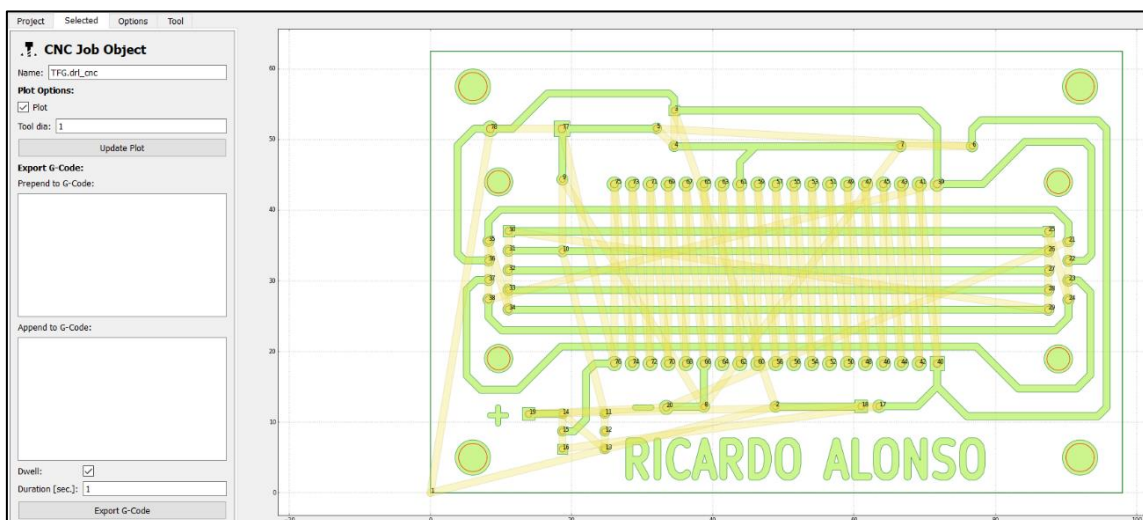
Una vez colocadas las capas, se vuelve a la pestaña de proyecto y se selecciona el archivo de taladrado. En esta nueva ventana aparece una lista de los distintos diámetros de orificios, para acelerar el proceso se va a utilizar la misma broca para todos los orificios que oscilan en torno al valor de 1mm. Se seleccionan todos esos valores y se configura el diámetro de broca de 1mm. También se introduce la profundidad en Z de corte (mm/min) , y la altura de desplazamiento sobre la placa (mm), junto con la velocidad de penetración de la broca al realizar el agujero (mm/min) y la velocidad de giro del taladro (rpm). Finalmente se pulsa en Generate.



**Captura 36:** Generación del Gcode de taladrado

Fuente: Elaboración propia

Este proceso se repite para generar los ficheros con otros diámetros de broca. En la pestaña de proyecto aparecerá un fichero *drl\_cnc* para cada caso. Además, en la ventana gráfica aparece el camino que seguirá la broca y el orden en que se harán los orificios, ver **Captura 37**.



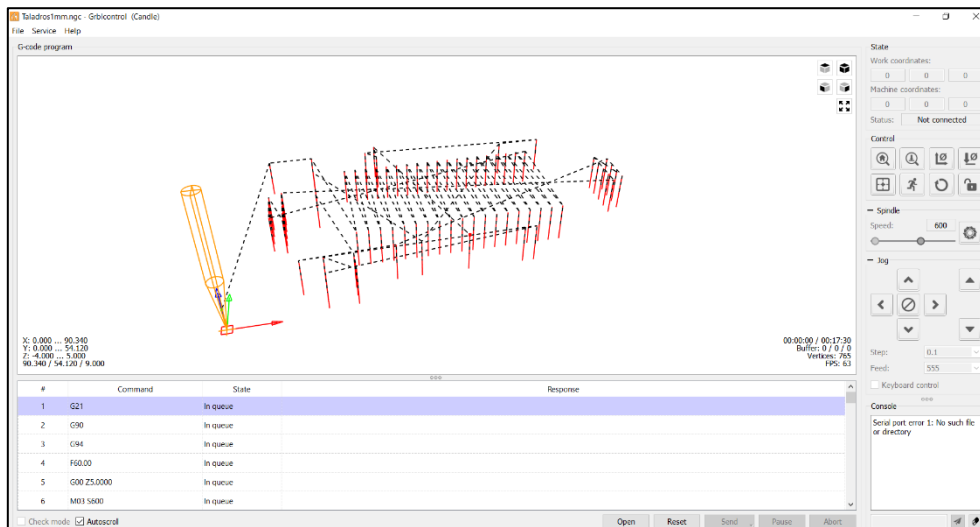
**Captura 37:** Fichero *drl\_cnc* de 1mm en FlatCAM

Fuente: Elaboración propia



Finalmente se introduce el diámetro de la broca en el campo correspondiente y se pulsa en Export Gcode, y se guarda con la extensión .ngc que es la que admite la CNC.

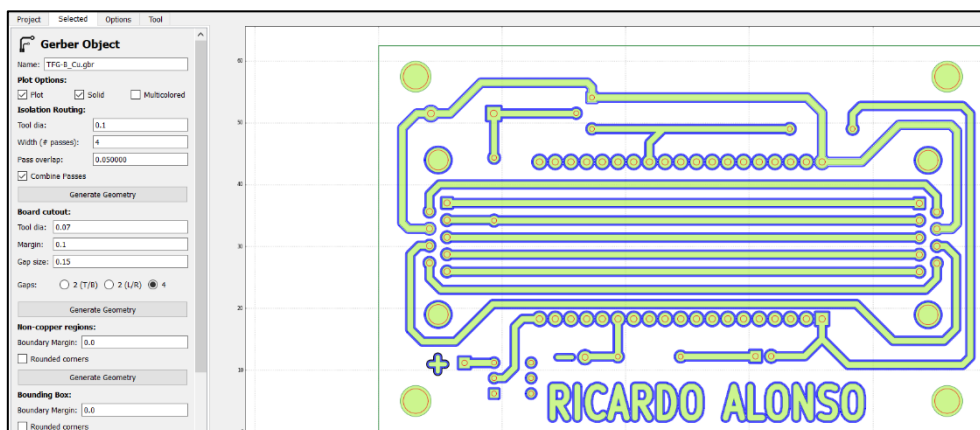
Desde el programa de control de la CNC, en este caso es GRBLcontrol, se abre el fichero de taladrado, ver **Captura 38**. Aquí se muestra la posición actual de la broca y la ruta que va a seguir, junto con los controles de la máquina.



**Captura 38:** Taladros en GRBLcontrol

Fuente: Elaboración propia

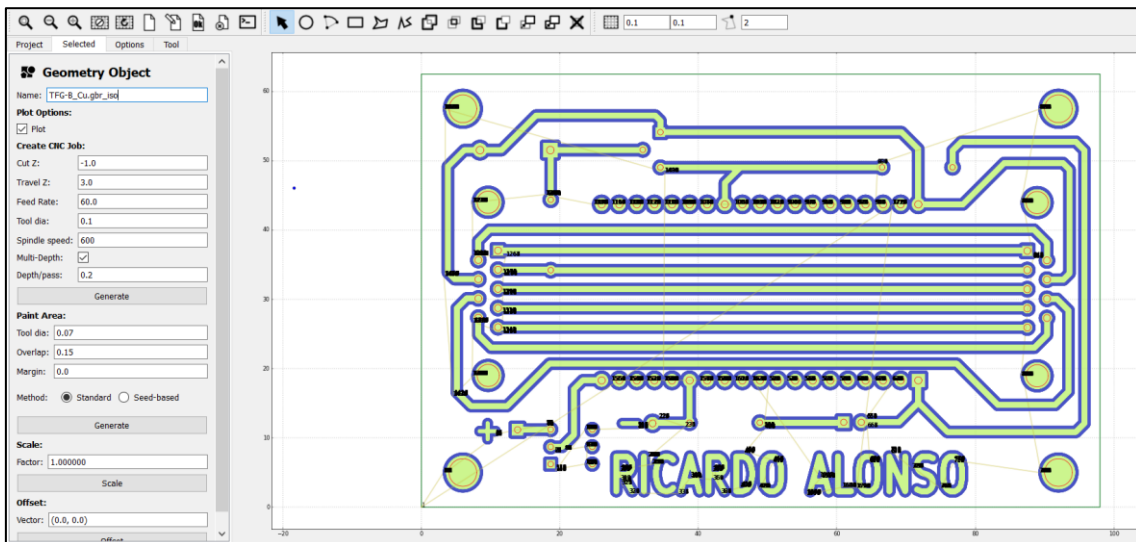
Para las pistas, el proceso es algo diferente, se utiliza una cuchilla de diámetro 0.1mm, que realiza varias pasadas alrededor de las pistas aumentando el ancho de la zona sin cobre. Para ello hay que configurar el diámetro de la herramienta, el número de pasadas y el solapamiento entre pasadas, por último, se pulsa en la primera opción de Generate Geometry para obtener la ruta de la CNC.



**Captura 39:** Ruta de aislado de las pistas en FlatCAM

Fuente: Elaboración propia

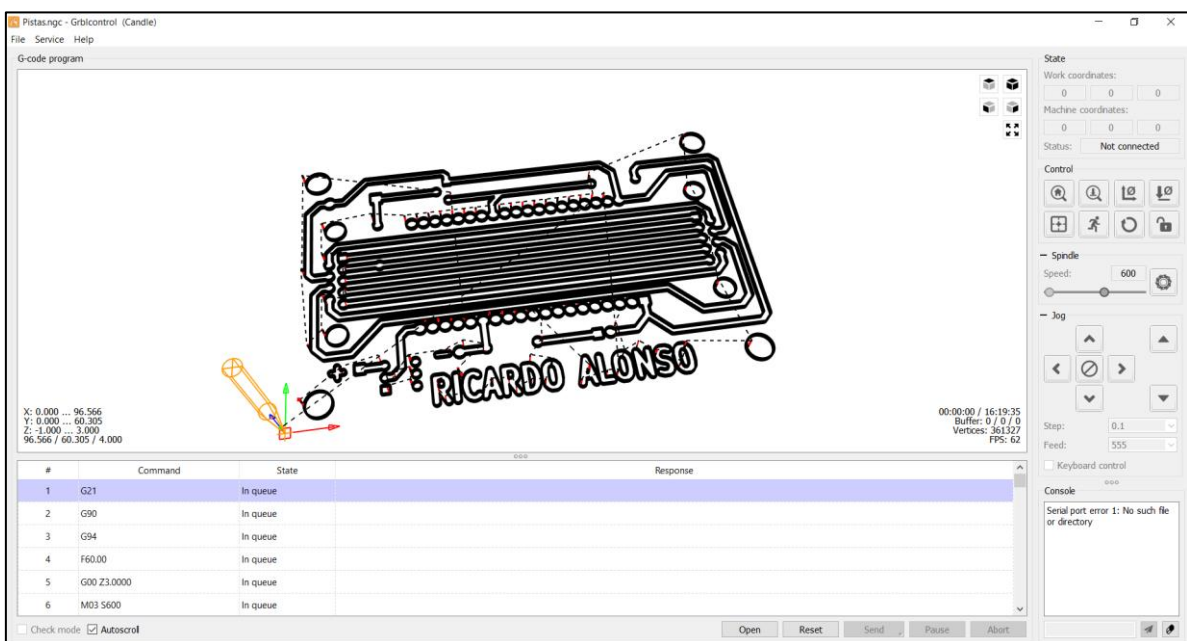
En la ventana proyecto aparece un fichero `.gbr_iso`, aquí se configura la velocidad de penetración del taladro en la placa y la velocidad de giro de este, la distancia de desplazamiento sobre la placa, la profundidad de corte en cada pasada y la profundidad de corte total, ver **Captura 40**. Por último, se pulsa en Generate, y el nuevo archivo generado se exporta a Gcode con la terminación `.ngc`.



**Captura 40:** Generación del fichero de aislado de pistas en FlatCAM

Fuente: Elaboración propia

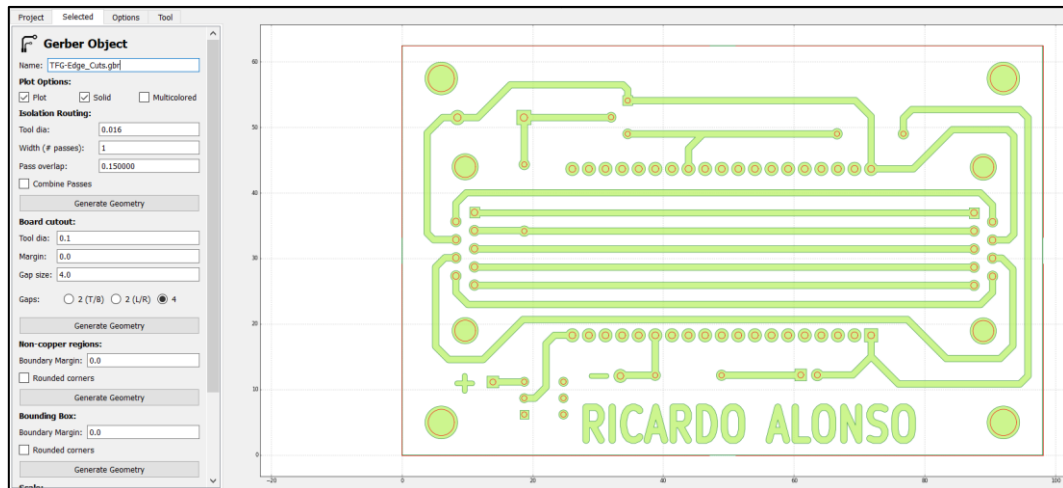
Al cargar este fichero en el software de control de la CNC, se obtiene:



**Captura 41:** Gcode del aislado de pistas en la CNC

Fuente: Elaboración propia

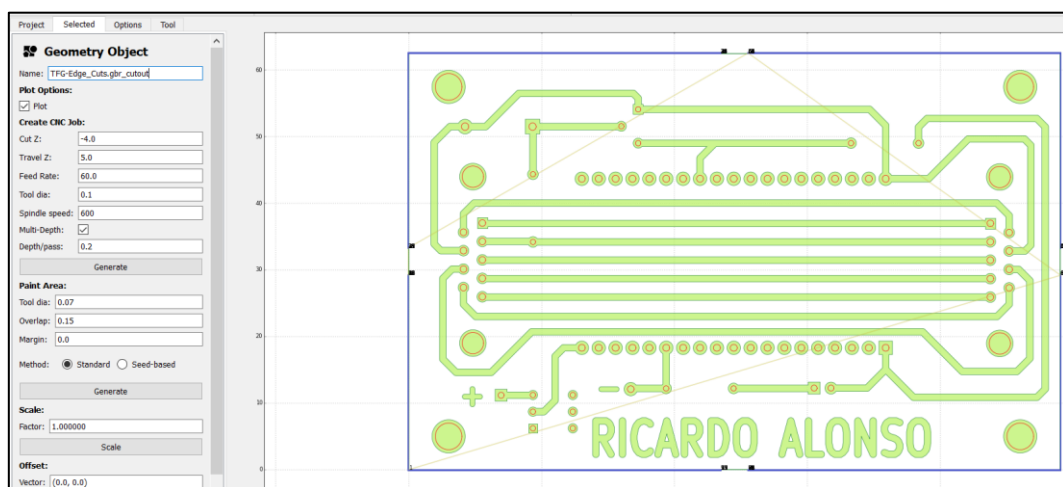
Finalmente, para cortar los bordes de la PCB, en la pestaña proyecto, se selecciona el fichero de los bordes y en el apartado Board cutout, se introduce el diámetro de la herramienta, la distancia del borde a la línea de corte, en este caso 0mm, porque la propia línea es el corte. También se generan huecos, que mantienen la PCB unida al resto de la placa para que no se suelte durante el corte. Se genera la geometría de corte y se obtiene:



**Captura 42:** Ruta del corte de placa en FlatCAM

Fuente: Elaboración propia

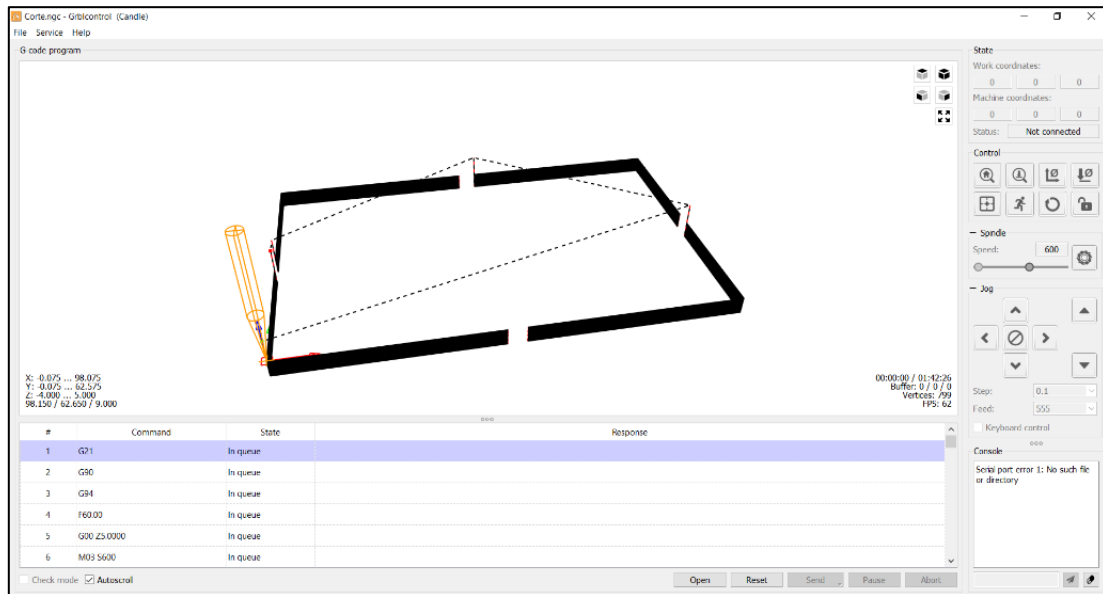
En la pestaña de proyecto se ha generado un archivo .gbr\_cutout. La configuración es similar a la del aislado de pistas, velocidades y varias pasadas hasta completar la profundidad del corte.



**Captura 43:** Rutas para el corte de la placa en FlatCAM

Fuente: Elaboración propia

Por último, se exporta a Gcode con la terminación .ngc y se carga en la CNC.

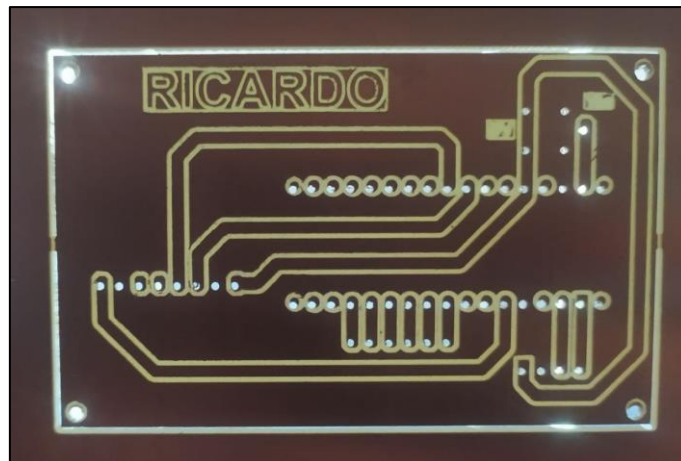


**Captura 44:** Corte de la placa en la CNC

**Fuente:** Elaboración propia

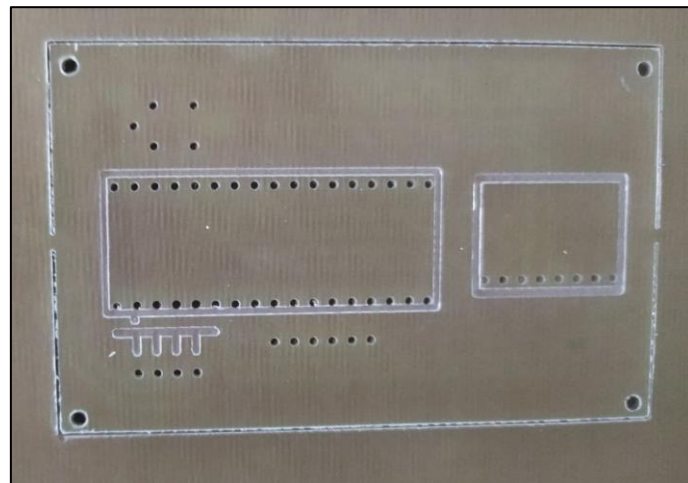
Aunque las PCBs de este proyecto no se realizan utilizando este método, se muestran imágenes de otro proyecto desarrollado a nivel personal. Ver **Captura 45**, **Captura 46** y **Captura 47**.





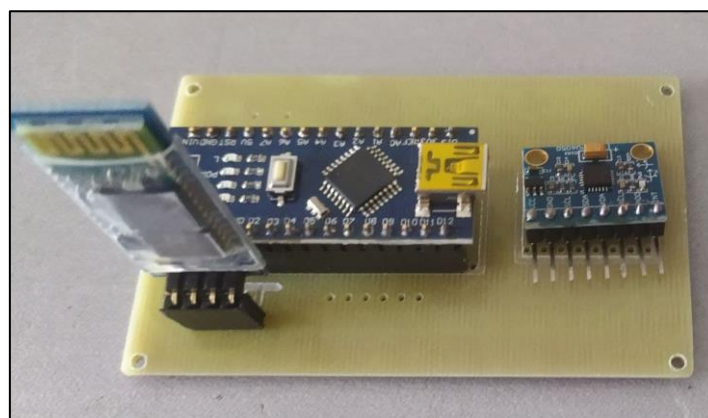
**Captura 45:** PCB realizada con CNC, lado de las pistas

Fuente: Elaboración propia



**Captura 46:** PCB realizada con CNC, serigrafía

Fuente: Elaboración propia



**Captura 47:** PCB realizada con CNC, montaje final

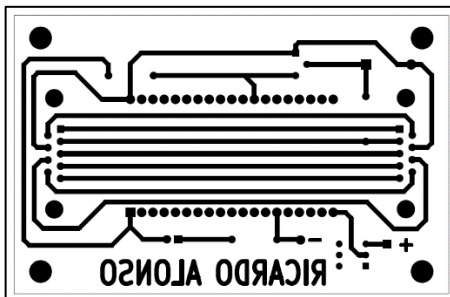
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Fabricación mediante insolación y ataque con ácido

Para este método de fabricación se generan los dibujos en negro de las distintas capas o fotolitos que se imprimen sobre un papel vegetal o se dibujan mediante un foto plóter.

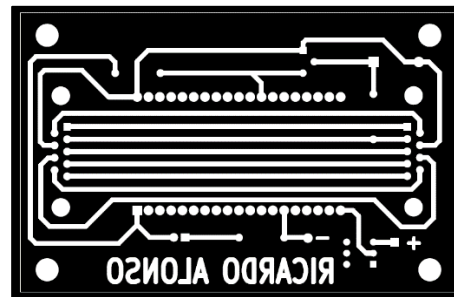
En este proceso se toma una placa de cobre fotosensible para PCBs recubierta de una fotoresina, que puede ser positiva o negativa. Si es positiva la fotoresina expuesta a la luz se degrada durante la insolación, de manera que tras el proceso de revelado la superficie de cobre sobre la que ha incidido la luz queda expuesta. Si la fotoresina es negativa, al recibir la luz la resina se cura y las zonas de cobre sobre las que ha incidido la luz son las que se mantienen durante el revelado.

Los fotolitos también pueden ser positivos o negativos, los primeros llevan las pistas en negro y los segundos dejan las pistas en transparente, ver **Figura 63** y **Figura 64**.



*Figura 63: Fotolito positivo*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 64: Fotolito negativo*

*Fuente: Elaboración propia*

De manera que si se aplica un fotolito positivo sobre una placa positiva se obtiene el mismo resultado que si se utiliza un fotolito negativo sobre una placa negativa.

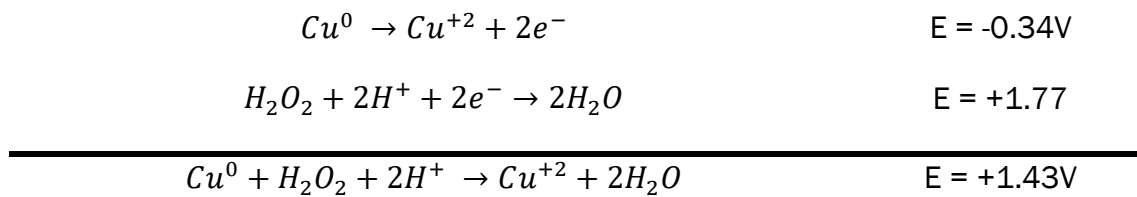
Una vez se tiene la placa de cobre revelada, esta se somete a un proceso químico de eliminación del cobre expuesto, sumergiendo la placa en una disolución de Agua, ácido clorhídrico al 35% y agua oxigenada (peróxido de hidrógeno 110 vol.), mezclado a partes iguales.



En este proceso químico en un medio ácido, (presencia de ácido clorhídrico,  $HCl$ ), el  $H_2O_2$  oxida el  $Cu$  en  $Cu^{+2}$  debido a la diferencia de potencial entre las dos siguientes semirreacciones:



Después el  $H_2O_2$  actúa como oxidante y el  $Cu$  como reductor, dando lugar a las siguientes reacciones de oxidación reducción:

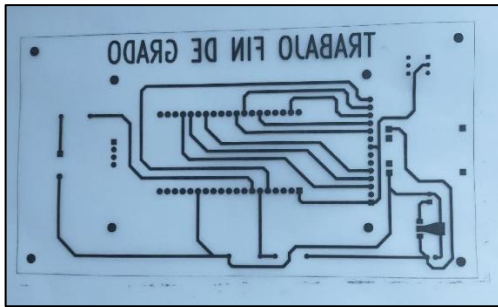


Como el potencial total de la reacción es positivo, la reacción es espontánea, quedando como resultado cloruro de cobre disuelto en agua (disolución de color verdoso).



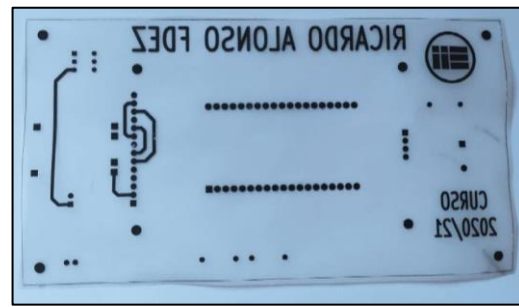
Tras eliminar el cobre se lava la placa con agua y se utiliza alcohol para retirar la fotoresina que cubre las pistas y pads, para que después se pueda soldar correctamente.

A modo de ejemplo se muestra el proceso de fabricación de la PCB del visualizador. Se comienza imprimiendo los fotolitos de la cara de cobre superior e inferior en papel vegetal, y cortando la placa una placa de cobre de doble cara con resina fotosensible a unas dimensiones ligeramente mayores a las necesarias. Para un mejor resultado se coloca el lado del papel del fotolito con la tinta sobre el cobre, para ello a la hora de imprimir el fotolito de la cara inferior no se refleja y el de la superior sí. En la **Figura 65** y la **Figura 66**, se muestran los fotolitos del visualizador vistos desde el lado que va en contacto con el cobre.



**Figura 65:** Fotolito superior del servidor

Fuente: Elaboración propia



**Figura 66:** Fotolito inferior del servidor

Fuente: Elaboración propia

Una vez impresos los fotolitos se colocan uno sobre otro alineando los pads entre sí y utilizando celo se pegan los bordes de las hojas entre sí para obtener una especie de bolsa donde meter la placa.

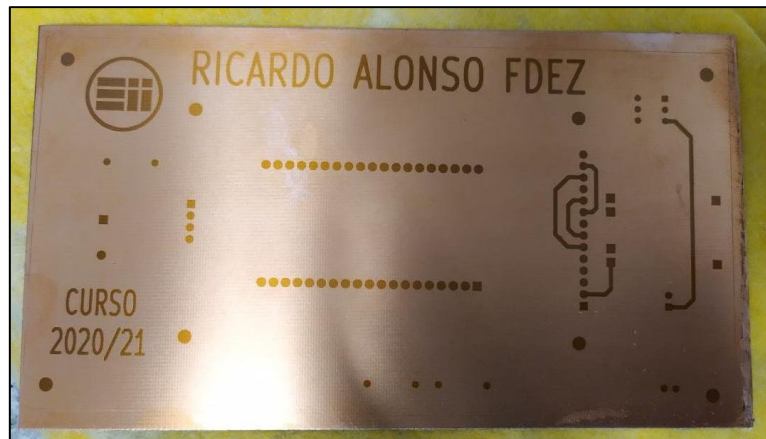
En una sala oscura utilizando luz roja, se retira la lámina de plástico que recubre la placa de cobre para proteger la fotoresina de la luz, y se introduce entre los fotolitos. Ahora se coloca en la insoladora donde un cristal y el vacío que genera la máquina sujetan los fotolitos sobre la placa mientras la luz ultravioleta actúa sobre la fotoresina durante 4 minutos, ver **Figura 67**.



**Figura 67:** Placa del servidor en la insoladora

Fuente: Elaboración propia

Una vez transcurridos los 4 minutos, se saca la placa de insoladora y aún con luz roja, se sumerge la placa en el revelador, sosa caustica diluida en agua. Se mueve la placa dentro de la disolución para asegurar que se reparte por toda la superficie, poco a poco las zonas cubiertas por la fotoresina curada se van oscureciendo y cuando el dibujo está bien definido, la placa se lava con agua y se seca, ver **Figura 68**.

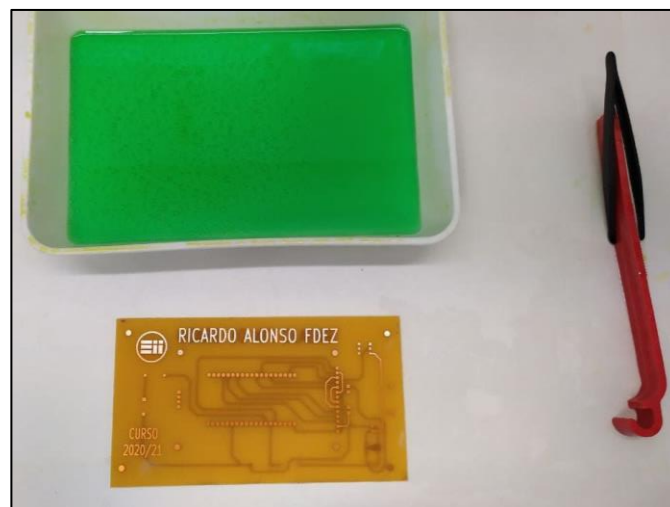


**Figura 68:** Placa del Visualizador revelada

Fuente: Elaboración propia

Al tratarse de una placa muy grande con mucho cobre a eliminar, la reacción con el ácido es muy intensa y si se sumerge así en él, las burbujas que se generan por debajo impedirán que el cobre de la cara superior se elimine correctamente y que en la parte inferior el ácido comience a eliminar pistas. Para controlar mejor el proceso de atacado se recubre una de las caras con celo, de esta forma el ácido no afectará a esta cara de la placa. Se prepara la disolución y se introduce la placa con la cara con celo pegando a la superficie de la cubeta, mediante un movimiento de vaivén de la cubeta se mueve la disolución por toda la superficie hasta que todo el cobre se ha eliminado quedando solo las pistas. Rápidamente se saca y se lava con abundante agua, ya que si pasa más tiempo el ácido comenzará a eliminar las pistas.

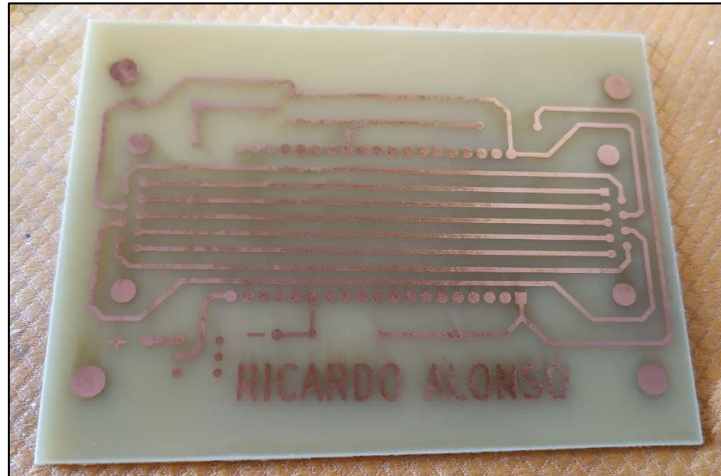
Tras secar bien la placa se retira el celo y se cubre con él la cara que ya ha sido descubierta. Se prepara una nueva disolución del atacador y se repite el mismo proceso para esta cara, ver **Figura 69**.



**Figura 69:** Proceso de atacado de la placa del visualizador

Fuente: Elaboración propia

Una vez retirado todo el celo, se aplica alcohol en las superficies de la placa y se frota para eliminar la fotoresina, en la **Figura 70** se puede apreciar como la fotoresina se disuelve en el alcohol creando zonas borrosas, y como las zonas ya limpias son más brillantes.



**Figura 70:** Limpieza de la placa del servidor

Fuente: Elaboración propia

Para realizar los taladros, primero se realizan manualmente mediante un taladro de columna los orificios de 3mm, y después sobre la base de sacrificio de la CNC se realizan los mismos desde el fichero de taladros de la placa cargado en la CNC. De esta manera rápida se obtiene la posición exacta en la que colocar la placa.

Se sitúa la placa con la cara superior hacia arriba haciendo coincidir los orificios con los de la base y se colocan unos pivotes de madera en ellos, fijando la placa en su posición. Tras esto, se procede a realizar los orificios, con los distintos diámetros de broca. El propio programa de control de la CNC pide el cambio de herramienta y una vez realizado el cambio, continua con el proceso.

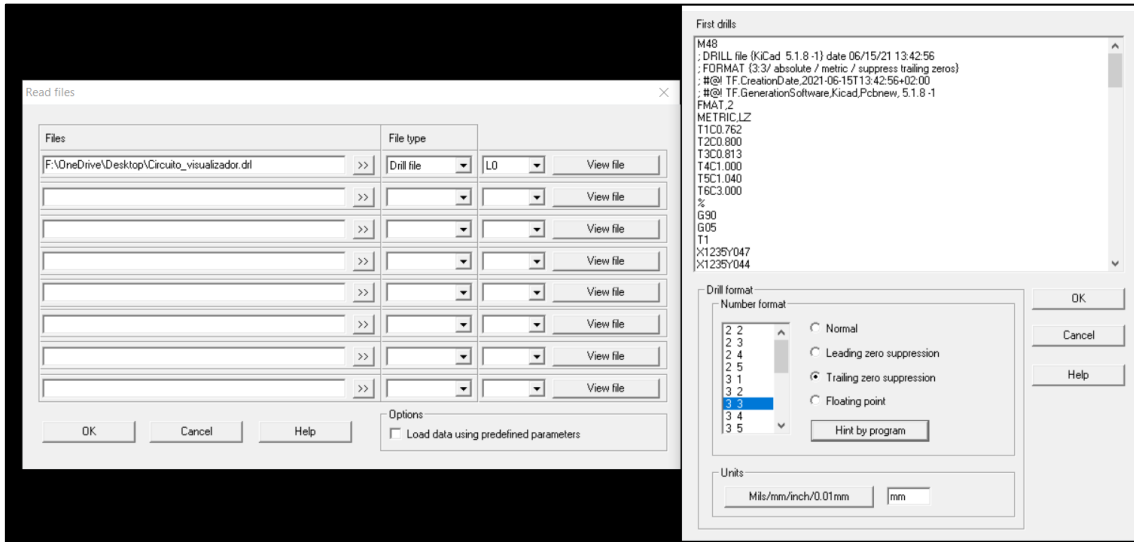


**Figura 71:** CNC Bungard CCD

Fuente: Elaboración propia



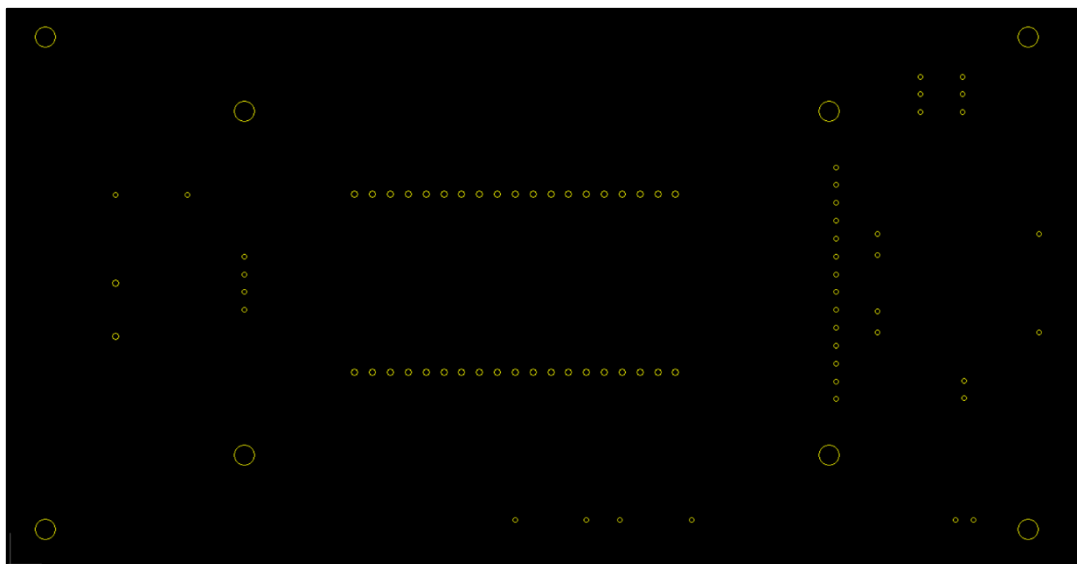
Una vez generado el archivo de taladrado desde KiCad, se abre desde Isocam y al pulsar en OK (ventana izquierda) se abre la ventana de la derecha, donde al pulsar en *Hint by program*, la configuración se adapta a la del fichero, ver .



**Figura 72:** Carga del fichero de taladrado en Isocam

Fuente: Elaboración propia

El resultado es el siguiente:



**Figura 73:** Fichero de taladrado en Isocam

Fuente: Elaboración propia

Para generar el fichero de trabajo para la CNC, desde la pestaña *File* se selecciona la opción *Save* y en la ventana que aparece se selecciona formato *Excellon*, unidades *inch*, *Leading zero suppression* y formato de dígitos *2:4*, por último, se guarda el fichero con el formato *.ncd*. Ver **Figura 74**.

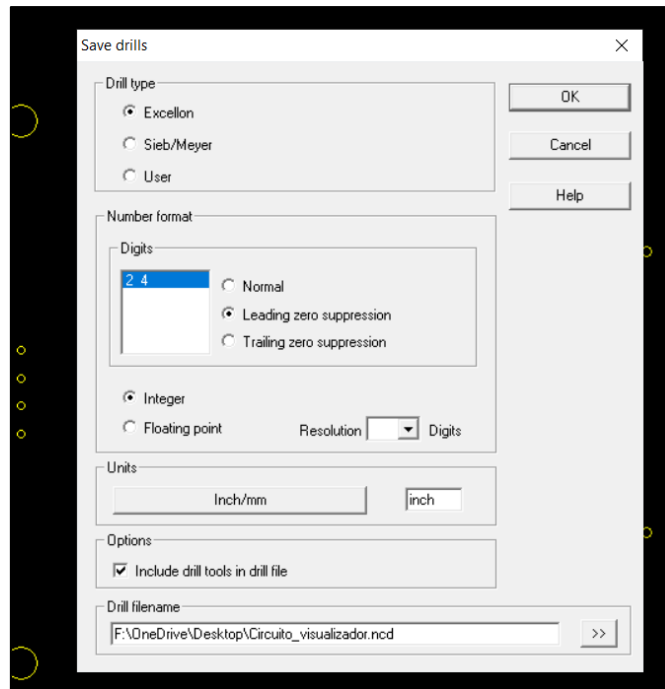


Figura 74: Generación del fichero de trabajo de la CNC

Fuente: Elaboración propia

Una vez soldados los componentes en las placas, el resultado es el siguiente:



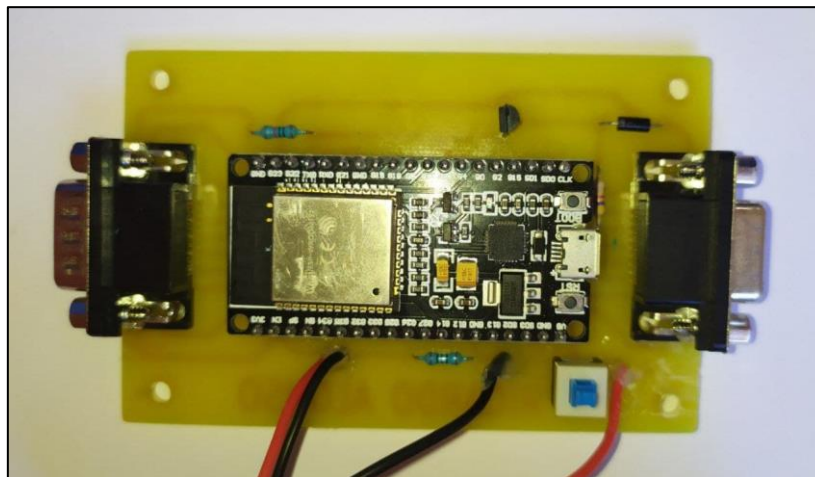
Figura 75: Prototipo del visualizador, cara frontal

Fuente: Elaboración propia

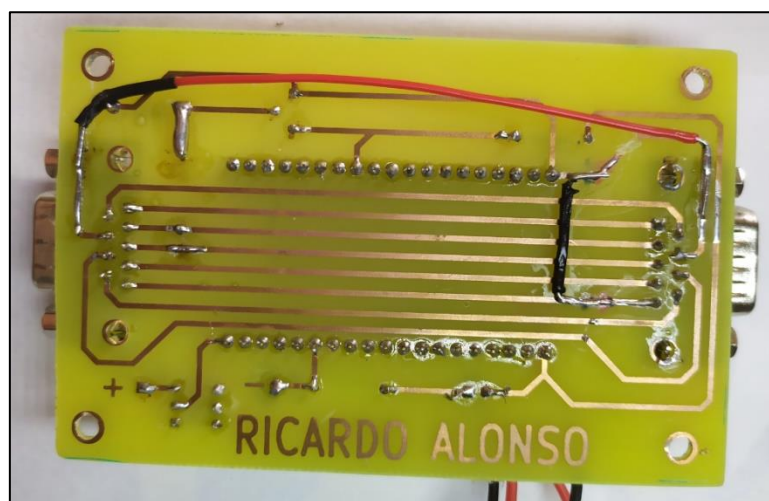




*Figura 76: Prototipo del visualizador, cara trasera*  
Fuente: Elaboración propia



*Figura 77: Prototipo del servidor, cara superior*  
Fuente: Elaboración propia



*Figura 78: Prototipo del servidor, cara inferior*  
Fuente: Elaboración propia





## Capítulo 5: Programación

Para la programación se ha utilizado el IDE de Arduino adaptado para añadir las placas del ESP32. Además, la versión utilizada es la 1.8.5 (Arduino, 2021) para la que existe una extensión en Python que permite cargar archivos al sistema SPIFFS del dispositivo. (me-no-dev, 2021). Para instalar esta herramienta en el entorno, hay que descomprimir el archivo descargado dentro de la carpeta *tools* del directorio donde se haya instalado Arduino.

Para que el compilador del entorno de Arduino pueda trabajar con la placa del ESP32, en Archivo > Preferencias se pega el siguiente enlace ([https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json)), de esta manera el compilador puede obtener los archivos necesarios para que funcione correctamente.

Los archivos que deban subirse a la memoria SPIFFS de la placa deben estar en una carpeta llamada *data* dentro del directorio del proyecto. Es importante que la totalidad de los archivos a almacenar en SPIFFS no supere los 1,5MB que es el máximo que admite el modelo de placa utilizado.

### 5.1 Servidor

En el servidor se ejecutan dos tareas de manera simultánea, por un lado, un servidor Wifi asíncrono que permite atender peticiones de clientes en cualquier momento, a diferencia de uno síncrono que estaría constantemente mirando si existe alguna nueva petición. Se utiliza el servidor asíncrono para que la comunicación inalámbrica no entre en conflicto con la segunda tarea en ejecución, la recepción de datos a través del puerto serie.

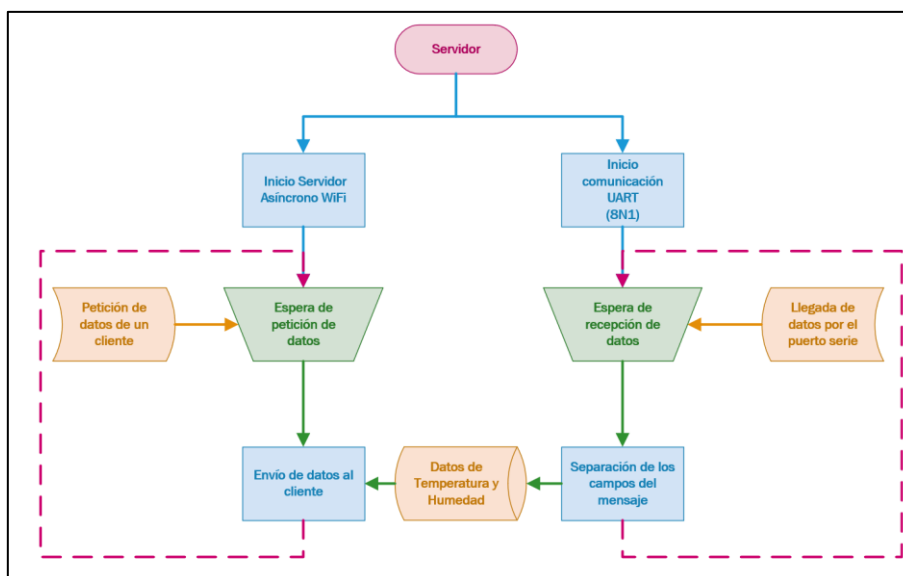


Diagrama 3: Programa del servidor

Fuente: Elaboración propia

Al conectarse a la red Wifi creada por el servidor, se puede acceder a cada uno de los datos disponibles de manera individual o a una página web diseñada para mostrar al usuario las condiciones de cada zona. De esta forma, conectando un dispositivo móvil u ordenador a esta red e introduciendo la IP 192.168.4.1 en el navegador se pueden observar los datos sin necesidad de tener el visualizador cerca (ver **Tabla 11**).

Dirección	Contenido
192.168.4.1	Página web
192.168.4.1/Fecha	Fecha
192.168.4.1/Hora	Hora
192.168.4.1/TCalibracion	Temperatura de la zona de calibración
192.168.4.1/TEnsayos	Temperatura de la zona de ensayos
192.168.4.1/HCalibracion	Humedad de la zona de calibración
192.168.4.1/HEnsayos	Humedad de la zona de ensayos

*Tabla 11: Direcciones y contenido del servidor*

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.1.1 Diseño de la página web

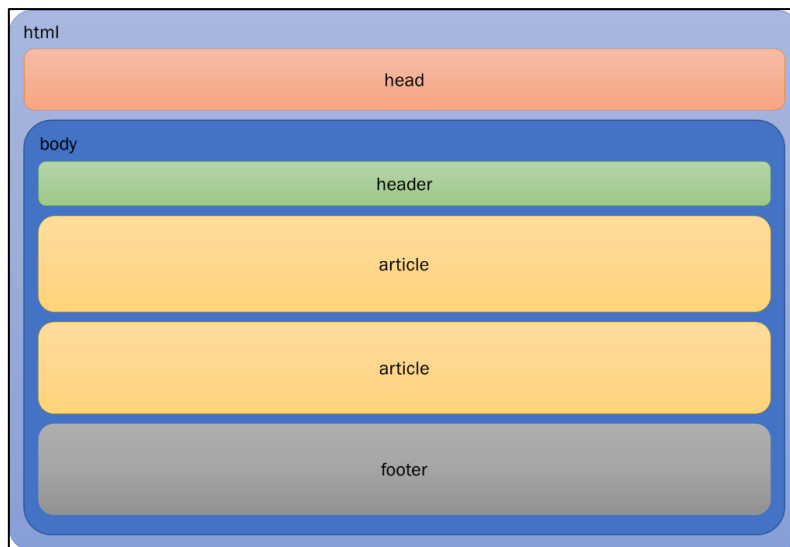
Para el diseño de la página web se ha diseñado una interfaz sencilla que muestre los valores de temperatura y humedad en una tabla, y la fecha y hora en un lateral. Para su diseño se ha utilizado lenguaje HTML<sup>18</sup> estructurando la página como se indica en la **Figura 79**. Para su programación se ha utilizado Visual Studio Code (Microsoft, 2021).

**head:** establece el nombre de la página que se muestra en el navegador al acceder a ella. También el tipo de codificación de caracteres utilizado (UTF-8) e invoca a la hoja de estilos CSS<sup>19</sup>.

- **body:** es el contenido principal de la página
  - **header:** contiene el logo de la escuela y de la universidad, junto con la palabra Lacecal.
  - **article superior:** contiene la tabla con los datos de temperatura y humedad y en el lateral izquierdo la fecha y hora.
  - **article inferior:** muestra el logo del Lacecal.
  - **footer:** autor y curso.

<sup>18</sup> *HyperText Markup Language*, Lenguaje de Marcas de Hipertexto

<sup>19</sup> *Cascading Style Sheets*, Hojas de Estilo en Cascada



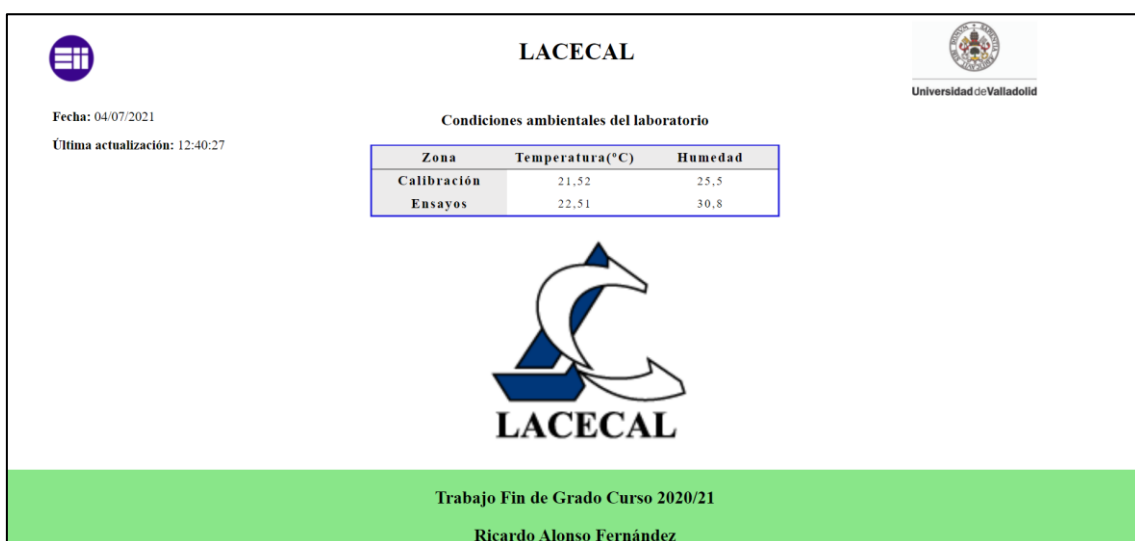
**Figura 79:** Estructura de la página web

Fuente: Elaboración propia

Para estructurar el contenido del fichero HTML, se crea una hoja de estilo, que define los tamaños, colores y posiciones de los campos definidos anteriormente. Estas medidas se pueden realizar de manera relativa o absoluta. Se utiliza el formato relativo para que la página se adapte al tamaño de la pantalla del dispositivo desde el que se visualiza.

También se genera una pequeña función de JavaScript, que actualiza la página cada 60 segundos para refrescar los datos mostrados.

El resultado final de la página web se puede ver en la **Captura 48**.



**Captura 48:** Página web del servidor

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2 Recepción de la trama en el ESP32

Para poder recibir la trama, en el setup se habilita el puerto UART 2 del microcontrolador, estableciendo un protocolo 8N1 a 9600baudios (ocho bits de datos, sin paridad y un bit de parada), la misma a la que transmite el datalogger.

El puerto UART 2 está formado por los dos pines TX, pin 17 y RX pin 16.

```
Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RX, TX);
```

El microcontrolador debe ser capaz de separar los campos del mensaje recibido. Como cada campo está separado por una tabulación horizontal, el programa las va detectando y almacenando los caracteres que hay entre dos tabulaciones en una misma variable. Finalmente, cuando detecta el carácter de nueva línea, finaliza la recepción del mensaje.

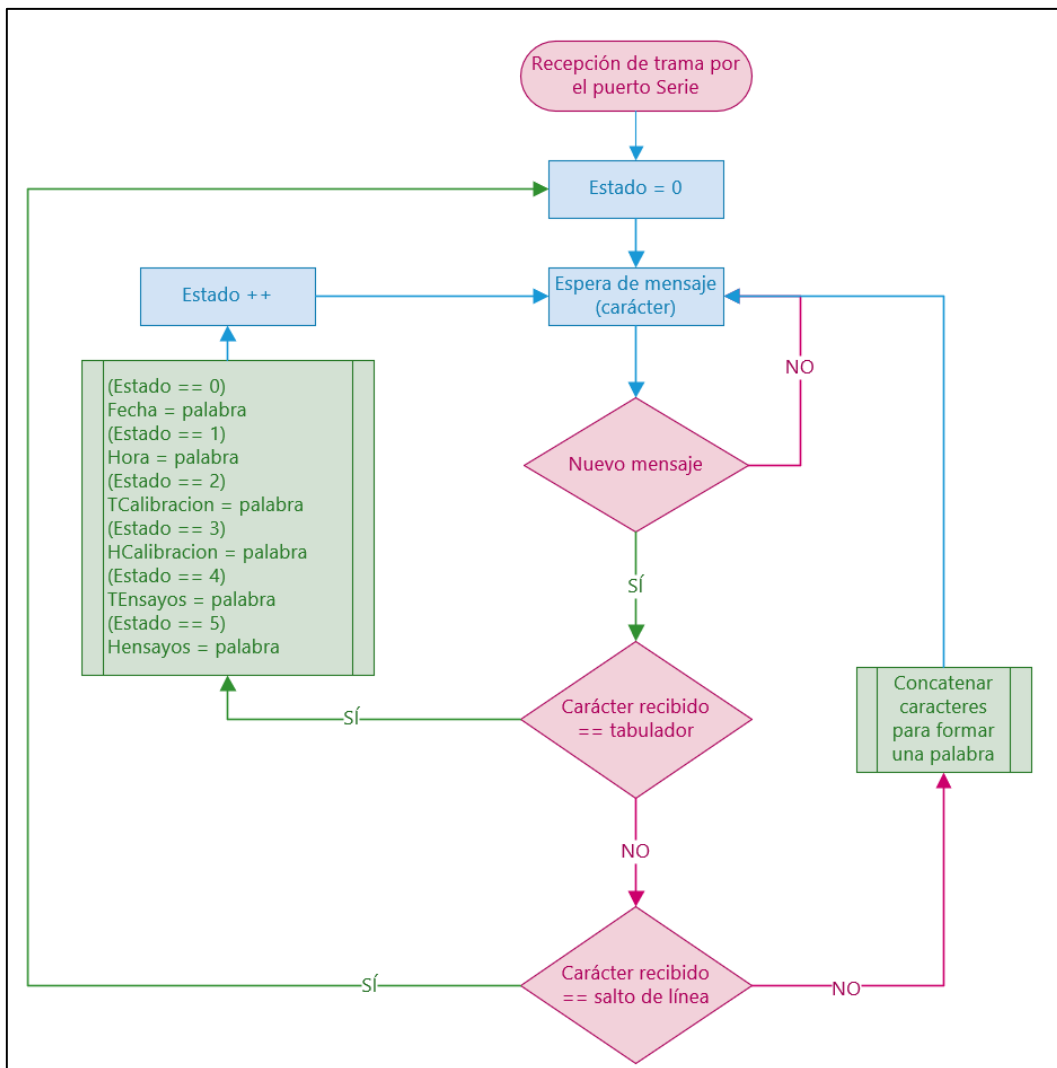
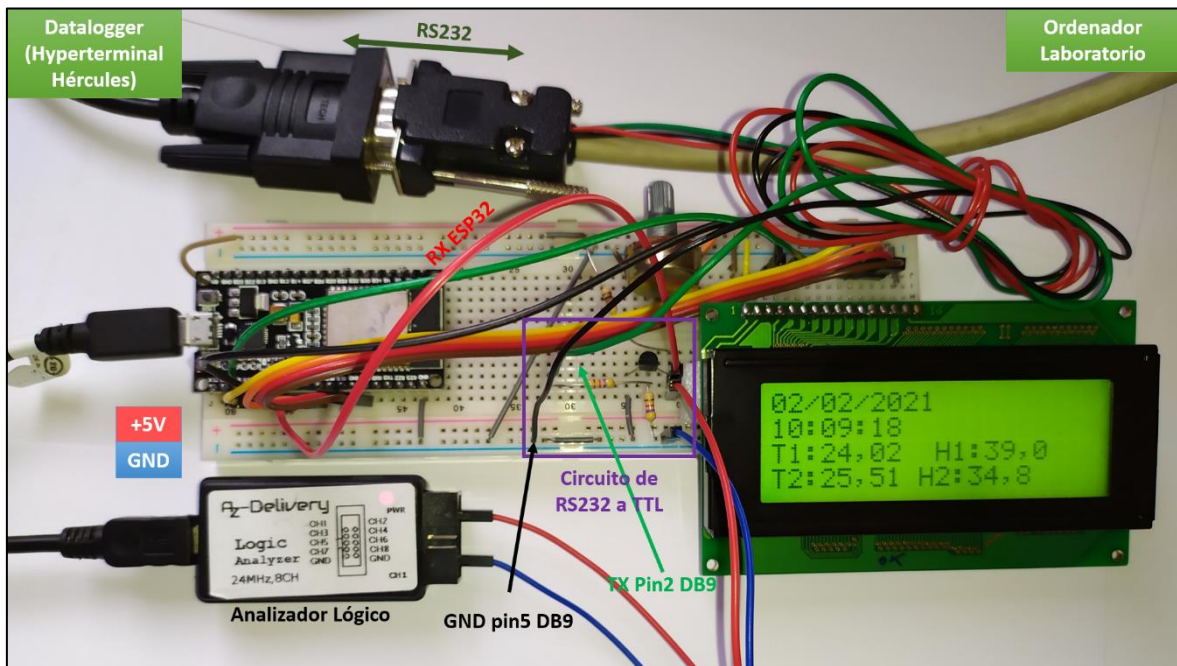


Diagrama 4: Recepción de mensaje por el puerto serie y separación de campos

Fuente: Elaboración propia

Por último, a modo de prueba, los datos recibidos se muestran a través de una pantalla LCD. En la **Figura 80** se muestra el montaje en protoboard del circuito convertidor de RS232 a TTL, el ESP32 y una pantalla LCD, en la que aparece el mensaje del apartado **3.1.1.1 Prueba de la comunicación serie** junto con el analizador lógico usado.



**Figura 80:** Prueba de recepción de mensaje por puerto serie usando pantalla LCD

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3 Servidor asíncrono

Para crear un servidor asíncrono se utiliza la librería de funciones ESPAsyncWebServer (me-no-dev, 2021).

El funcionamiento de este servidor se basa en llamadas. Se implementan un conjunto de peticiones o direcciones válidas (ver **Tabla 11**) que tienen asignados unos recursos o elementos de retorno, por ejemplo, al acceder a la temperatura de una zona, se devuelve una cadena de texto con el valor de la variable correspondiente. Si se accede a la dirección de la raíz, la página web, las fotos que aparecen en ella están almacenadas en la memoria SPIFFs del ESP32, de manera que se lee de memoria y se envía la imagen al cliente.

En el caso de la página web, esta se envía como texto al dispositivo conectado y el navegador interpreta el contenido para mostrarlo adecuadamente, sin embargo, la página es dinámica, muestra variables que cambian con el tiempo. Para que estas aparezcan en los lugares correspondientes se utilizan placeholders<sup>20</sup> palabras entre “%”, por ejemplo, %T\_CALIBRACION%. Cuando se está transmitiendo la página, este proceso se realiza a través de una función llamada **procesamiento()** por la que pasa cada carácter de la página y cuando detecta un “%” concatena las letras que hay hasta el siguiente “%”. La palabra obtenida la compara con las definidas y la sustituye por el valor que se haya indicado.

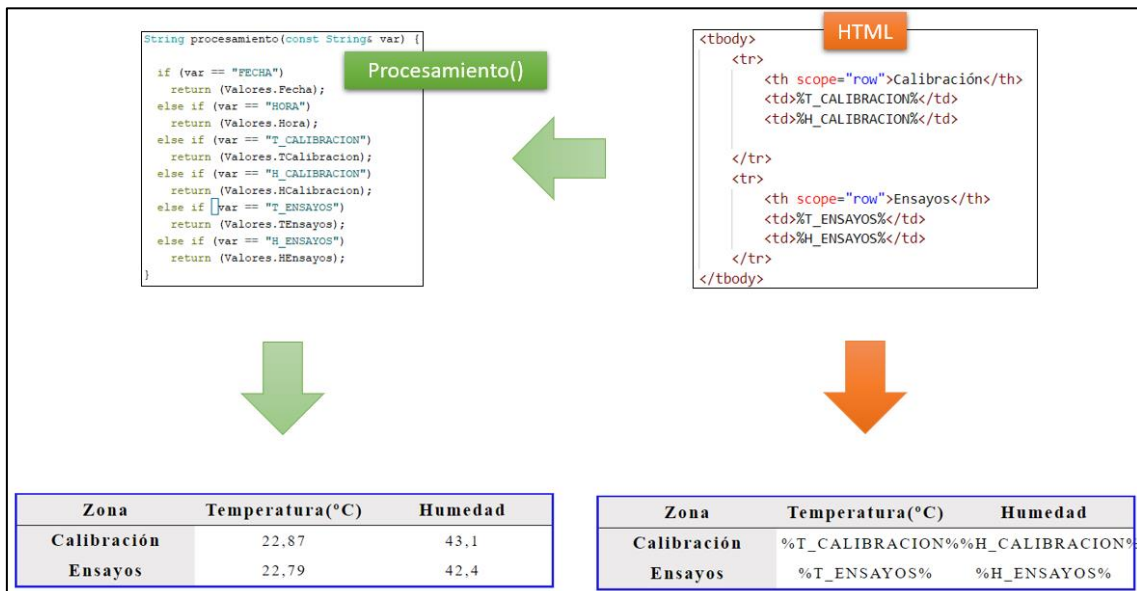


Figura 81: Función procesamiento y página web

Fuente: Elaboración propia

<sup>20</sup> Marcadores de posición





El servidor web se inicia en el puerto o WebSocket 80, el predeterminado para HTTP. De manera que la comunicación bidireccional entre el cliente y el servidor se realiza a través de este puerto.

Al utilizarse TCP/IP para la comunicación se deben definir tanto la dirección IP, como la máscara y el Gateway o puerta de enlace. Como el ESP32 genera su propia red se podría utilizar distintos valores, pero por simplicidad se utilizan las que vienen por defecto que funcionan correctamente:

**IP:** 192.168.4.1

**Gateway:** 192.168.4.9

**Máscara:** 255.255.255.0

Si el ESP32 se fuera a conectar a una red Wifi existente, habría que configurar la dirección IP, Gateway y Máscara según defina la red.

También se definen las credenciales de la red, identificación y contraseña:

**ssid:** LACECAL\_TyH

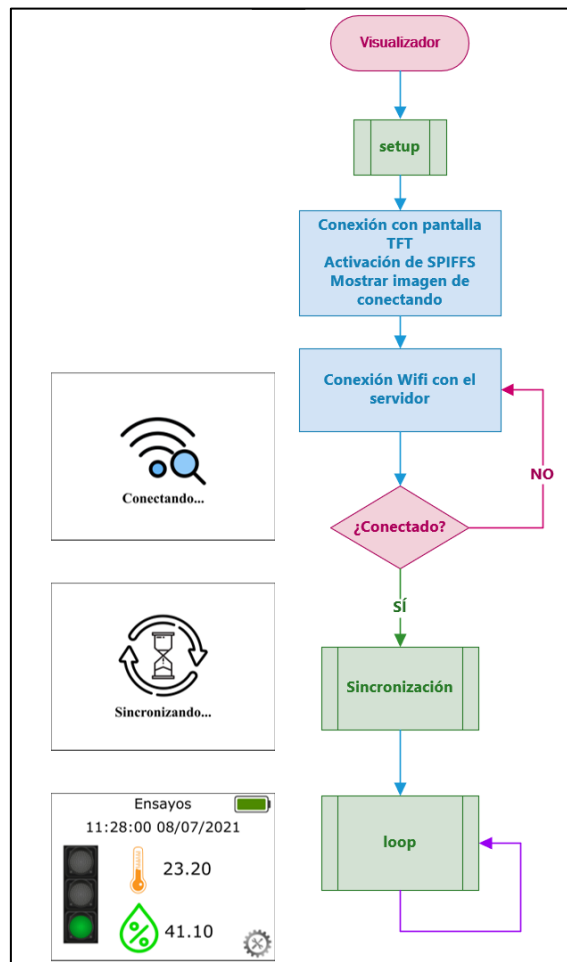
**password:** (no se muestra)

## 5.2 Visualizador

En el visualizador se ejecutan dos tareas<sup>21</sup>, la consulta del servidor por Wifi y la actualización de la pantalla. Al encender el dispositivo, se inicia la conexión con la pantalla y se activa el almacenamiento SPIFFS. A continuación, se intenta conectar a la red Wifi del servidor, mientras realiza esta tarea se muestra en la pantalla la imagen de conectando.

### 5.2.1 Proceso de sincronización

Una vez conectado, comienza el proceso de sincronización con el servidor, durante el cual el cliente consulta cada 5 segundos la hora del servidor, en el momento en el que dos valores consecutivos son distintos, es que el servidor acaba de obtener nuevos valores. A partir de este momento el visualizador consultará al servidor cada 60 segundos para obtener nuevos valores. Debido al proceso de sincronización inicial, el visualizador recibirá los datos como mucho 5 segundos más tarde de que estos estén disponibles, ver **Diagrama 6** y **Diagrama 7**.



**Diagrama 5:** Esquema general del programa del visualizador

Fuente: Elaboración propia

<sup>21</sup> Programa independiente que necesita utilizar los recursos del dispositivo

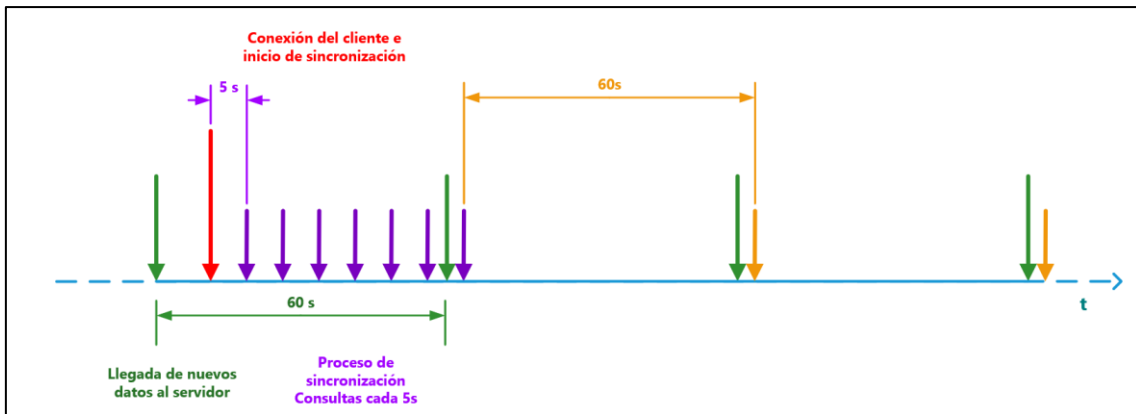


Diagrama 6: diagrama temporal del proceso de sincronización

Fuente: Elaboración propia

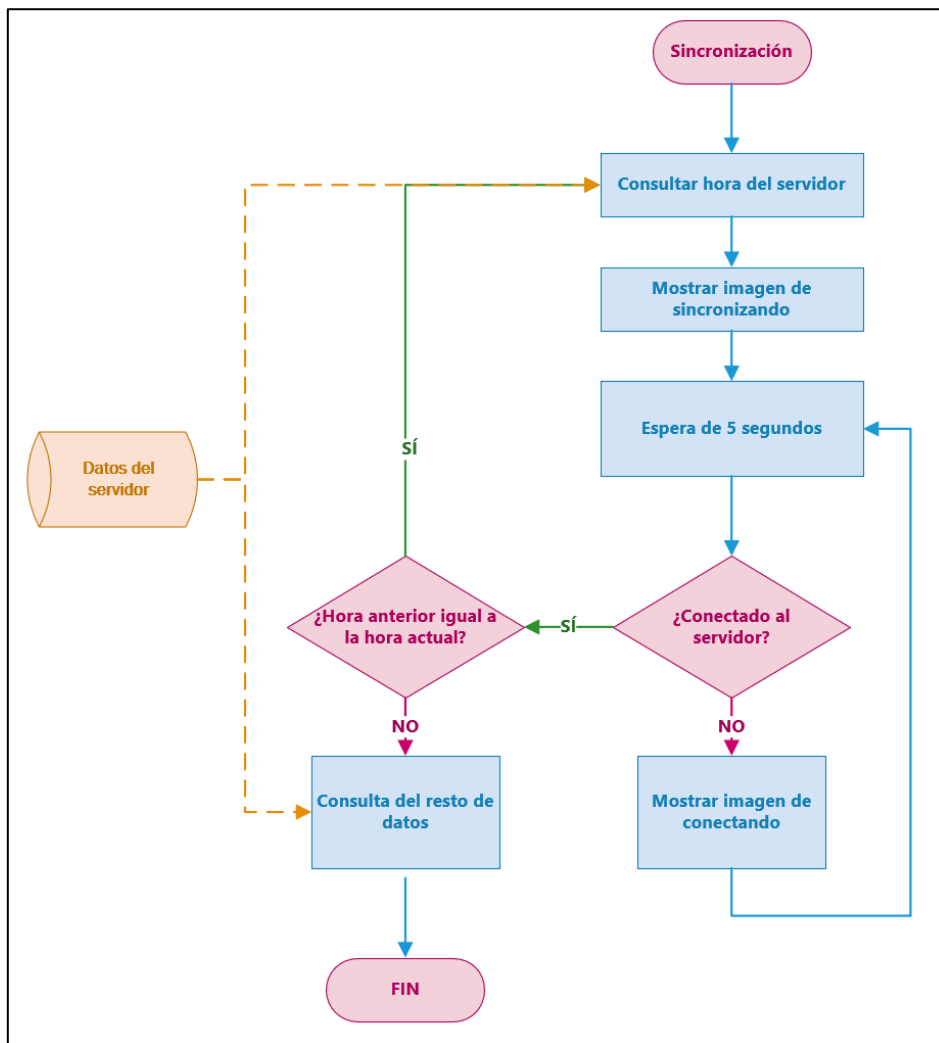


Diagrama 7: diagrama del código del proceso de sincronización

Fuente: Elaboración propia

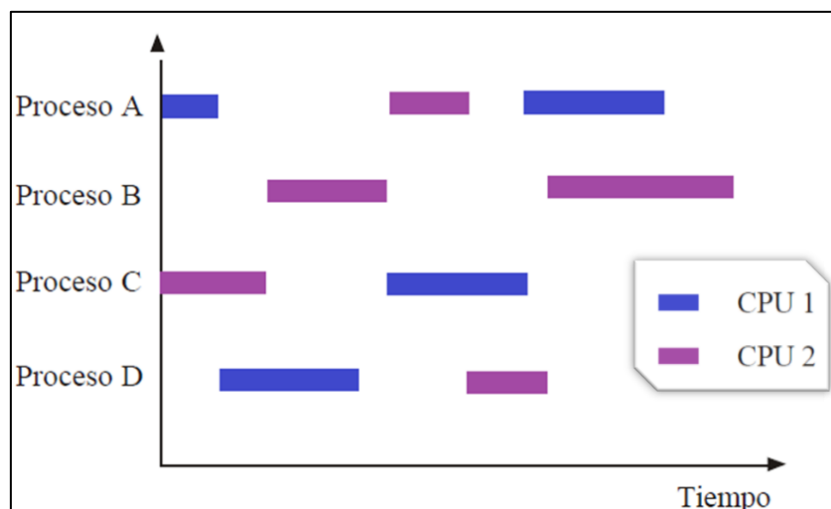
### 5.2.2 Planteamiento general del código

El programa principal se puede dividir en dos tareas, una que se encarga de la comunicación con el servidor cada 60 segundos y otra que debe estar constantemente leyendo el táctil de la pantalla y refrescando la imagen si hiciera falta, esto origina un problema de concurrencia en el que dos programas buscan utilizar los recursos de la CPU. Para poder ejecutar ambas tareas existen varias posibles soluciones:

- **Uso de ambos procesadores:**

Cada tarea se ejecuta en uno de los dos procesadores que posee el ESP32.

El principal inconveniente es que supone un aumento en el consumo del dispositivo. En cuanto a programación necesita de sistemas RTOS<sup>22</sup>, sistemas de tiempo real. Sistemas operativos que implementan un planificador de tareas, que en función de la prioridad de cada tarea, su periodo de ejecución, tiempos límites (deadlines) y otros parámetros definidos por el usuario, organiza el acceso de cada tarea a los recursos del dispositivo (GPIOs, Memoria, etc.).



**Figura 82:** Concurrencia en multiprocesador

Fuente: (de la Fuente, 2019)

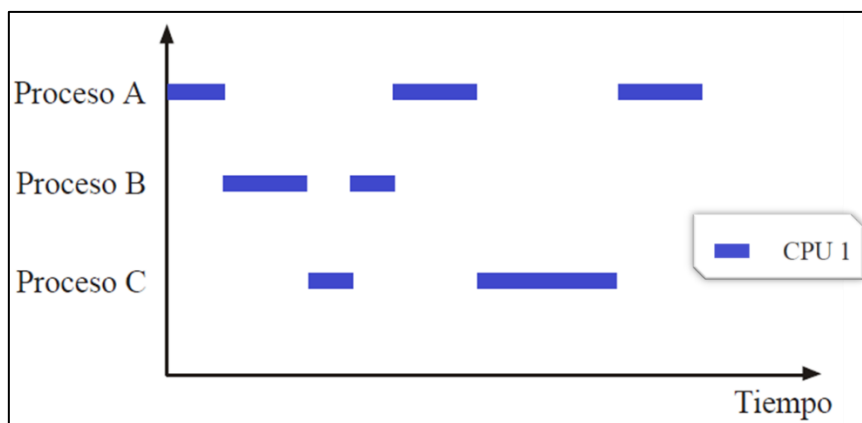
<sup>22</sup> Real-Time Operating System, Sistema Operativo de Tiempo Real



- **Dos hilos en un solo procesador**

El planteamiento es similar al anterior, se ejecutan dos tareas distintas pero esta vez en un solo procesador. Se crean dos threads o hilos, que son dos tareas en ejecución en un mismo procesador, por ello se necesita también de un sistema RTOS y en el que a diferencia del caso anterior el propio procesador es un recurso compartido. Este es el funcionamiento habitual de cualquier ordenador o dispositivo móvil, en el que existe una sola CPU y varias aplicaciones en ejecución simultánea.

Resulta complejo de programar, debido a que al compartir recursos, existen secciones críticas en cada tarea, partes de la ejecución del programa que no puede ser interrumpida, por ejemplo, cuando accede a memoria. Para regular las secciones críticas se necesita de IPC<sup>23</sup>, funciones que permiten la sincronización y comunicación entre los procesos.



*Figura 83: Concurrencia en un solo procesador*

*Fuente: (de la Fuente, 2019)*

- **Tarea continua y tarea periódica con interrupción**

Se trata de una modificación del planteamiento anterior, en el que se crean dos hilos ficticios. La tarea de leer y actualizar la pantalla se ejecuta continuamente, y se crea una interrupción periódica cada 60s utilizando uno de los contadores del ESP32. Después, en la rutina de tratamiento de la interrupción se ejecuta la parte de comunicación con el servidor.

El problema de este planteamiento es que crea un comportamiento inestable en el microcontrolador debido a que el Wifi ocupa gran parte de los recursos del dispositivo de manera continua y el sistema de almacenamiento SPIFFS es incompatible con las interrupciones, ya que si se da una durante un acceso a memoria existe gran probabilidad de que produzca un error en el núcleo del procesador.

<sup>23</sup> Inter-Processor Call, Comunicación entre procesos

- Código continuo con consulta periódica

Se crea un único código en ejecución, y cada 60 segundos se realiza una consulta al servidor. Para crear una espera de 60 segundos, no se puede utilizar la función *delay()* ya que esta detiene por completo la ejecución del código. En su lugar se utiliza *millis()* que devuelve los microsegundos desde el momento en que se encendió el dispositivo. De esta forma, se almacena el momento de la última consulta y cuando exista 60 segundos de diferencia con el tiempo actual se vuelve a consultar y se actualiza el tiempo de la última consulta. El resto del tiempo se trabaja únicamente con la pantalla.

Esta es la solución más eficiente y más controlable por parte del programador, ya que no requiere de programas externos de gran complejidad.

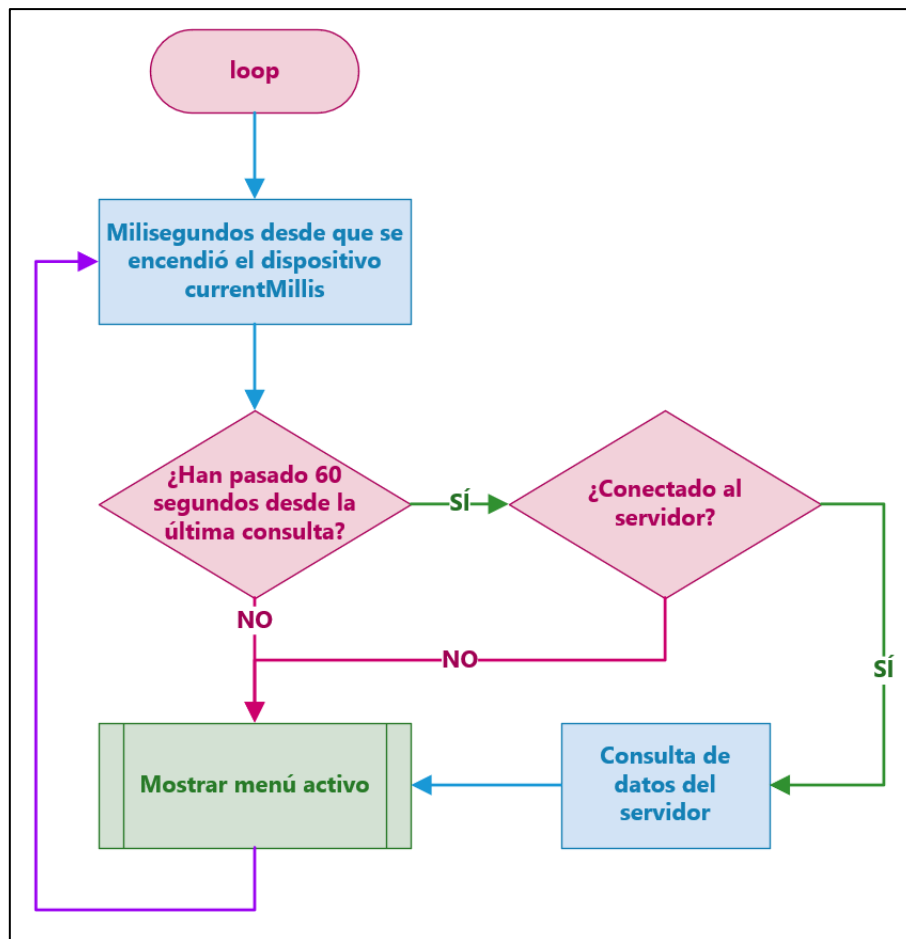


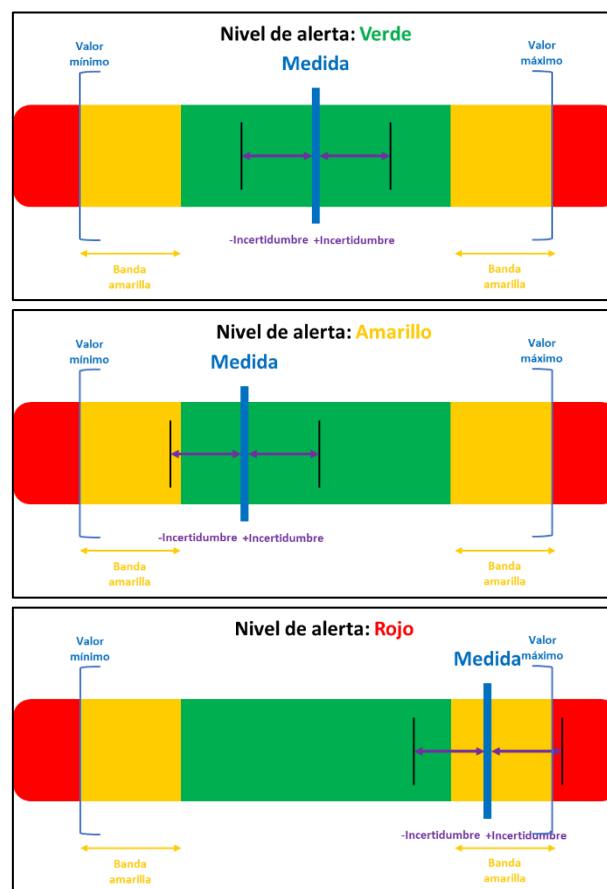
Diagrama 8: diagrama del código principal del visualizador

Fuente: Elaboración propia



Para establecer los niveles de alerta (rojo, amarillo o verde), el usuario establece los valores máximos y mínimos a partir de los cuales el valor está fuera de rango. Después se introduce el ancho de la zona amarilla. Por último, como las sondas que toman las medidas están calibradas, se conoce la incertidumbre de la medida que proporcionan, de manera que no se obtiene un valor exacto, si no un rango en el que se encuentra, por ejemplo, si la medida es de 23,0°C y la incertidumbre de 0,4°C, el valor real de temperatura estará entre 22,6°C y 23,4°C.

En el momento en el que uno de los límites del rango de la medida entra en una zona, se establece el nivel de alerta de mayor riesgo.



**Figura 84:** Niveles de alerta del visualizador

Fuente: Elaboración propia

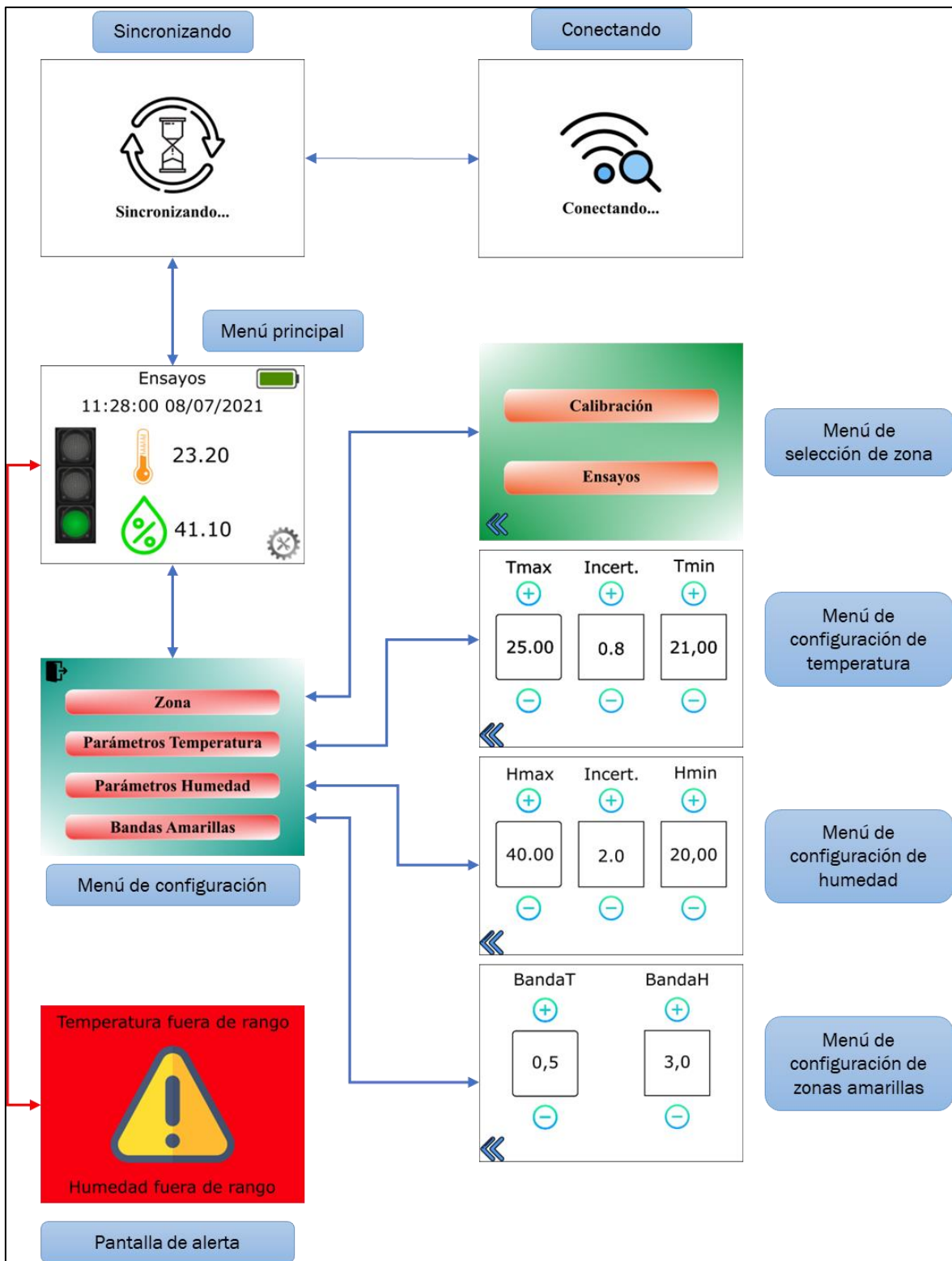


Diagrama 9: Estructura e interfaces de los menús del visualizador



## Capítulo 6: Envolvertes

Para las envolvertes existen dos posibles soluciones, utilizar una caja comercial y adaptar el diseño de la PCB para que se adapte a la forma de esta o diseñar desde cero una envolverte para cada prototipo.

Utilizar una caja comercial implica que habrá que modificarla para crear acceso a los conectores o dar salida a la pantalla, lo cual empeoraría el acabado final. A modo de ejemplo en la **Captura 49** se muestra una posible envolverte comercial para el prototipo del visualizador y en la **Captura 50** una para el servidor.



**Captura 49:** Caja RS PRO de ABS Gris

Fuente: (RS Components, 2021)

Dimensiones: 100 x 150 x 75mm Código RS: 192-0700

Precio unidad: 13,14€



**Captura 50:** Caja Hammond de ABS piro retardante Gris

Fuente: (RS Components, 2021)

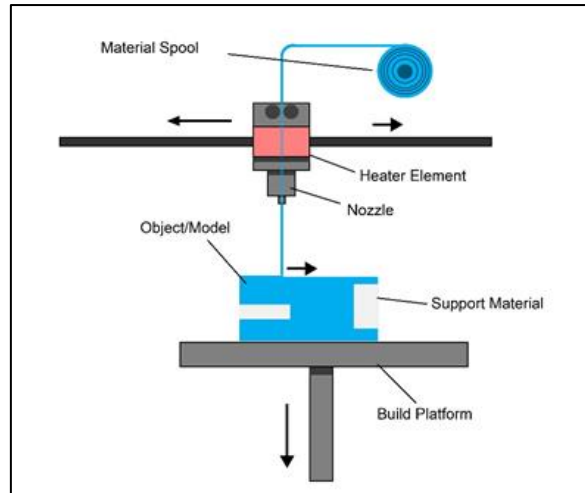
Dimensiones: 106.5 x 66 x 45.4mm Código RS: 528-6984

Precio unidad: 10,54€





La segunda opción consiste en diseñar en 3D las envolventes utilizando Autodesk Inventor Professional, para después imprimirlas en 3D mediante el método MDF<sup>24</sup> en el que se deposita de manera selectiva polímeros termoplásticos fundidos en un camino predeterminado capa por capa.



**Figura 85:** Método MDF de impresión 3D

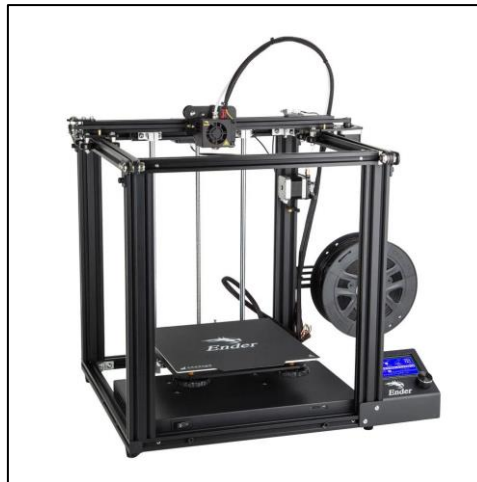
Fuente: (Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech, 2021)

La opción utilizada para el desarrollo de las carcasas es la impresión 3D por razones de mejor acabado aprovechando que se dispone de impresora y manejo de programas de diseño 3D. Además, al tratarse únicamente de un par de prototipos el coste de la impresión es bajo.

Tras diseñar las piezas en Inventor, se exportan a *.stl*, ya que no se necesita conservar texturas o colores del modelo diseñado, y es suficiente con un modelo de malla triangular. Para exportarlo en Inventor hay que ir a Archivo > Guardar copia como.

Una vez se tiene el modelo de malla se tiene que generar el código G adaptado al software de la impresora. En el caso de la impresora Ender 5 Pro del fabricante Creality (ver **Figura 86**), el firmware es *Marlin*. Este proceso se conoce como laminación o segmentación, para ello se existen diversos programas de laminación o *Slicers*. Se va a utilizar *PrusaSlicer*, el cual originalmente estaba orientado únicamente a las impresoras de la empresa Prusa, pero con unas pequeñas modificaciones de los parámetros (velocidades, dimensiones de la máquina, etc.) se pueden añadir impresoras de otras marcas.

<sup>24</sup> Modelado por Deposición Fundida



**Figura 86:** Impresora 3d Ender 5 Pro

Fuente: (Crealty 3D, 2021)

El Slicer convierte el modelo de malla en capas de una altura determinada por el usuario (0.2mm habitualmente) en función del acabado final deseado, cuanto más alto es el valor más tosco es el acabado, pero menor es el tiempo de impresión. A continuación, cada capa se divide en líneas de un ancho igual al de la boquilla del extrusor o nozzle (0.4mm habitualmente).

Dependiendo de las características mecánicas requeridas por la pieza se configuran el número de líneas de perímetro y el relleno. Un relleno muy denso y con patrones específicos crea una pieza resistente pero muy pesada. En el caso de los perímetros, varias líneas refuerzan el exterior de la pieza permitiendo reducir el relleno, aunque suponen un mayor gasto de filamento.

También el material plástico empleado otorga diferentes características a la pieza, los más utilizados son el PLA<sup>25</sup>, ABS<sup>26</sup> y el PETG<sup>27</sup>. El ABS, tiene una gran resistencia mecánica y a las vibraciones, además si la pieza se somete a un posprocesamiento en el que se introduce en un baño de vapor de acetona durante unos minutos, se obtiene una unión perfecta entre capas y un acabado superficial liso y brillante (ver **Captura 51**). Los inconvenientes de este material es que resulta complicado de imprimir, ya que necesita de altas temperaturas (>220°C) y una impresora cubierta para que no le afecten las corrientes de aire. Además, al ser derivado del petróleo desprende gases tóxicos al fundirse y no es biodegradable. Es el material más utilizado a nivel industrial.

---

<sup>25</sup> Poliácido Láctico

<sup>26</sup> Acrylonitrile Butadiene Styrene, Acrilonitrilo Butadieno Estireno

<sup>27</sup> Polyethylene Terephthalate, Polietileno Tereftalato

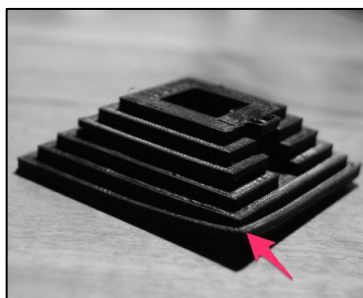


**Captura 51:** Posprocesado del ABS

Fuente: (Doutel, 2021)

El PLA, tiene menor adherencia entre capas y por tanto peor resistencia mecánica. Se imprime a temperaturas bajas ( $>190^{\circ}\text{C}$ ), existen mayor variedad de colores y acabados (fluorescente, metalizado, efecto seda, etc.). Al obtenerse a partir de la fécula de la patata o el maíz, es biodegradable y no emite vapores perjudiciales para la salud. Por ello, es el material más habitual usado a nivel doméstico. Su posprocesamiento es complicado al necesitarse de mucho tiempo de lijado y masillas plásticas para tapar pequeños huecos antes del pintado. Por ello se habitual utilizar filamentos con texturas que supongan el acabado final de la pieza.

El PETG se encuentra entre el PLA y el ABS en cuanto a resistencia mecánica y temperatura de impresión. Es reciclable y no emite vapores tóxicos, pero si algo de olor. Su principal inconveniente es el warping y el cracking, en el primero debido a la diferencia de temperatura entre la pieza y el exterior, el material se contrae doblando la pieza de la base hacia arriba. En el cracking, esta curva llega al punto de romper la unión entre las capas causando la fractura de la pieza dejándola inservible.



**Captura 52:** Efecto warping

Fuente: (Createc3D, 2021)



**Captura 53:** Efecto cracking

Fuente: (Createc3D, 2021)

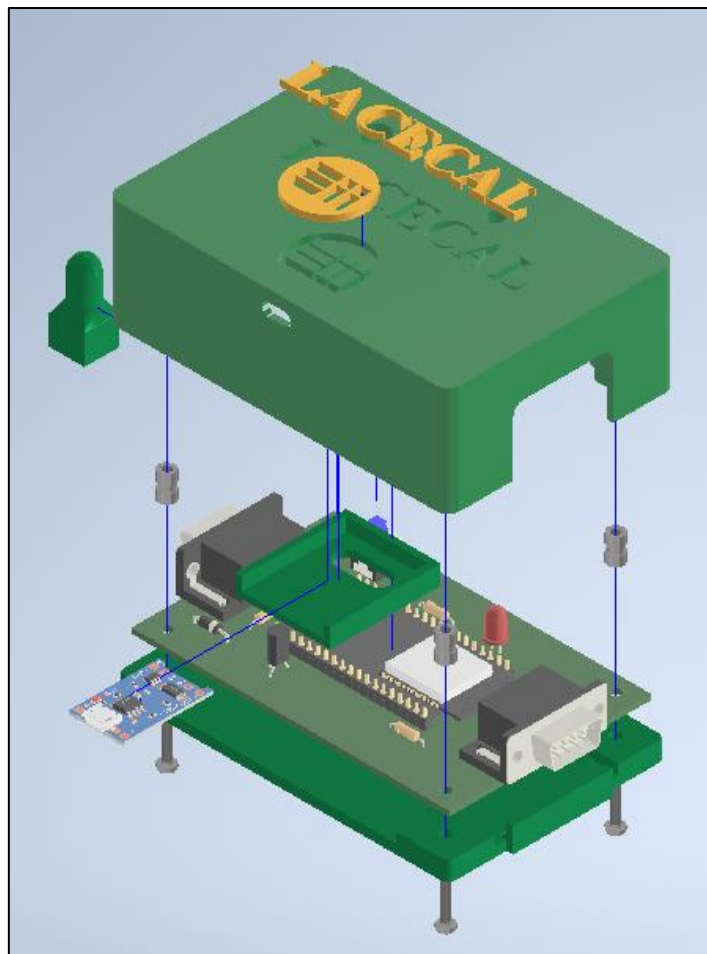
## 6.1 Servidor

La envolvente del servidor tiene forma rectangular de ancho 71mm, alto 33.60mm y largo 106mm. En la cara superior tiene un orificio para el botón de encendido y otro para el led indicador de encendido. También incluye el logo de la escuela y la palabra LACECAL insertadas en relieve. En los laterales cortos tiene ranuras para los conectores DB9, y una ranura en la parte delantera para el conector de alimentación.

En el interior posee un espacio para el módulo de carga 03962A, que se sujeta mediante una tapa pegada con una rendija para pasar los cables y conectarlos a la placa del circuito.

La carcasa frontal posee cuatro orificios ciegos en el interior coincidentes con los taladros de sujeción de la PCB. En estos orificios se coloca una tuerca de inserción de M3x8x5mm utilizando el calor del soldador.

Por último, una tapa cubre la parte inferior y mediante 4 tornillos de M3 y 15mm de largo se sujeta todo entre sí.



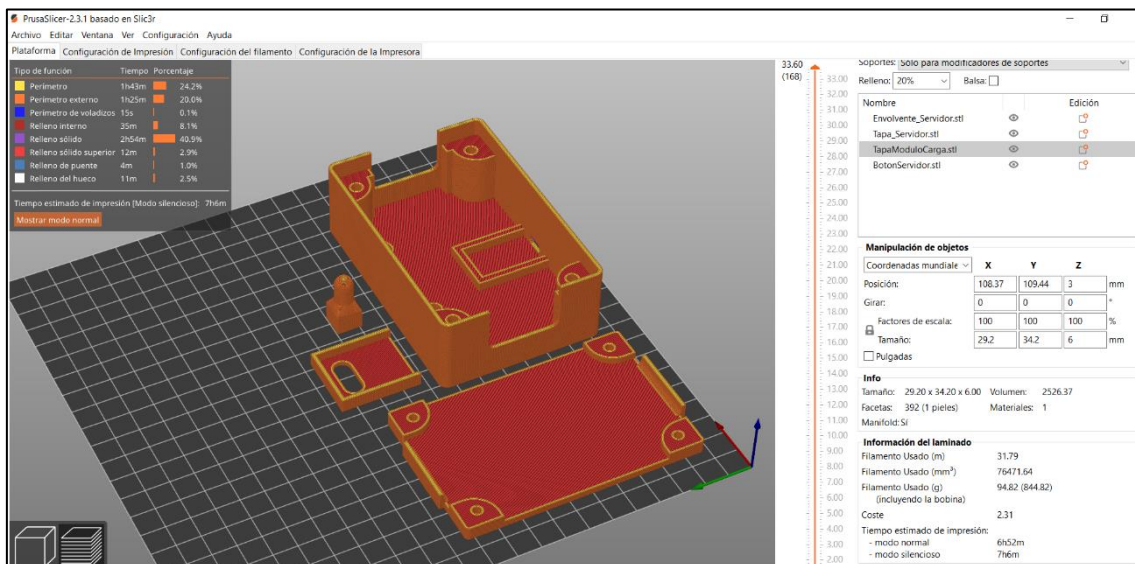
*Captura 54: Vista explosionada del servidor*

*Fuente: Elaboración propia*



El color de las envoltentes se ha elegido en base a informes (Kutchma, 2021) que establecen que el color de las habitaciones y de los objetos en ellas pueden influir en el estado anímico de las personas que se encuentran en ellas. Por ejemplo, pequeños elementos rojos provocan un carácter más optimista y sociable. Pero debido a su intensidad si se utiliza en grandes cantidades aumenta los niveles de estrés. El verde y el azul transmiten calma y ayudan a la concentración, por ello son adecuados para zonas de trabajo o de estudio. Por esta razón las envoltentes se hacen de PLA Glitter Verde. Además, el efecto Glitter o de purpurina evita un efecto monótono en las carcasas haciendo que resulte más agradable visualmente. También se utiliza PLA Silk Gold para añadir pequeños elementos dorados en relieve en las letras y el logo de la escuela.

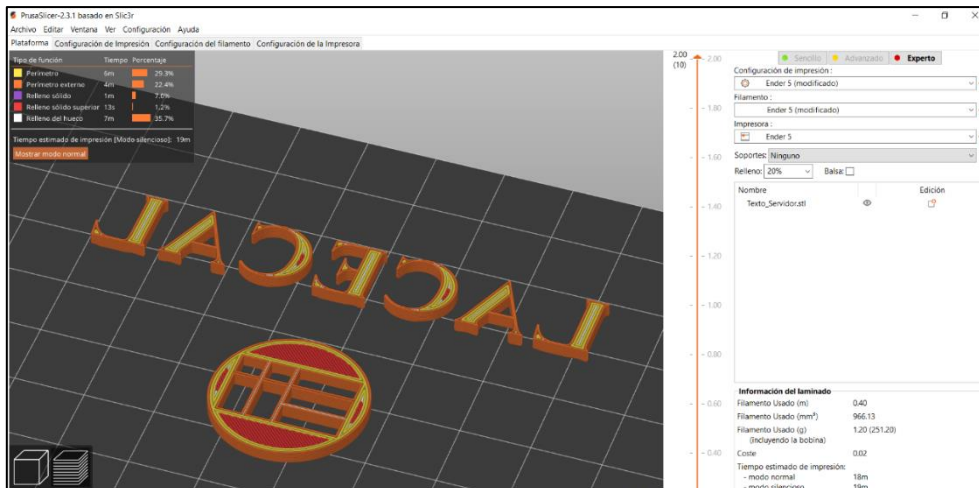
El coste de la bobina de PLA Glitter de 750g es de 18,25€ y el de la bobina PLA Silk Gold de 250g es de 5,06€. En función de la cantidad de plástico utilizado en cada envoltente se puede calcular el coste que supone.



**Captura 55:** Segmentación servidor (PLA Glitter Verde)

Fuente: Elaboración propia

**Tiempo de impresión: 7h 6 minutos**  
**Filamento usado: 31,79m, Coste: 2,31€**



**Captura 56:** Segmentación servidor (PLA Silk Gold)

Fuente: Elaboración propia

**Tiempo de impresión:** 19 minutos  
**Filamento usado:** 0,40m, **Coste:** 0,02€



**Captura 57:** Vista superior de la envolvente del servidor

Fuente: Elaboración propia



**Captura 58:** Vista inferior de la envolvente del servidor

Fuente: Elaboración propia





## 6.2 Visualizador

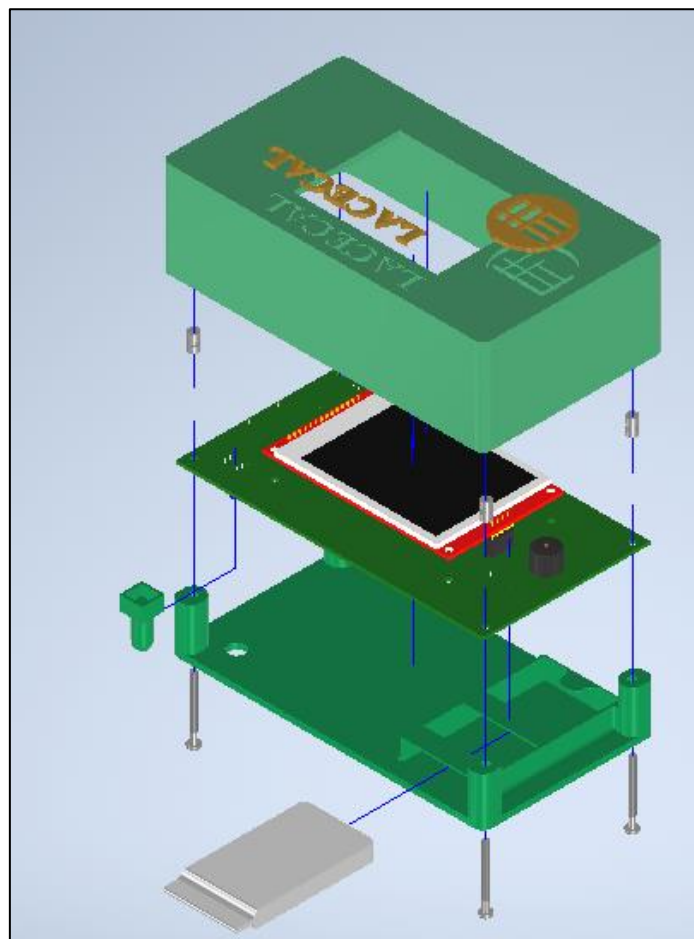
La envolvente del visualizador tiene forma rectangular de 154mm de largo, 87mm de alto y 46mm de profundidad. La cara frontal cuenta con un recorte para mostrar la pantalla y el logo de la escuela y la palabra LACECAL insertada en relieve.

La parte trasera se cierra con una tapa mediante 4 tornillos de M3 y 34mm de largo que se sujetan en 4 tuercas de inserción de M3x8x5mm. También existe un orificio que da acceso al botón de encendido y apagado.

En el lateral derecho hay una ranura coincidiendo con la entrada micro USB-b para la alimentación del circuito.

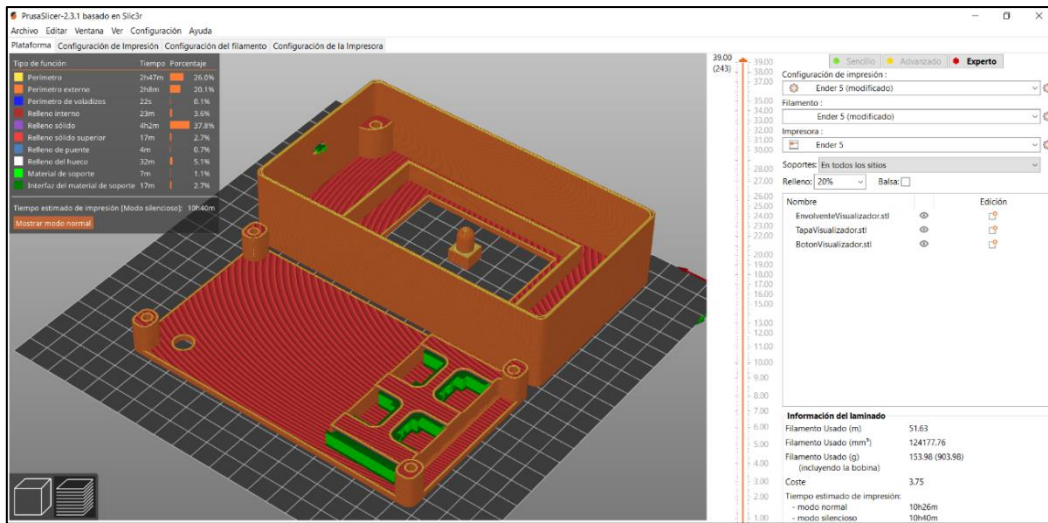
La tapa trasera cuenta con una zona donde se encaja la batería para alimentar el dispositivo.

Los colores son los mismos utilizados en la envolvente del servidor.



**Captura 59:** Vista explosionada del visualizador

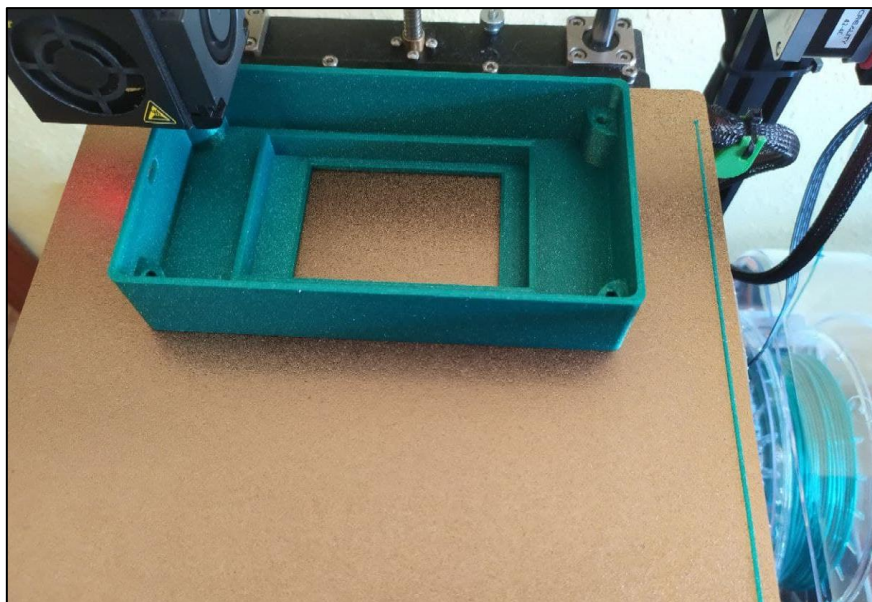
Fuente: Elaboración propia



Captura 60: Segmentación visualizador (PLA Glitter Verde)

Fuente: Elaboración propia

Tiempo de impresión: 10h 26 minutos  
Filamento usado: 51,63m, Coste: 3,75€



Captura 61: Impresión de la envoltente del visualizador

Fuente: Elaboración propia



*Captura 62: Vista superior de la envoltente del visualizador*

*Fuente: Elaboración propia*



*Captura 63: Vista inferior de la envoltente del visualizador*

*Fuente: Elaboración propia*





## Capítulo 7: Estudio económico

### 7.1 Introducción

En el presente capítulo se realizará un estudio del coste económico que supone la realización del proyecto desarrollado.

Hasta este momento se ha estudiado la viabilidad de este proyecto desde un punto de vista técnico, es decir, si cumple o no el objetivo marcado desde el comienzo. Habiendo concluido este punto, queda pendiente comprobar la viabilidad económica del mismo.

En los siguientes apartados se estudiarán por separado costes directos e indirectos y finalmente se mostrarán los costes totales del proyecto.

### 7.2 Recursos empleados

- Software

Como sistema operativo del ordenador se ha utilizado una licencia de Windows 10. También se ha necesitado una licencia del paquete de Microsoft Office. Para el desarrollo de las envolventes y de los planos de estas, se ha utilizado el paquete de Autodesk con licencia de estudiante. El resto de software empleado es de licencia gratuita por ello no se tiene en cuenta en el presente estudio.

- Equipamiento

En primer lugar, se ha utilizado un ordenador portátil MSI GL63 8RC para el desarrollo del informe, circuitos electrónicos, envolventes, programación, etc. Para la fabricación de las placas de circuito impreso se ha utilizado la fresadora CNC Bungar CCD, una insoladora de rayos UV AZ210 y un estañador de 220 V y 60 W, un multímetro digital avanzado 400BMM-MY64 de KPS y una multiherramienta de precisión de 135W a 230V- 50Hz. Para la fabricación de las envolventes se ha utilizado la impresora Ender 5 Pro de Creality.

- Consumibles

Para el desarrollo de los circuitos se han utilizado componentes electrónicos como los ESP32-Wroom, resistencias fijas de orificio pasante, diodos y diodos LED, conectores DB9 y baterías, entre otros. Se detalla en profundidad en el apartado . Para la fabricación de las envolventes se ha utilizado una bobina de PLA Glitter Verde de 1.75mm y para algunas partes una bobina de PLA Silk Gold de 1.75mm. Además, se ha necesitado de tornillería, pegamento termofusible y aleación de estaño-plomo para la soldadura de los componentes.

## 7.3 Costes directos

### 7.3.1 Coste del personal

Este proyecto se ha llevado a cabo por un ingeniero técnico con especialidad en Electrónica Industrial y Automática encargado del desarrollo de este desde su planteamiento y cálculos, hasta el diseño y la fabricación del prototipo final.

Se ha calculado el coste anual del ingeniero y a continuación se ha adaptado al número de horas trabajadas por él. Este coste incluye tanto el sueldo bruto anual con posibles incentivos, así como la cotización a la Seguridad Social, que supone un 35% del sueldo bruto, ver **Tabla 12**.

Coste anual	
Sueldo bruto más incentivos	30.000,00€
Seguridad Social (35% sueldo bruto)	10.500,00
<b>Coste total</b>	<b>40.500,00</b>

**Tabla 12:** Coste anual

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se calcula una estimación de los días efectivos trabajados al año, ver **Tabla 13**.

Días efectivos por año	
Año medio	365,25
Sábados y Domingos	-104,36
Días de vacaciones efectivos	-20,00
Días festivos reconocidos	-15,00
Días perdidos estimados	-4,00
<b>Total de días estimados</b>	<b>223,89</b>

**Tabla 13:** Días efectivos por año

Fuente: Elaboración propia

A partir del número total de días efectivos trabajados, y con una jornada laboral de 8h/día, se calcula el número total de horas efectivas de trabajo utilizando la ecuación [ 10].

$$\text{horas efectivas trabajadas} = 223,89 \frac{\text{días}}{\text{año}} \cdot \frac{8\text{h}}{\text{día}} = 1791,12 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \quad [ 10]$$

Para calcular el coste por hora de un ingeniero, se divide el sueldo anual entre el número de horas efectivas trabajadas por año, ver ecuación [ 11]. .

$$\text{Coste hora ingeniero} = \frac{40.500,00 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1791,12 \frac{\text{horas}}{\text{año}}} = 22,61 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \quad [ 11]$$



En la **Tabla 14** se muestra una distribución en el tiempo aproximada del trabajo realizado por el ingeniero durante el desarrollo del proyecto.

Distribución temporal de trabajo	
Formación y documentación	100 horas
Estudio del problema	100 horas
Desarrollo de prototipos	200 horas
Desarrollo y puesta a punto del producto final	50 horas
Elaboración de la documentación	200 horas
<b>Total de horas empleadas</b>	<b>650 horas</b>

*Tabla 14: Distribución temporal de trabajo*

*Fuente: Elaboración propia*

Por último, para calcular el coste personal directo, se multiplica el número total de horas empleadas por el coste de una hora, ver ecuación [ 12] .

$$\text{Coste personal directo} = 650 \text{ horas} \cdot 22,61 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = \mathbf{14.696,50\text{€}} \quad [ 12]$$

<b>Coste personal directo</b>	<b>14.696,50 €</b>
-------------------------------	--------------------

### 7.3.2 Coste de amortización de material (equipos y software)

Para el cálculo del coste de amortización del material, se debe realizar previamente la inversión total y calcular la amortización lineal correspondiente según los criterios aconsejados por la ley. En este apartado se estudiará tanto los costes de la amortización software, como los costes de amortización de los equipos empleados en el desarrollo de los prototipos citados en el apartado **7.2 Recursos empleados**.

En cuanto al software, se estima su tiempo de amortización en función de la duración de la licencia, de manera que, si por ejemplo una licencia dura dos años, durante el transcurso de un año se habrá amortizado la mitad y su factor de amortización será 0,5. Para los equipos usados, su vida útil se estima en 4 años, y su factor de amortización será de 0,25.

Licencia de software	Importe (€/año)	Amortización (€)
Sistema operativo Windows 10	259,00	259,00
Paquete de Microsoft Office 2020	69,00	69,00
Autodesk Inventor	7.793,00 (3años) = 2597,70	2.597,70
<b>Total Software</b>	<b>8.121,00</b>	<b>2.925,70</b>

Tabla 15: Amortización del software

Fuente: Elaboración propia

Equipo	Importe (€)	Amortización (€)
MSI GL63 8RC	900,00	225
Creality Ender 5 Pro	260,00	65
Bungar CCD	5.044,00	1.261,00
UV AZ210	1.521,50	380,38
Estañador 60W	16,90	4,23
Multímetro digital	35,00	8,75
<b>Total equipo</b>	<b>7.777,4</b>	<b>1.944,36</b>

Tabla 16: Amortización del equipo

Fuente: Elaboración propia

<b>Coste final software y equipo</b>	<b>4.870,06 €</b>
--------------------------------------	-------------------

Para calcular el coste final por hora de utilización, se divide la amortización anual entre el número de horas de uso, ver ecuación [ 13].

$$\frac{\text{Coste final software y equipo}}{\text{hora}} = \frac{4870,06 \frac{\text{€}}{\text{año}}}{1783,12 \frac{\text{horas}}{\text{año}}} \cong 2,73 \frac{\text{€}}{\text{hora}} \quad [ 13]$$

El coste de amortización del material (equipo y software) depende del tiempo total necesario para la realización del proyecto, ver ecuación [ 14].

$$\text{Coste de amortización de material} = 650 \text{ h} \cdot 2,73 \frac{\text{€}}{\text{h}} \cong 1774,50 \text{ €} \quad [ 14]$$

<b>Coste de amortización de material</b>	<b>1.774,50 €</b>
--	-------------------





### 7.3.3 Costes derivados de consumibles

Para el cálculo de los costes de producir los dispositivos, se ha tenido en cuenta tanto el coste de componentes, el coste de las envolventes (ver **Capítulo 6: Envolventes**) y el coste de fabricación de las PCB a través de la empresa PCBWay (PCBWay, 2021) tanto para la fabricación de prototipos (pedido pequeño de componentes y placas) o para una supuesta producción en masa para sacar el producto al mercado.

El coste de fabricación de las placas a nivel de prototipo y a gran escala se refleja en la **Tabla 17**.

PCBWay		Unidades	Precio Fabricación (€)	Gastos Envío (€)	Total (€)	Precio/Unidad (€)
Fabricación	PCB Visualizador 150x180mm	5	41,18	26,06	67,24	13,448
		500	41,18	338,72	379,9	0,7598
	PCB Servidor 62x98mm	5	4,2	20,17	24,37	4,874
		500	202,56	147,09	349,65	0,6993

**Tabla 17:** Coste de fabricación con PCBWay

Fuente: Elaboración propia

El coste de prototipado de un visualizador y de un servidor es de 56,54 € (ver **Tabla 18**) y es el que se tiene en cuenta en este apartado.

	Componente	Descripción	Cantidad	Precio unidad (€) Prototipo	Precio (€) Prototipo	Código RS	Fabricante
Electrónica	Buzzer	Pasivo	1	0,761	0,761	171-0898	RS-PRO
	Condensador de tántalo	100nF	1	0,294	0,294	181-4752	RS-PRO
	Condensador electrolítico	100uF	1	1,475	1,475	711-2002	RS-PRO
	Conector DB9 Hembra	x	1	3,09	3,09	544-3957	RS-PRO
	Conector DB9 Macho	x	1	2,64	2,64	811-7115	RS-PRO
	Diodo	1N4001	1	0,166	0,166	628-8931	Vishay
	Diodo LED	Rojo	1	0,32	0,32	228-5988	Kingbright
	ESP32-DEVKITC-32D	x	2	3,3	6,6	x	Feyang
	Interruptor	TL2285EE	2	0,8	1,6	x	E-Switch
	Módulo de carga	03962A	2	0,21	0,42	x	Aitewin robot
	Pantalla TFT táctil SPI		1	13,31	13,31	x	Oumefar
	Regulador de tensión	MCP1825S	1	0,482	0,482	669-5092	Microchip
	Resistencia	100	2	0,142	0,284	125-1155	TE Connectivity
	Resistencia	4700	1	0,044	0,044	125-1136	TE Connectivity
	Resistencia	10000	1	0,09	0,09	125-1148	TE Connectivity
	Resistencia	47000	2	0,097	0,194	148-893	TE Connectivity
Transistor NPN	2N3904	1	0,128	0,128	843-1575	ON Semiconductor	
Consumibles	PLA Glitter Verde	750g	1	6,06	6,06	x	Smartfil
	PLA Silk Gold	250g	1	0,05	0,05	x	eono
	Tuercas de inserción	M3 8x5mm	8	0,0263	0,2104	x	Tadpolez
Fabricación	PCB Visualizador		1	13,448	13,448	x	PCBWay
	PCB Servidor		1	4,874	4,874	x	PCBWay
<b>Coste total</b>				<b>56,54</b>	<b>€</b>		

**Tabla 18:** Coste de prototipado

Fuente: Elaboración propia

Si se quisiera realizar una producción a gran escala, los costes de fabricación se reducirían al realizar pedidos más grandes, ver **Tabla 19**.

	Componente	Descripción	Cantidad	Precio unidad (€)	Precio (€)	Código RS	Fabricante
				Produccion	producción		
Electrónica	Buzzer	Pasivo	1	0,761	0,761	171-0898	RS-PRO
	Condensador de tántalo	100nF	1	0,206	0,206	181-4752	RS-PRO
	Condensador electrolítico	100uF	1	0,81	0,81	711-2002	RS-PRO
	Conector DB9 Hembra	x	1	2,02	2,02	544-3957	RS-PRO
	Conector DB9 Macho	x	1	1,4	1,4	811-7115	RS-PRO
	Diodo	1N4001	1	0,132	0,132	628-8931	Vishay
	Diodo LED	Rojo	1	0,236	0,236	228-5988	Kingbright
	ESP32-DEVKITC-32D	x	2	3,3	6,6	x	Feiyang
	Interruptor	TL2285EE	2	0,49	0,98	x	E-Switch
	Módulo de carga	03962A	2	0,21	0,42	x	Aitewin robot
	Pantalla TFT táctil SPI		1	13,31	13,31	x	Oumefar
	Regulador de tensión	MCP1825S	1	0,45	0,45	669-5092	Microchip
	Resistencia	100	2	0,022	0,044	125-1155	TE Connectivity
	Resistencia	4700	1	0,013	0,013	125-1136	TE Connectivity
	Resistencia	10000	1	0,016	0,016	125-1148	TE Connectivity
	Resistencia	47000	2	0,059	0,118	148-893	TE Connectivity
Transistor NPN	2N3904	1	0,093	0,093	843-1575	ON Semiconductor	
Consumibles	PLA Glitter Verde	750g	1	6,06	6,06	x	Smartfil
	PLA Silk Gold	250g	1	0,05	0,05	x	eono
	Tuercas de inserción	M3 8x5mm	8	0,0263	0,2104	x	Tadpolez
Fabricación	PCB Visualizador		1	0,7598	0,7598	x	PCBWay
	PCB Servidor		1	0,6993	0,6993	x	PCBWay
<b>Coste total</b>				<b>35,3885</b>		<b>€</b>	

**Tabla 19:** Coste de producción en masa

Fuente: Elaboración propia

**Coste de consumibles 56,54 €**



### 7.3.4 Costes directos totales

A partir de todos los costes directos obtenidos en los apartados anteriores, se puede calcular los costes directos total a partir de la suma de los costes de personal, costes de amortización de material y costes derivados de consumibles.

<b>Costes directos</b>	<b>16.527,54€</b>
------------------------	-------------------

### 7.4 Costes indirectos

Los costes indirectos son aquellos requeridos en el desarrollo del proyecto, pero no se pueden atribuir a ninguno de los gastos directos citados.

Costes indirectos parciales	
Consumo de electricidad	230,00 €
Consumo de desplazamiento	50 €
<b>Total de gastos indirectos</b>	<b>280 €</b>

Tabla 20: Costes indirectos parciales

Fuente: Elaboración propia

<b>Costes indirectos</b>	<b>280 €</b>
--------------------------	--------------

### 7.5 Costes totales

Costes totales	
Costes directos	16.527,54€
Costes indirectos	280 €
<b>Coste total del proyecto</b>	<b>16.807,54</b>

Tabla 21: Costes totales

Fuente: Elaboración propia

<b>Coste final del proyecto</b>	<b>16.807,54€</b>
---------------------------------	-------------------





## Capítulo 8: Repercusiones sociales, económicas y ambientales

### 8.1 Repercusiones sociales

A nivel inmediato este proyecto repercute de manera positiva sobre las personas que trabajan en el laboratorio del LACECAL, al disponer de una manera más sencilla y agradable de conocer las condiciones ambientales en las que se encuentran. Esto mejora su ambiente y condiciones de trabajo, incrementando su bienestar y productividad.

Conocer las condiciones de la sala en todo momento dará lugar a que las medidas de los instrumentos que están siendo tratados en el laboratorio sean mejores. Si este factor se tiene en cuenta en la cadena de comparación (ver **Introducción y objetivos** y **Figura 2**), del laboratorio LACECAL dependen los instrumentos de las industrias, mercados, centros de i+d y laboratorios de metrología, entre otros. De manera que parte de los bienes o servicios que consume la sociedad, especialmente dentro del territorio de la comunidad, pasarán por un instrumento que haya sido calibrado directa o indirectamente en el laboratorio.

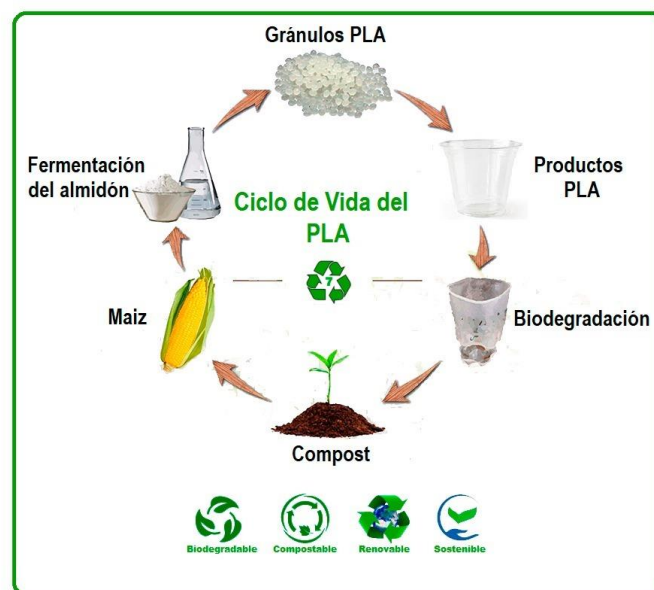
### 8.2 Repercusiones económicas

De acuerdo con el apartado anterior, parte de los instrumentos que pasan por el laboratorio se utilizan en fábricas, mercados o centros de i+d. De manera que si un aparato recibiera una mala calibración debido a las condiciones ambientales, todos los productos que pasen por él no cumplirían con los requisitos de la empresa y supondrían una gran pérdida económica. Por este motivo es de gran importancia que en todo momento los técnicos de laboratorio puedan conocer las condiciones de la sala de trabajo.

## 8.2 Repercusiones ambientales

Para la elaboración del proyecto se ha considerado en todo momento como cada paso dado pudiera afectar al medio ambiente. Todos los residuos que se han producido durante el proceso de fabricación han sido correctamente eliminados, ya sean los químicos utilizados en el proceso de fabricación de las placas o los restos de plástico sobrante del tras la impresión.

Las envolventes se han fabricado con PLA que se obtiene de recursos vegetales renovables al 100% y es reciclable y biodegradable. Por tanto, la fabricación de las envolventes no tiene un resultado negativo sobre la naturaleza o la salud de las personas.



**Figura 87:** Ciclo del PLA

Fuente: (Multitask Technology, 2021)

En el caso de las placas de circuito impreso, todos los componentes utilizados siguen la normativa RoHS<sup>28</sup>. Esto implica que en su fabricación no se han utilizado ciertas sustancias peligrosas como el Plomo, Cadmio o Mercurio. Aunque en la soldadura de los prototipos se ha utilizado aleación de estaño-plomo para la unión mecánica y eléctrica de los componentes de la placa. Si el producto se fuera a comercializar las soldaduras se realizarían sin plomo, de esta forma el producto final respetaría las normativas.

<sup>28</sup> Restriction of Hazardous Substances



## Capítulo 9: Puesta en marcha del prototipo en el laboratorio

Todo el desarrollo del trabajo se ha realizado a partir de unas pautas dadas fuera del laboratorio. Una vez completado el prototipo se procede a su prueba en el lugar de trabajo para realizar su puesta a punto, lo cual implica pequeñas modificaciones para lograr su correcto funcionamiento.

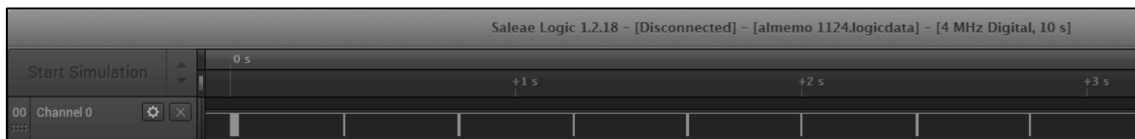
### 9.1 Modificación del código del servidor

Inicialmente se planteó que el formato del mensaje transmitido por el datalogger era el que se mostraba en el fichero *ahora.txt* de la forma:

```
02/02/2021<HT>10:09:18<HT>24,02<HT>39,0<HT>25,51<HT>34,8<HT><LF>
```

Estando los campos separados por tabuladores y finalizando el mensaje con salto de línea. Además, todo se envía en un único mensaje, una sola trama de datos, ver **Captura 6**.

Sin embargo, al realizar la prueba conectando el servidor al datalogger, se observa que el código no separa los campos como se esperaba. Por ello, se utiliza un analizador lógico directamente en el cable para observar el formato del mensaje que se transmite, ver **Captura 64**.

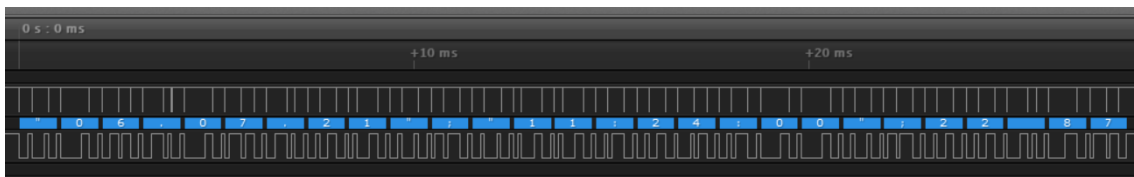


**Captura 64:** Captura del analizador lógico sobre el datalogger

*Fuente: Elaboración propia*

Aquí se observa que no se envía un único mensaje, sino 8 mensajes repartidos en un intervalo de 3 segundos. Esto se debe a que durante el proceso de transmisión el datalogger hace un barrido de sus canales de entrada y va transmitiendo la información que obtiene de ellos. Después, un programa en ejecución en el ordenador recibe estas tramas, separa sus campos y los formatea para finalmente crear el fichero *ahora.txt*.

Si se analiza la primera trama, mediante su representación ASCII, se observa que ese mensaje porta la fecha entre comillas y separada por puntos simples, la hora entre comillas separada por dos puntos y separada de la fecha por punto y coma y temperatura de la zona de calibración, separada de lo anterior por punto y coma. Ver **Captura 65**.



**Captura 65:** Captura del analizador lógico, primera trama

Fuente: Elaboración propia

El análisis completo de los campos de todos los mensajes se muestra en la

**Tabla 22.**

“Fecha”;”Hora”;TCalibración	"06.07.21";"11:24:00";22,87
;TEnsayos	;22,79
;;;HCalibración	;;;43,1
;HEnsayos	;42,4
;;;Valor1	;;;9,7
;Valor2	;9,4
;;;Valor3	;;;7,4
;Valor4/Retorno/SaltoDeLínea	;7,2/r/n

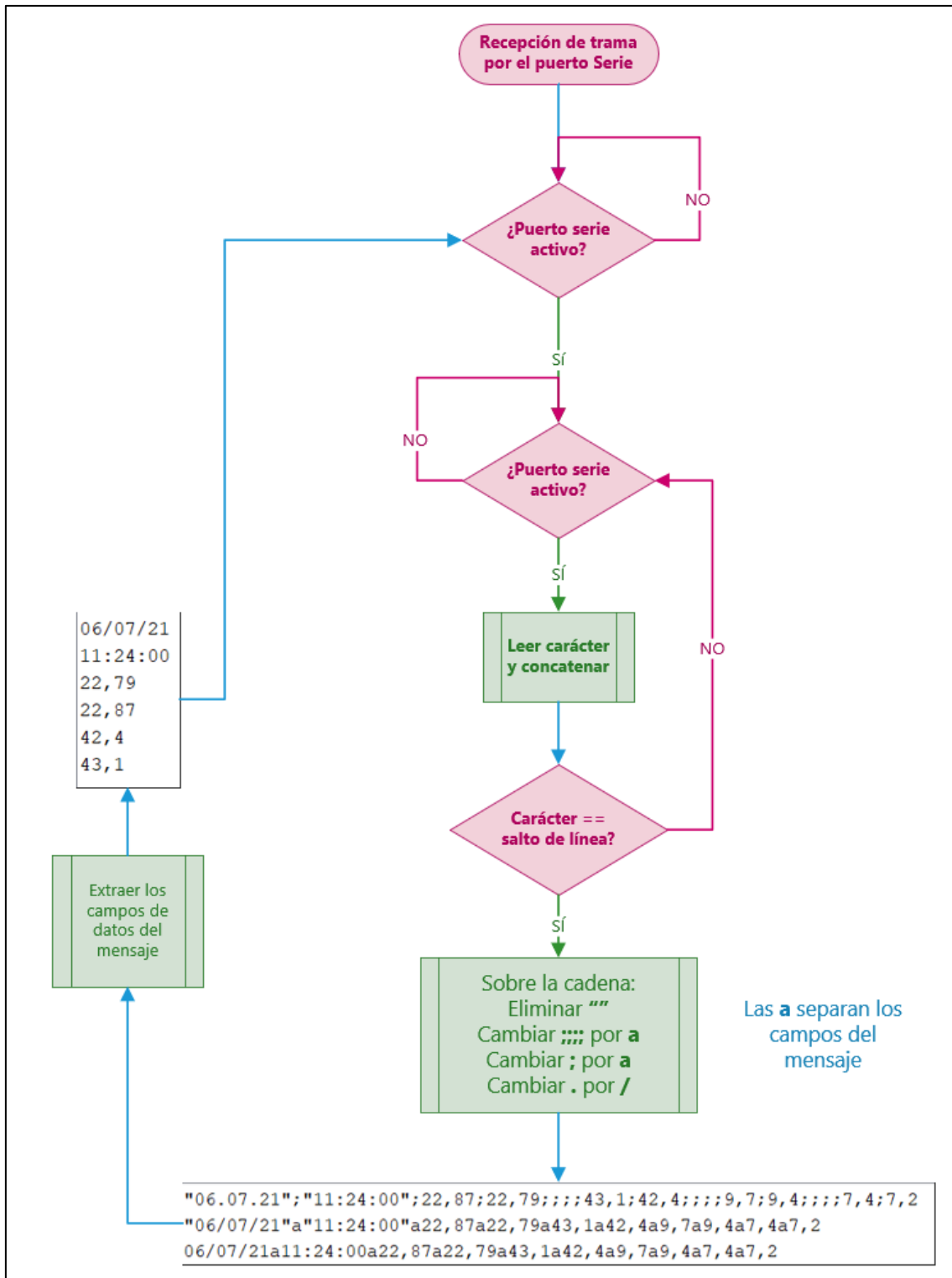
**Tabla 22:** Análisis de la transmisión del datalogger

Fuente: Elaboración propia





Esta forma de transmitir los datos lleva a modificar el código del servidor, como se muestra en el **Diagrama 10**.



**Diagrama 10:** Recepción de mensaje por el puerto serie y separación de campos modificación

Fuente: Elaboración propia

Tras realizar esta modificación en el código del servidor, se instala en el laboratorio entre el datalogger y el ordenador, ver **Figura 88**.



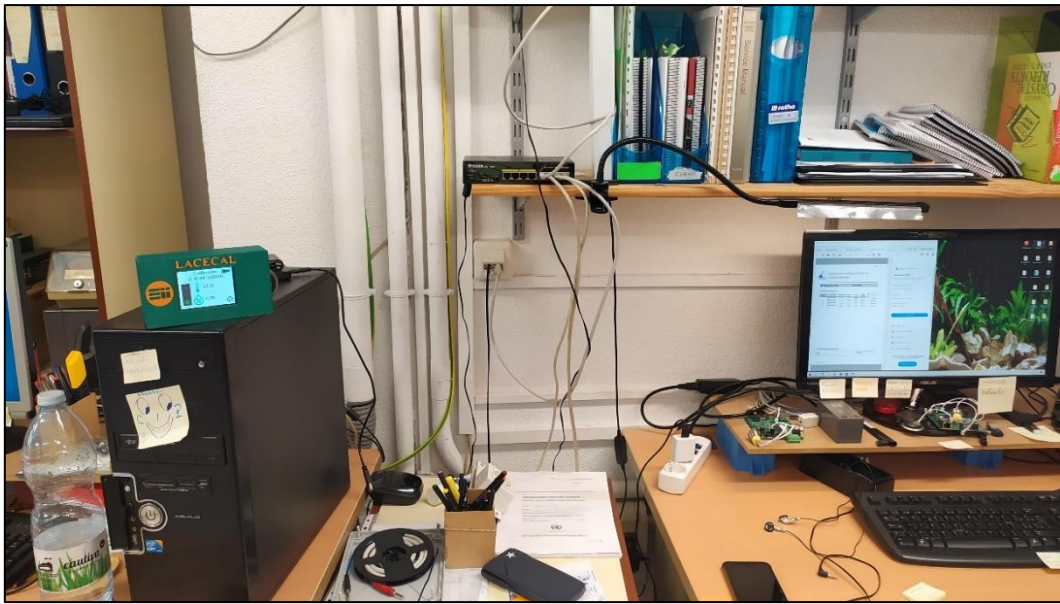
**Figura 88:** Servidor instalado en el laboratorio

Fuente: Elaboración propia



**Figura 89:** Servidor y visualizador en la zona de la base de datos

Fuente: Elaboración propia



**Figura 90:** Visualizador en la zona de calibración  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 91:** Visualizador en la zona de ensayos  
Fuente: Elaboración propia





## **Capítulo 10: Conclusiones y líneas futuras de desarrollo**

El prototipo desarrollado cumple con los objetivos globales y específicos propuestos en el apartado **Introducción y objetivos**.

- ✓ Wifi para comunicar inalámbricamente los dispositivos.
- ✓ Pantalla TFT a color para mostrar los valores y configuraciones.
- ✓ Pantalla táctil para configurar los parámetros por parte del usuario.
- ✓ Señalización luminosa utilizando la propia pantalla e iconos de color rojo, amarillo o verde según el nivel de alerta de la temperatura y humedad.
- ✓ Alimentación por batería en el visualizador para permitir su movilidad por el laboratorio.
- ✓ Alimentación a 5V a través de USB micro b en ambos dispositivos.

También se han añadido algunas características a mayores:

- ✓ Alarma sonora mediante un zumbador cuando se entra en el nivel rojo de alerta.
- ✓ Los parámetros de configuración se almacenan en la memoria no volátil del dispositivo para que se conserven aun cuando este se apague.
- ✓ Página web que muestra los valores de temperatura y humedad a la que se puede acceder desde cualquier navegador en un dispositivo conectado a la red Wifi del servidor.

### **Líneas futuras de desarrollo**

En el caso del prototipo del visualizador, al utilizar una placa de circuito de doble cara, tanto la pantalla como el ESP32 se han tenido que elevar sobre la superficie para poder soldar por ambos lados, al no tener pads metalizados que conecten ambos lados de la placa. Esto ha ocasionado que el grosor de la envolvente sea mayor al deseado. Por ello, se propone como futura línea de desarrollo reducir la superficie de la PCB, juntando los componentes y eliminando el texto de la capa de cobre. Además, al mandar fabricar la PCB a una empresa especializada, se tendrán pads metalizados, pudiendo apoyar los componentes en la superficie y de esta manera reducir el tamaño del visualizador.

También se propone utilizar otra versión del ESP32 para el visualizador que tenga mayor espacio de almacenamiento, para así mejorar el acabado de la interfaz de la pantalla.





## Bibliografía

- AGGSoftware. (30 de enero de 2021). *AGGSoftware*. Obtenido de <https://www.aggsoft.com/rs232-pinout-cable/serial-cable-connections.htm>
- Alibaba. (Junio de 2021). *Alibaba*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/liquid-crystal-thermometer-adhesive-thermometer-strip-to-measure-indoor-room-temperature-1553688141.html>
- AmericanCableAssemblies. (30 de enero de 2021). *AmericanCableAssemblies*. Obtenido de <https://americancableassemblies.com/db9-to-db9-metal-hood-female-male-build-your-own-assembly/>
- Arduino. (junio de 2021). *Arduino Versiones anteriores*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/OldSoftwareReleases#previous>
- Bike Pixels. (Junio de 2021). *Bike Pixels*. Obtenido de <https://bikepixels.com/2019/11/10/anadir-una-bateria-lipo-en-proyectos-con-arduino/?lang=es>
- Burea International des Poids et Mesures. (2018). Conferencia General de Pesos y Medidas 26ª reunión., (pág. 562). Saint-Cloud, Francia.
- Comité de Metrología del Instituto de la Ingeniería en España. (2019). *La Metrología también existe*.
- Creality 3D. (Junio de 2021). *Creality 3D*. Obtenido de <https://creality3d.shop/>
- Createc3D. (Junio de 2021). *Createc3D*. Obtenido de <https://createc3d.com/blog/evitar-el-temido-warping/>
- de la Fuente, E. (2019). Apuntes Informática Industrial. Valladolid, España.
- Diagram Database. (30 de enero de 2021). *Diagram Database*. Obtenido de <http://rv.lerosediposillipo.it/diagram/m12-to-db9-wiring-diagram>
- Doutel, F. (Junio de 2021). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xatakahome.com/trucos-y-bricolaje-smart/polysmooth-and-polysher-vienen-a-mejorar-la-impresion-3d>
- EasyEDA. (Junio de 2021). *EasyEDA Resources*. Obtenido de [https://easyeda.com/modules/TP4056-03962A-Lithium-Battery-Charger\\_b4e588fcb4eaa4b9b951f751938fe06f2](https://easyeda.com/modules/TP4056-03962A-Lithium-Battery-Charger_b4e588fcb4eaa4b9b951f751938fe06f2)
- EEMB Corporation. (2010). *LIR18650 Datasheet*.
- Española, R. A. (2021). *Diccionario de la lengua española*.
- Espressif Systems. (2020). *ESP32-WROOM-32 datasheet*.



- Espressif Systems. (2021). *ESP32 Series Datasheet*. Obtenido de [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- Excursively. (Junio de 2021). *GrabCAD*. Obtenido de <https://grabcad.com/library/3-2-tft-spi-240x320-v1-0-1>
- Exide Group. (Junio de 2021). *Exide Technologies*. Obtenido de <https://www.exidegroup.com/en>
- Fairchild Semiconductor Corporation. (2014). *2N3904 datasheet*.
- Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea, Universidad de Zaragoza. (Junio de 2021). *Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea*. Obtenido de <http://www.isqch.unizar-csic.es/ISQCHportal/cristalesLiquidos.do?enlaceMenuDerecha=temas&enlaceMenuIzquierda=divulgacion>
- JS. (Junio de 2021). *GrabCAD*. Obtenido de <https://grabcad.com/library/tc4056a-charger-module-5v-1a-usb-micro-1>
- Kutchma, T. M. (Junio de 2021). *The Effects of Room Color on Stress Perception: Red versus Green Environments*. Obtenido de Minnesota State University, Mankato: <https://cornerstone.lib.mnsu.edu/jur/vol3/iss1/3/>
- me-no-dev. (Junio de 2021). *Github*. Obtenido de <https://github.com/me-no-dev/arduino-esp32fs-plugin/releases>
- Microsoft. (junio de 2021). *Visual Studio Code*. Obtenido de <https://code.visualstudio.com/>
- Ministerio de Industria Comercio y Turismo. (02 de febrero de 2021). *Centro Español de Metrología*. Obtenido de <https://www.cem.es/>
- Multitask Technology. (Julio de 2021). Multitask Technology. Panamá.
- NanJing Top Power ASIC Corp. (2021). *TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8*.
- PCBWay. (Junio de 2021). *PCBWay*. Obtenido de <https://www.pcbway.es/>
- Pérez Turiel, J. (2020). *Apuntes Asignatura Control y Comunicaciones Industriales*. (U. EII, Ed.) Valladolid, Castilla y León, España.
- PintarSinParar. (Junio de 2021). *PintarSinParar*. Obtenido de <https://pintarsinparar.com/custom/962-spray-pintura-termocromica.html>
- RS Components. (Junio de 2021). *RS Components*. Obtenido de <https://es.rs-online.com/web/>





Sanyo. (2021). *Funcionamiento de la pantalla LCD*.

SCHWENKE, T. (Junio de 2021). *Bring Knowledge To The World*. Obtenido de <http://www.bring-knowledge-to-the-world.com/>

Smith, N. d. (Junio de 2021). *ANSI IPC-2221A PCB Trace Width Calculator*. Obtenido de <https://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>

Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech. (Julio de 2021). *Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech*. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/126329/xavier.rodriuez.campillo\\_130960.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/126329/xavier.rodriuez.campillo_130960.pdf)

Vazquez, J. A. (2021). *Apuntes Electrónica Industrial*.

Vishay General Semiconductor. (2011). *1N4007 General Purpose Plastic Rectifier*.

Wikimedia Commons. (Junio de 2021). *HP PhotoSmart SDIO Kamera.jpg*.





Anexos



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y  
Automática**

**Visualizador termohigrógrafo con alarma**

# **ANEXOS**

**Autor:**

**Alonso Fernández, Ricardo**

**Tutor:**

**Díez Muñoz, Pedro Luis  
Tecnología Electrónica**

**Valladolid, Julio 2021**



## **Anexos I: Manual de usuario del visualizador termohigrógrafo con alarma**

### **Anexos II: Planos**

- Plano 1: Envolvente del servidor
- Plano 2: Tapa del servidor
- Plano 3 Botón y cubierta del servidor
- Plano 4: Vista explosionada del servidor
- Plano 5: Envolvente del visualizador
- Plano 6: Tapa del visualizador
- Plano 7: Vista explosionada del visualizador

### **Anexos III: Esquemas y fotolitos**

- Esquema 1: Esquema eléctrico del servidor
- Esquema 2: Esquema eléctrico del visualizador
- Fotolitos de las PCBs

### **Anexos IV: Datasheet**

- Datasheet 1: Resistencias de película metálica
- Datasheet 2: Zumbador electromecánico
- Datasheet 3: Condensadores de tántalo
- Datasheet 4: Transistor NPN 2N3904
- Datasheet 5: Regulador de tensión de baja caída MCP1825
- Datasheet 6: Interruptores de botón TL2201
- Datasheet 7: Diodos LED de 5 mm
- Datasheet 8: Diodo rectificador 1N4001
- Datasheet 9: Conectores DB9
- Datasheet 10: Módulo de carga y descarga de baterías TP4056A
- Datasheet 11: ESP32 WROOM 32
- Datasheet 12: ESP32 Series
- Manual de usuario Datalogger ALMEMO 2290-8
- Ficha técnica PLA Glitter



# ANEXOS I

# Manual de usuario

## Visualizador termohigrógrafo con alarma



Trabajo Fin de Grado  
Autor: Ricardo Alonso Fernández  
Tutor: Pedro Luis Díez Muñoz  
EII-UVa Curso2020/21







## Índice

I. Introducción .....	4
1 Objetivo .....	4
2 Requerimientos .....	4
3 Materiales incluidos en el kit.....	4
II. Advertencias.....	5
III. Puesta en funcionamiento .....	7
IV. Funcionamiento del servidor .....	8
V. Funcionamiento del visualizador.....	9
Menú principal .....	10
Menú de alarma.....	10
Menú de configuración.....	11
Menú de selección de zona .....	11
Menú de configuración de temperatura y de humedad .....	12
Menú de configuración de las bandas amarillas .....	12
VI. Posibles problemas y soluciones.....	13

## I. Introducción

El visualizador termohigrógrafo con alarma ha sido específicamente diseñado para funcionar con los equipos instalados en el laboratorio LACECAL situado en la Escuela de Ingenierías Industriales.

### 1 Objetivo

Otorgar soporte a los usuarios del visualizador termohigrógrafo con alarma

### 2 Requerimientos

- Datalogger Almemo 2290-8 con interfaz RS232 para la comunicación

### 3 Materiales incluidos en el kit

- Módulo servidor con conectores DB9 hembra y macho
- Módulo visualizador
- Dos cables micro USB-b de 1m para alimentación de los dispositivos
- Lápiz para pantalla táctil



Figura 1: Materiales incluidos



## II. Advertencias



### USO CORRECTO DEL APARATO

Leer con atención las siguientes instrucciones. Conservar las instrucciones de uso y montaje.

Comprobar el aparato al sacarlo del embalaje. El dispositivo no debe conectarse en caso de haber sufrido daños durante el transporte.

El aparato debe ser alimentado a 5 V en corriente continua. Los daños provocados por una conexión incorrecta no están cubiertos por la garantía.

El aparato ha sido diseñado exclusivamente para uso doméstico. Si va a ser manipulado por un niño menor de 12 años es necesaria la supervisión de un adulto.

El conjunto está previsto para ser utilizado a una altura máxima de 2000 metros sobre el nivel del mar. Puede ser utilizado por personas que carezcan de conocimientos eléctricos y electrónicos siempre que se sigan las instrucciones cuidadosamente.

No manipular con el cuerpo húmedo. Si entra agua en el dispositivo, desconectar inmediatamente y no volver a conectar hasta que esté completamente seco.

No dejar que los niños jueguen con el aparato. Mantener a los niños alejados del dispositivo y de los cables de conexión.



### INDICACIONES DE SEGURIDAD



### ADVERTENCIA – ¡PELIGRO DE DESCARGA ELÉCTRICA!

Las reparaciones inadecuadas son peligrosas. Si el aparato está averiado, desenchufar el dispositivo de la alimentación inmediatamente.

No utilizar limpiadores de alta presión ni por chorro de vapor. La humedad interior puede dañar la electrónica.

Un aparato defectuoso puede ocasionar una descarga eléctrica. No conectar nunca un dispositivo defectuoso.

No abrir ni desacoplar ningún componente del dispositivo, pues puede provocar riesgos de asfixia e intoxicación.

Peligro de descarga eléctrica.



### CAUSAS DE LOS DAÑOS

Mantener el aparato en un lugar fresco y seco, no lo deje a la intemperie.

No tirar al suelo ni golpear con objetos contundentes.

No alimentar a una tensión mayor a la indicada (5 VDC).



### PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



Los componentes siguen la normativa RoHS (Restriction of Hazardous Substances), que se refiere a la Directiva 2011/65/UE de Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, adoptada en junio de 2011 por la Unión Europea. La directiva está transpuesta a la legislación española por medio del Real Decreto 219/2013. Esta normativa restringe el uso de seis materiales peligrosos en la fabricación de varios tipos de equipos eléctricos y electrónicos, entre otros, el plomo, mercurio y cadmio.



### ELIMINACIÓN DE RESIDUOS RESPETUOSA CON EL MEDIO AMBIENTE



Eliminar el embalaje de forma ecológica, depositándolo en el contenedor correspondiente.

Este aparato está marcado con el símbolo de cumplimiento con la Directiva Europea 2012/19/UE relativa a los aparatos eléctricos y electrónicos usados (Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE).

La directiva proporciona el marco general válido en todo el ámbito de la Unión Europea para la retirada y la reutilización de los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos.

Una vez finalizada la vida útil del dispositivo es necesario llevar el aparato a un centro de tratamiento de residuos electrónicos para deshacerse de una manera segura y responsable de los restos



### III. Puesta en funcionamiento

1. Preparar la zona donde se situará el servidor.
2. Desconectar el datalogger del ordenador y conectarlo al servidor (entrada hembra).
3. Mediante un cable de datos con terminaciones macho y hembra DB9, conectar el puerto hembra del servidor a la entrada macho del ordenador.
4. Conectar el cable de alimentación del servidor.
5. Cuando se haya completado una transmisión del datalogger al ordenador encender el servidor utilizando el botón, el led se encenderá.
6. Situar el visualizador en una superficie plana y conectar el cable de alimentación
7. Al encender el visualizador procederá a conectarse a la red Wifi del servidor.
8. Una vez conectado, el visualizador sincronizará su intervalo de consulta con la llegada de datos al servidor.



No desconectar los cables ni conectar el servidor durante la transmisión del datalogger



*Figura 2: Ejemplo de instalación del servidor*

## IV. Funcionamiento del servidor

El dispositivo del servidor obtiene los datos transmitidos por el datalogger a través de la interfaz RS232, considerando el siguiente formato de mensaje durante la transmisión:

"Fecha";"Hora";TCalibración	"06.07.21";"11:24:00";22,87
;TEnsayos	;22,79
;;;HCalibración	;;;43,1
;HEnsayos	;42,4
;;;Valor1	;;;9,7
;Valor2	;9,4
;;;Valor3	;;;7,4
;Valor4/Retorno/SaltoDeLínea	;7,2/r/n

*Tabla 1: Formato de mensaje del datalogger*

Una vez recibidos los datos, el servidor genera una red Wifi de nombre **LACECAL\_TyH** y con contraseña de acceso **TFG\_LACECAL**.

Cualquier dispositivo puede conectarse a ella y al acceder desde el navegador a la dirección IP **192.168.4.1** se accede a una página web que muestra los datos de ambas zonas. Para acceder a un dato en concreto se pueden usar las siguientes direcciones:

Dirección	Contenido
<b>192.168.4.1</b>	Página web
<b>192.168.4.1/Fecha</b>	Fecha
<b>192.168.4.1/Hora</b>	Hora
<b>192.168.4.1/TCalibración</b>	Temperatura de la zona de calibración
<b>192.168.4.1/TEnsayos</b>	Temperatura de la zona de ensayos
<b>192.168.4.1/HCalibración</b>	Humedad de la zona de calibración
<b>192.168.4.1/HEnsayos</b>	Humedad de la zona de ensayos

*Tabla 2: Direcciones y contenido del servidor*

El servidor puede atender un máximo de 4 dispositivos conectados simultáneamente.



## V. Funcionamiento del visualizador

El visualizador muestra por pantalla los valores de temperatura y humedad proporcionados por el datalogger, junto con la fecha y hora. Admite la configuración de los valores máximos, mínimos, incertidumbres y zonas amarillas a través de la pantalla táctil. Todos los parámetros de configuración se almacenan en memoria no volátil.

Los niveles de alerta se dividen en verde, amarillo y rojo. Se establecen por separado para temperatura y humedad y se toma como global el peor de los dos.

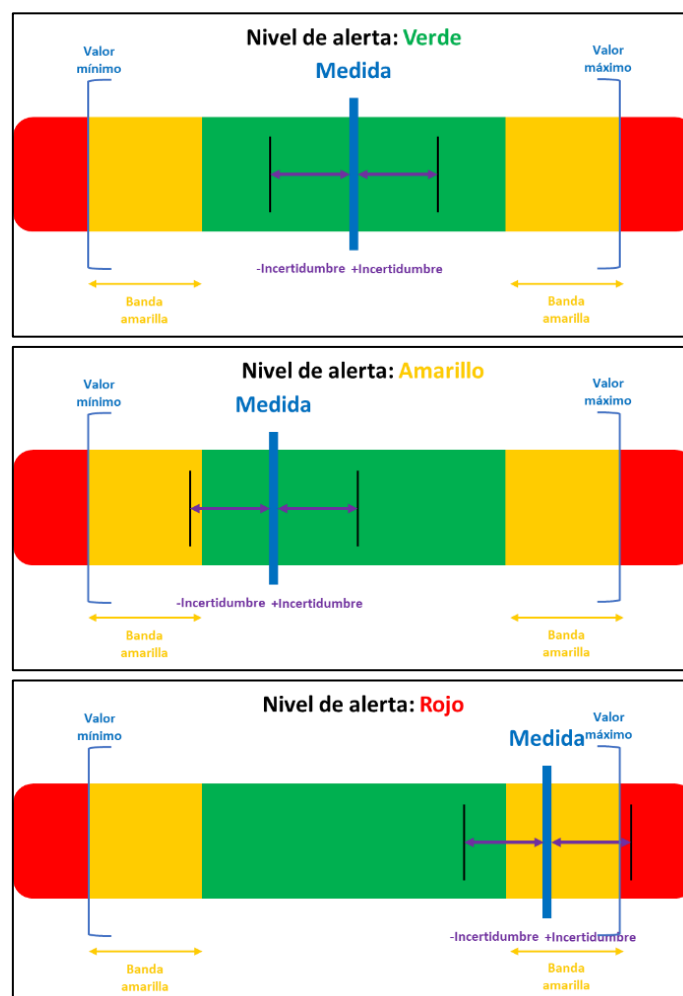


Figura 3: Niveles de alerta del visualizador

## Menú principal



*Figura 4: Interfaz del menú principal*

En la parte superior se muestra la zona activa, la hora y fecha de la última medida. En la parte central la temperatura y humedad de la zona, con distintos colores de imagen en función del nivel de alerta y un semáforo que representa el nivel de alerta global. Además, en la esquina superior derecha se muestra el nivel de carga de la batería.

## Menú de alarma

Cuando se alcanza el nivel rojo de alerta, el visualizador muestra una pantalla de alarma si la pantalla activa es la principal.

En este menú de alarma, se muestra el parámetro que está fuera de rango y se mantiene activo el zumbador. Para desactivarlo es suficiente con tocar la pantalla. Aunque los parámetros sigan fuera de rango el menú de alarma no se vuelve a mostrar hasta que haya habido un paso por amarillo o verde.



*Figura 5: Interfaz del menú de alarma*

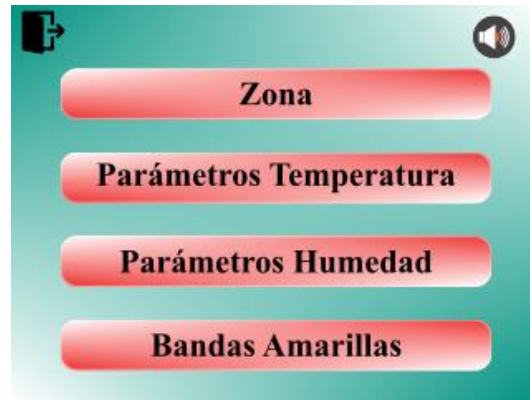




### Menú de configuración

Al pulsar sobre el icono del engranaje en el menú principal se accede a esta pantalla que lleva a las distintos menús de configuraciones de parámetros.

En la esquina superior derecha se puede desactivar el sonido de pulsación.



*Figura 6: Interfaz del menú de configuración*

### Menú de selección de zona

Permite elegir la zona activa, de la cual se muestran los valores de temperatura y humedad.



*Figura 7: Interfaz del menú de selección de zona*

## Menú de configuración de temperatura y de humedad

Desde estos menús se introduce el valor máximo y mínimo de humedad o temperatura (inicio zonas rojas). También se puede configurar la incertidumbre de las medidas proporcionadas por las sondas.

Tmax	Incert.	Tmin
+	+	+
25.00	0.8	21,00
-	-	-

Figura 8: Interfaz del menú de configuración de temperatura

Hmax	Incert.	Hmin
+	+	+
40.00	2.0	20,00
-	-	-

Figura 9: Interfaz del menú de configuración de humedad

## Menú de configuración de las bandas amarillas

Desde aquí se configura el ancho de cada banda amarilla, tanto para temperatura como para humedad. Un valor de 0 elimina la zona amarilla.

BandaT	BandaH
+	+
0,5	3,0
-	-

Figura 10: Interfaz del menú de configuración de las zonas amarillas



## VI. Posibles problemas y soluciones

- **El datalogger hace un barrido de los canales pero no se actualizan los datos del servidor ni del ordenador**

Si este problema se da nada más conectar el servidor al datalogger y se ha evitado interrumpir la transmisión al conectarlo. Desde el ordenador detener el servicio de la toma de datos y seguidamente iniciarlo de nuevo. Si al hacer esto el ordenador actualiza la información pero el servidor no, reiniciar el servidor, asegurándose de encenderlo después de que el datalogger haya transmitido para no pillar datos a medias.

- **El visualizador se queda bloqueado o no actualiza los datos**

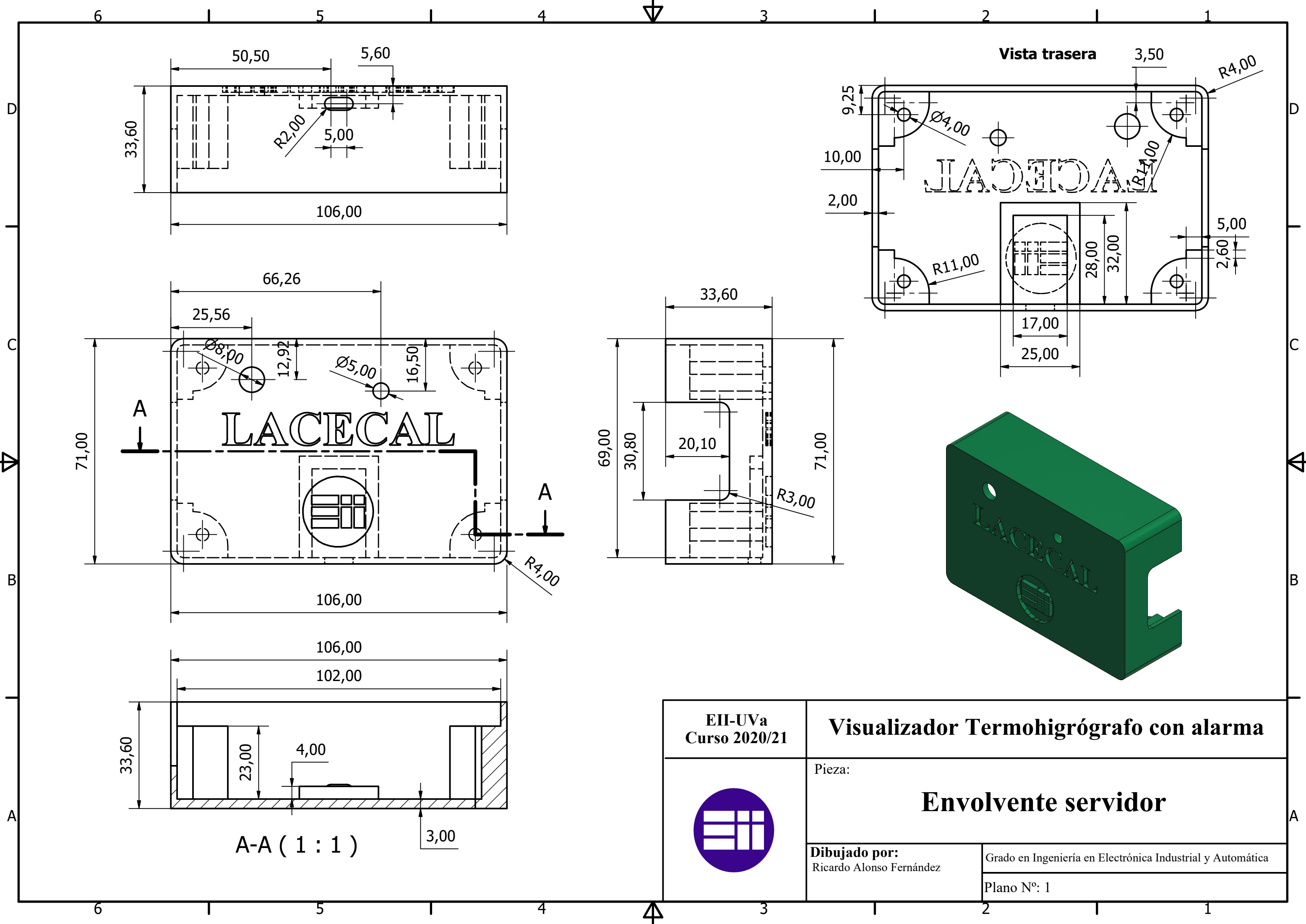
Se ha perdido la conexión con el servidor. Si al reiniciar el visualizador este no pasa de la pantalla de conectando, es necesario revisar el servidor.


- **El visualizador no enciende**

El nivel de carga es demasiado bajo. Conectar el cable de alimentación y dejarlo cargar unos minutos antes de encenderlo.



# ANEXOS II



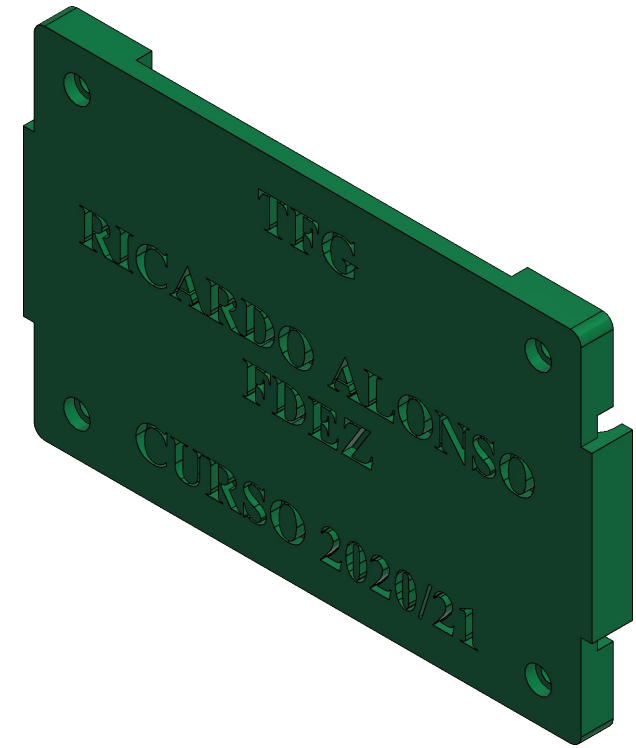
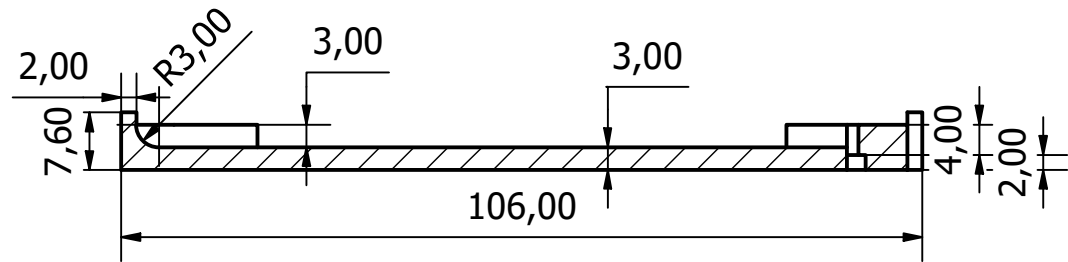
<p>EII-UVa Curso 2020/21</p>	<p><b>Visualizador Termohigrógrafo con alarma</b></p>	
	<p>Pieza:</p> <p><b>Envolvente servidor</b></p>	
	<p>Dibujado por: Ricardo Alonso Fernández</p>	<p>Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática</p> <p>Plano N°: 1</p>

6 5 4 3 2 1

D

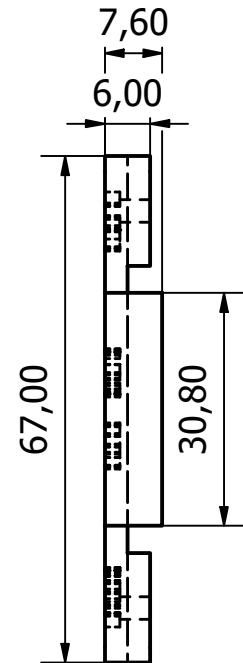
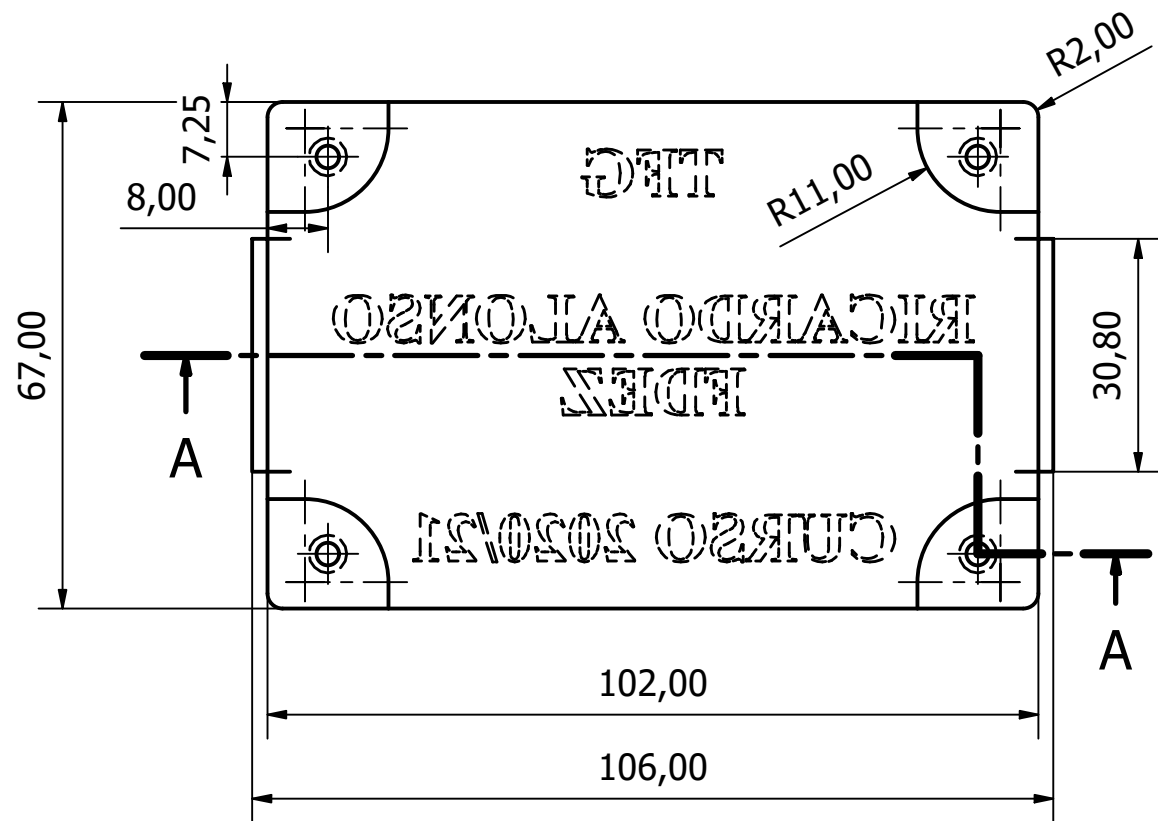
D

A-A ( 1 : 1 )



C

C




B

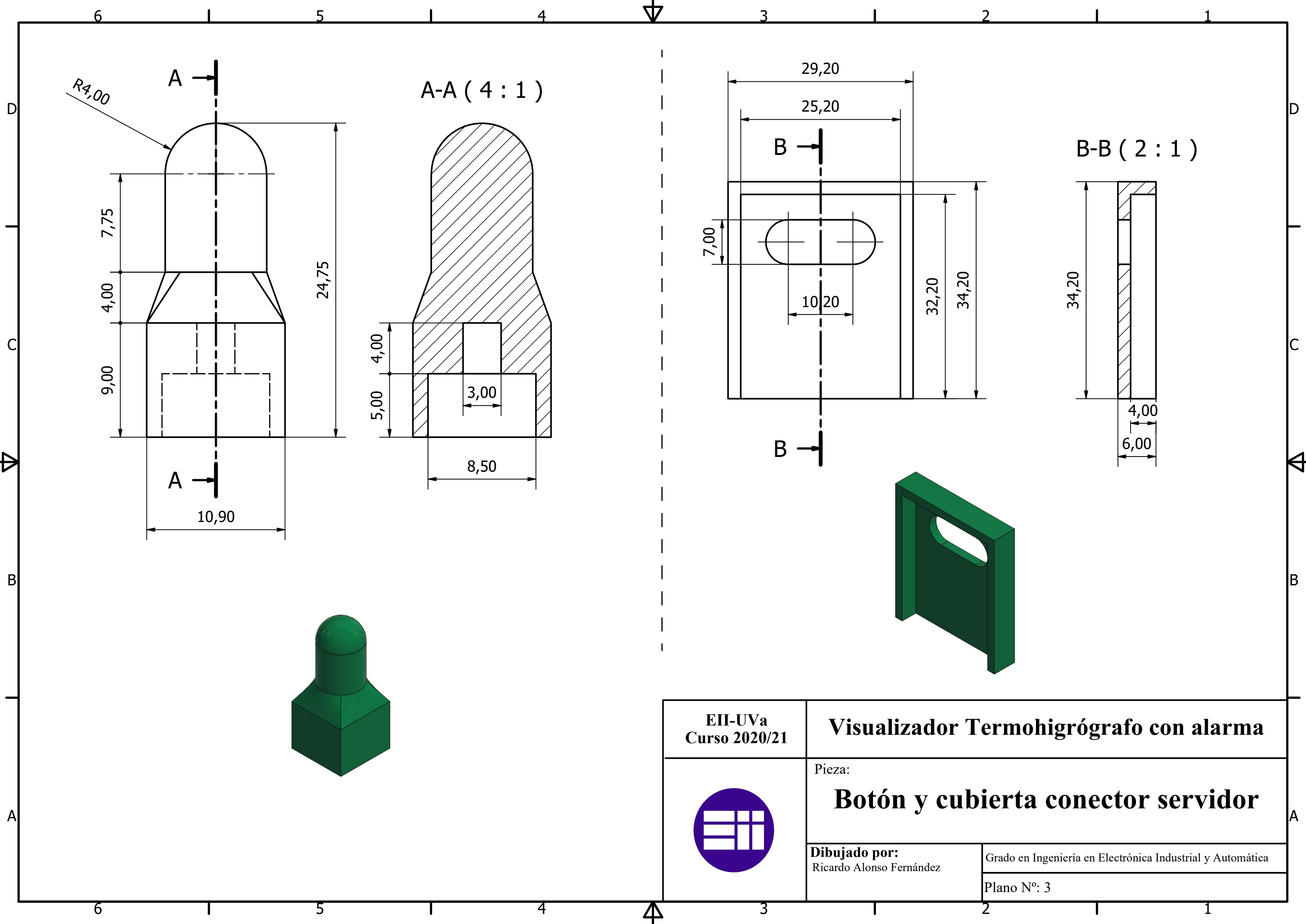
B


A

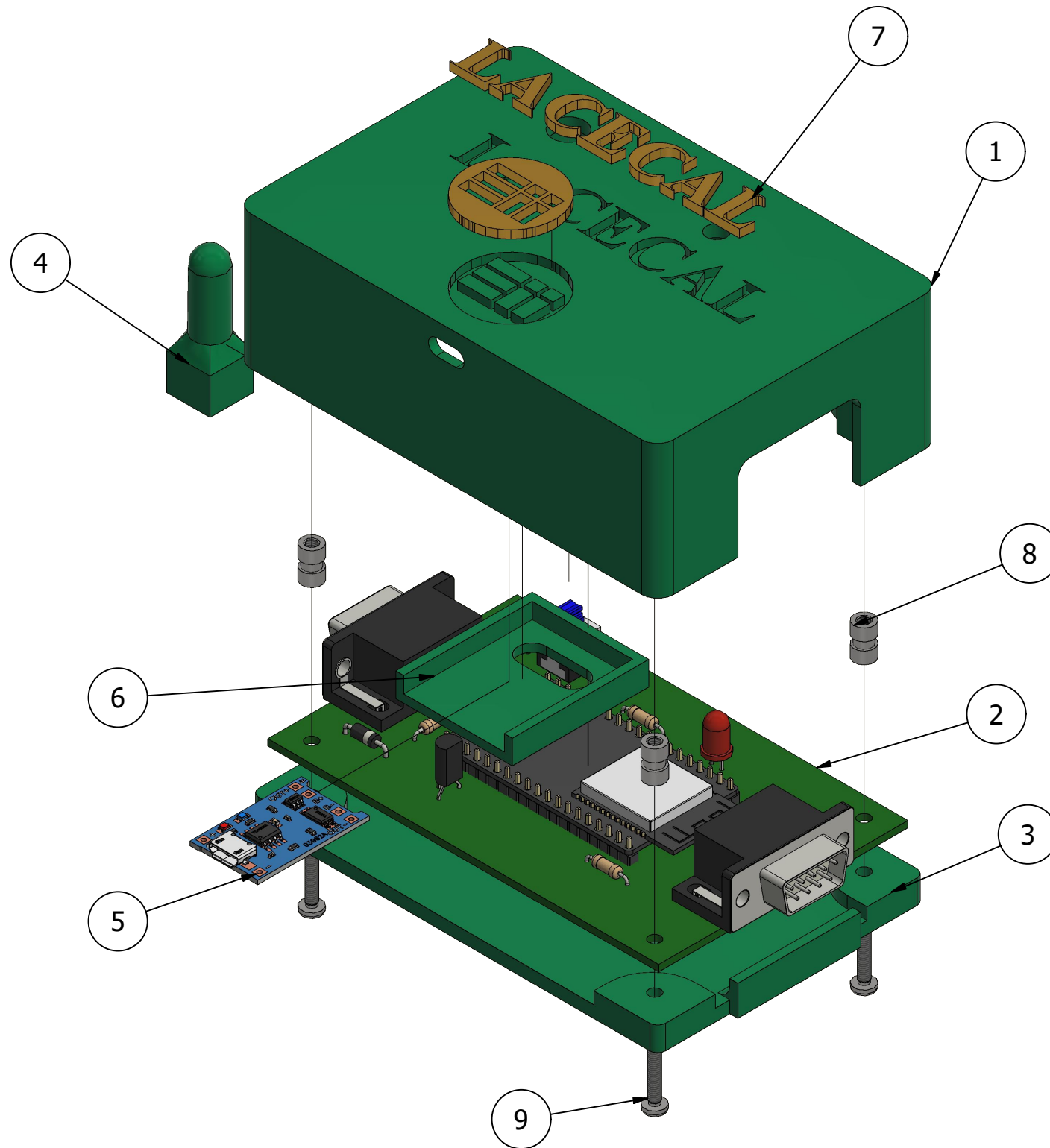
A

6 5 4 3 2 1

<p>EII-UVa Curso 2020/21</p>	<p><b>Visualizador Termohigrógrafo con alarma</b></p>	
	<p>Pieza:  <b>Tapa servidor</b></p>	
	<p><b>Dibujado por:</b> Ricardo Alonso Fernández</p>	<p>Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática Plano N°: 2</p>



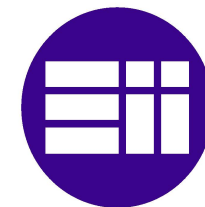
<p>EII-UVa Curso 2020/21</p>	<p><b>Visualizador Termohigrógrafo con alarma</b></p>	
	<p>Pieza: <b>Botón y cubierta conector servidor</b></p>	
	<p><b>Dibujado por:</b> Ricardo Alonso Fernández</p>	<p>Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática Plano N°: 3</p>



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Envolvente Servidor	PLA Verde Glitter
2	1	Circuito Servidor	PCB Servidor
3	1	Tapa Servidor	PLA Verde Glitter
4	1	Boton Servidor	PLA Verde Glitter
5	1	Modulo Carga	CATIA V5 STEP Exchange
6	1	Tapa Modulo Carga	PLA Verde Glitter
7	1	Texto Servidor	PLA Silk Gold
8	4	Nut GB 809 A M3 x 8	Insert round nuts
9	4	EN ISO 7045 - M2,5 x 14 - 4.8 - H	Cabeza cilíndrica con cavidad cruzada de tipo H o Z. Productos de clase A

EII-UVa  
Curso 2020/21

## Visualizador Termohigrógrafo con alarma



Pieza:

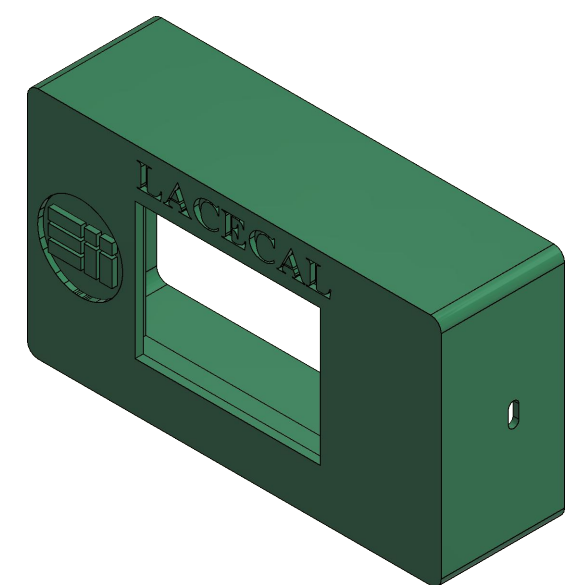
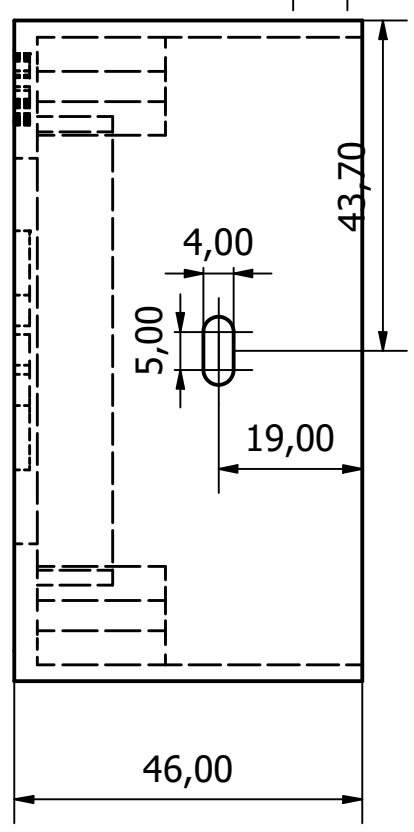
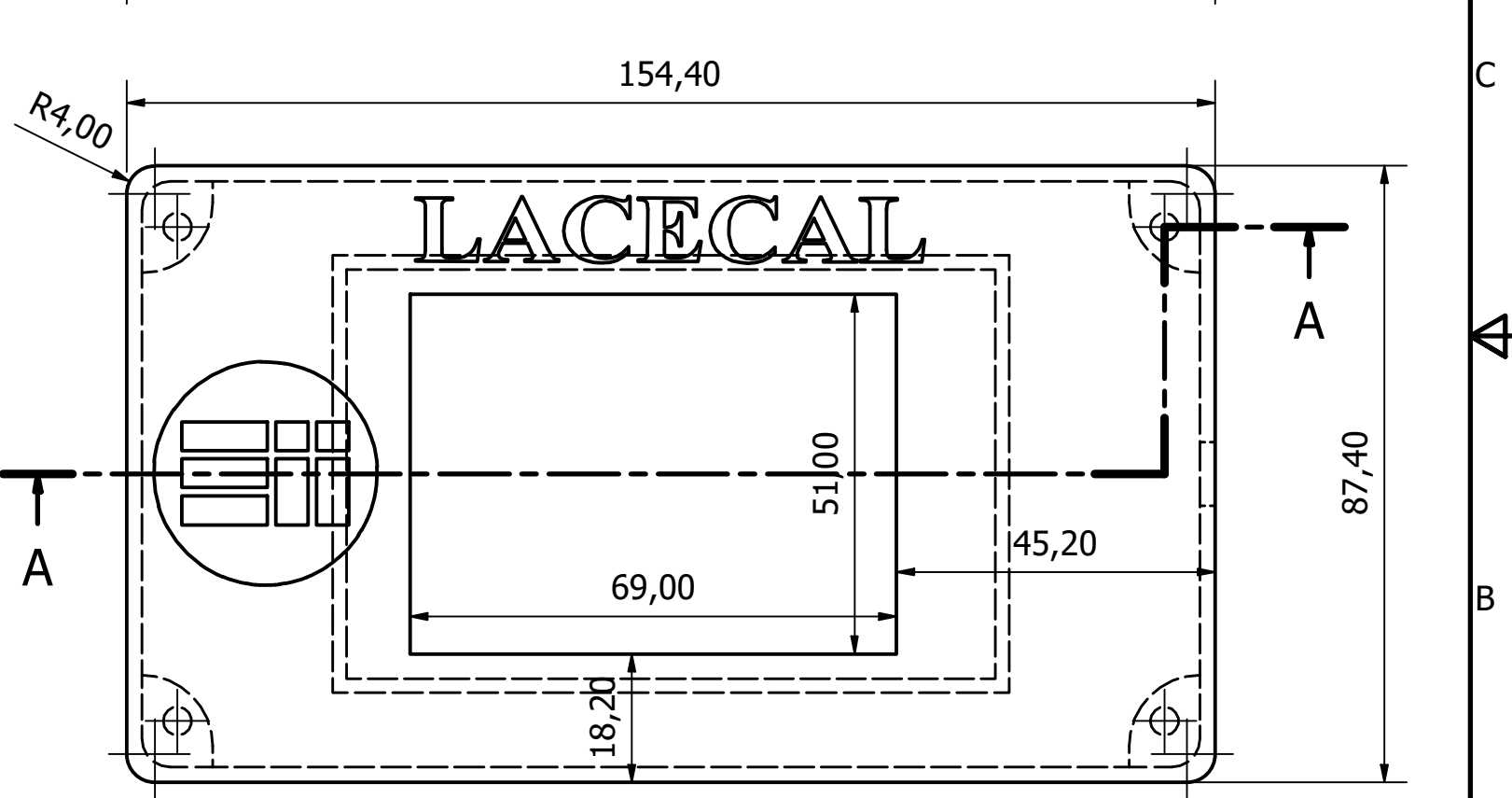
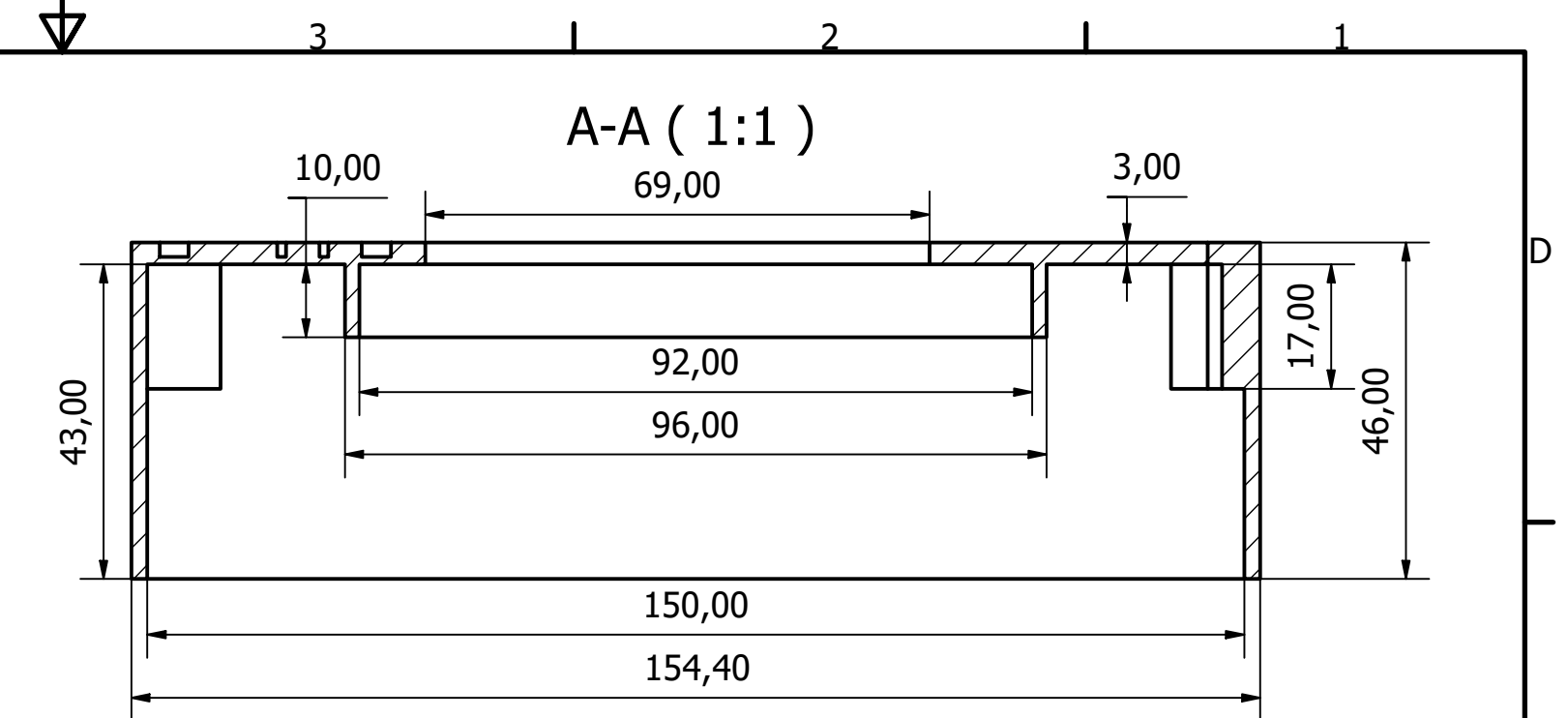
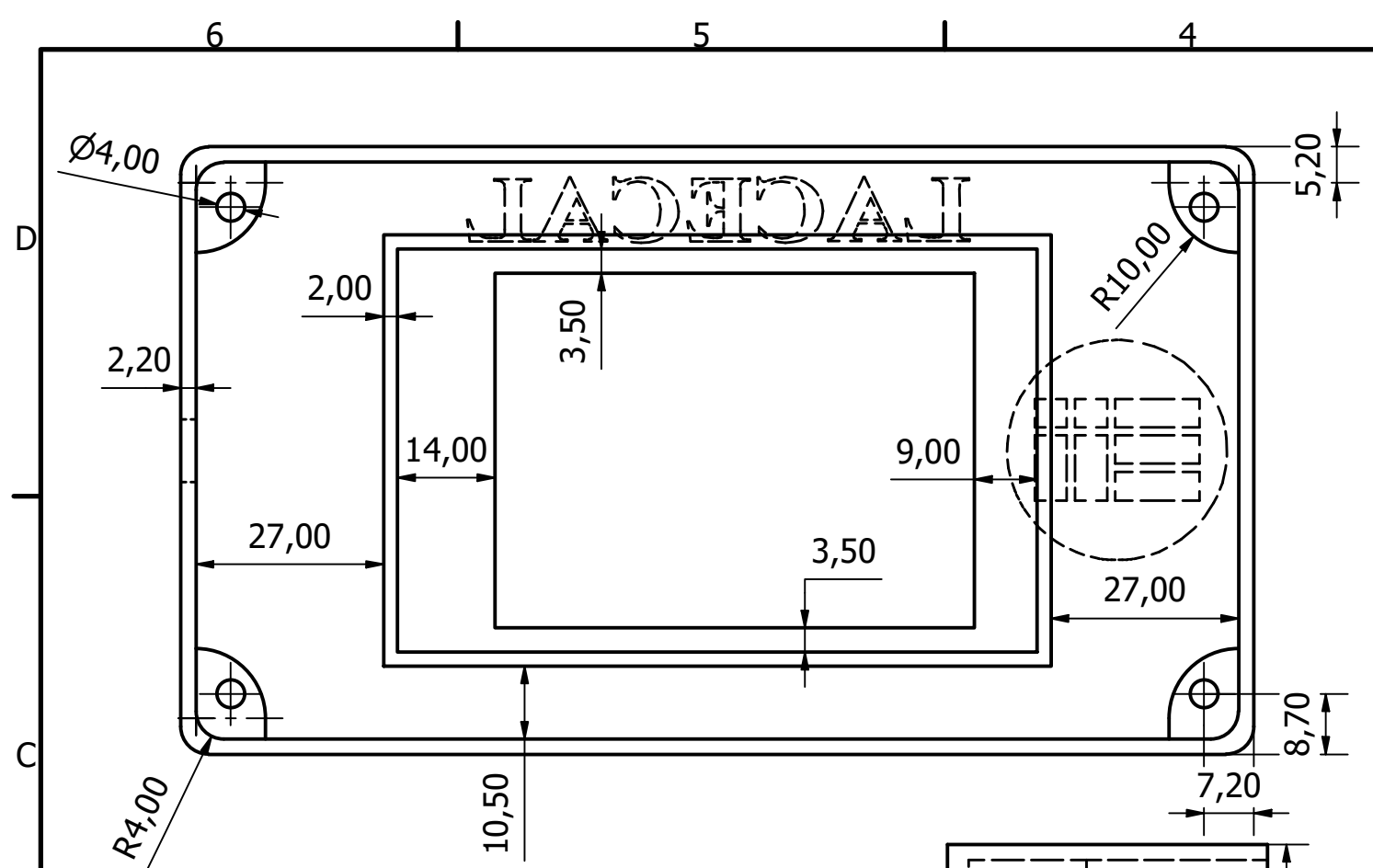
### Vista explosionada servidor

Dibujado por:  
Ricardo Alonso Fernández

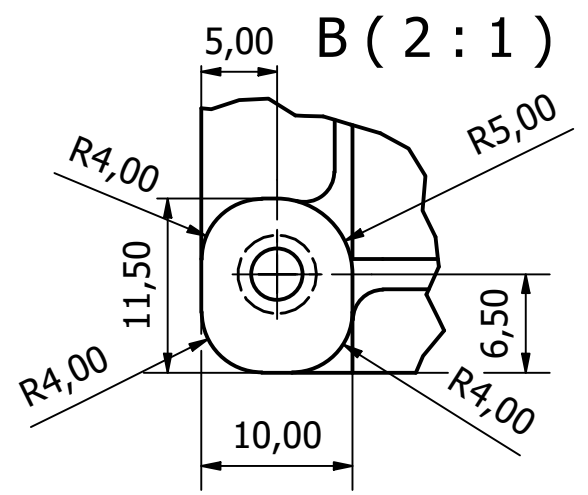
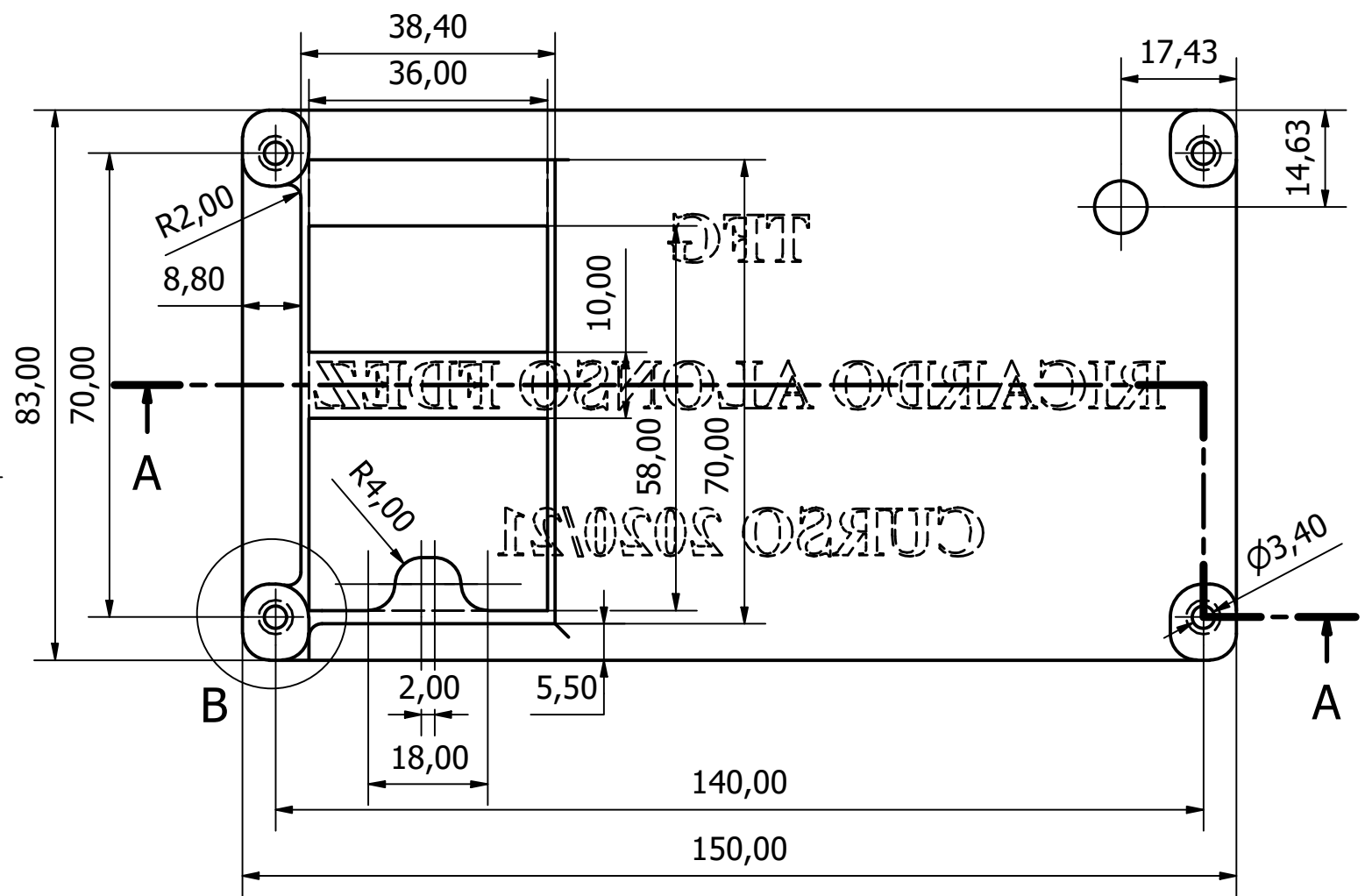
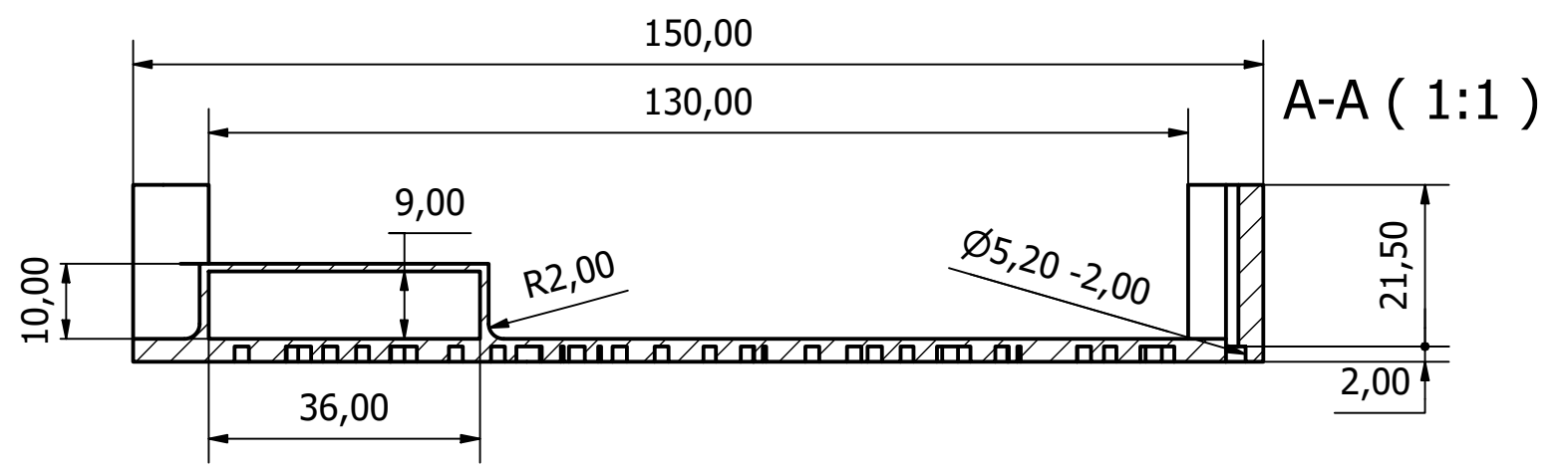
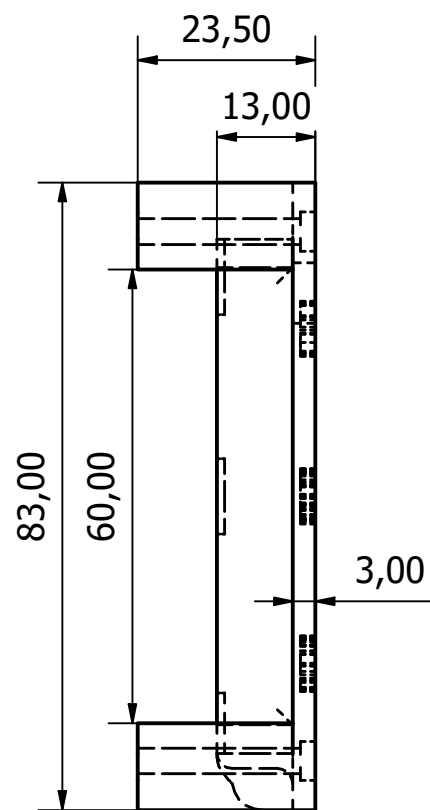
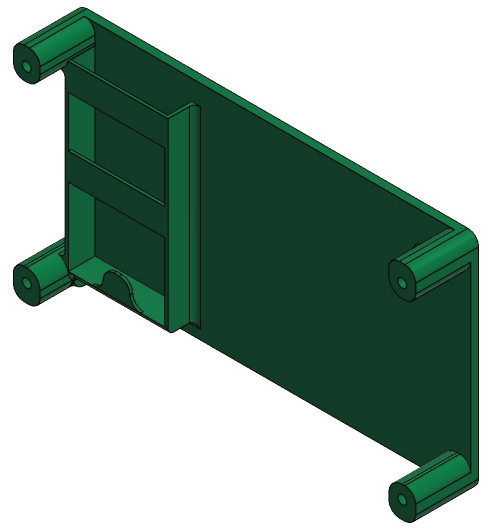
Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática


Plano Nº: 4

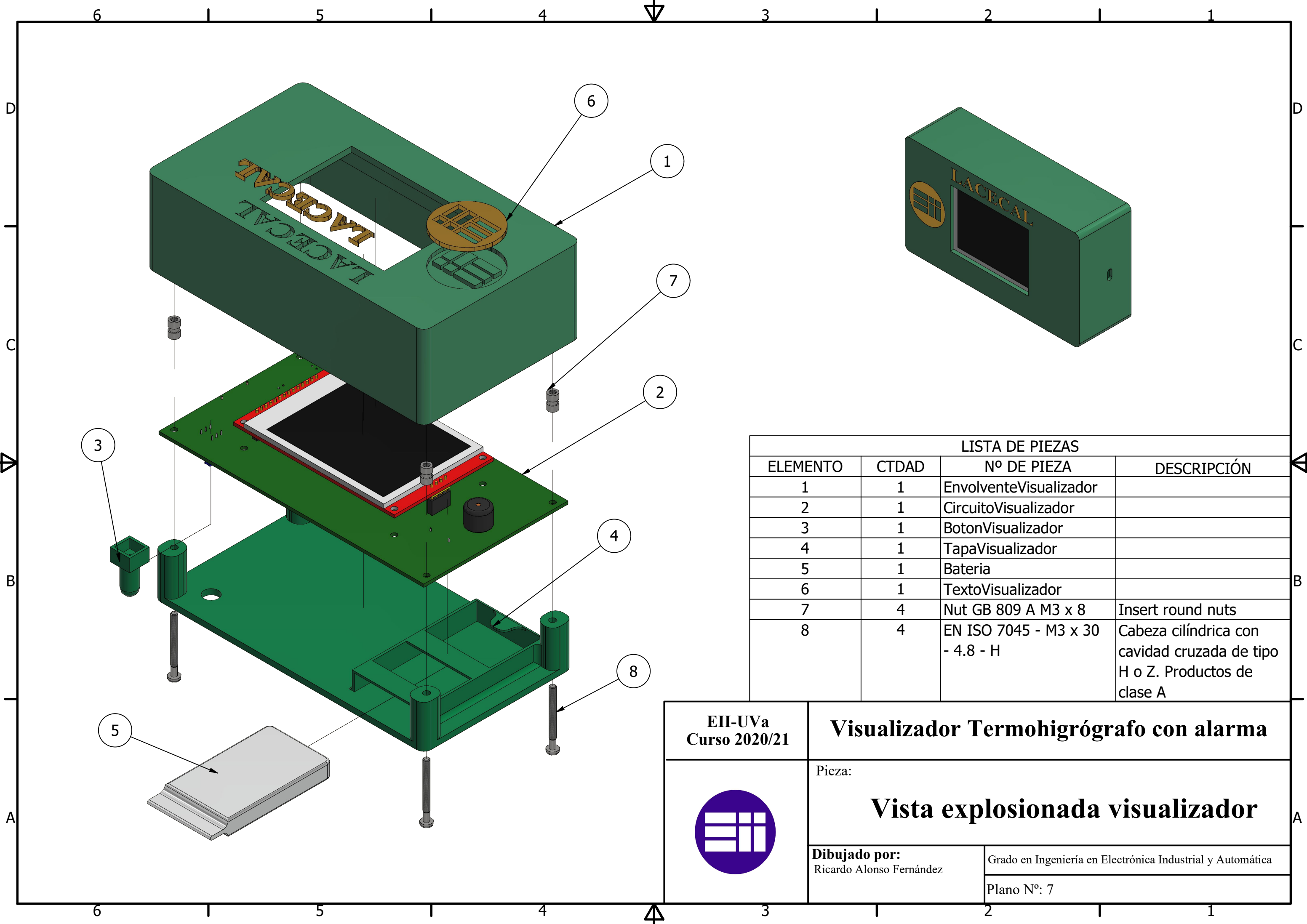





<p>EII-UVa Curso 2020/21</p>	<p><b>Visualizador Termohigrógrafo con alarma</b></p>	
	<p>Pieza: <b>Envolvente visualizador</b></p>	
	<p>Dibujado por: Ricardo Alonso Fernández</p>	<p>Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática Plano Nº: 5</p>



<p>EII-UVa Curso 2020/21</p>	<p><b>Visualizador Termohigrógrafo con alarma</b></p>	
	<p>Pieza: <b>Tapa visualizador</b></p>	
	<p>Dibujado por: Ricardo Alonso Fernández</p>	<p>Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática Plano N°: 6</p>

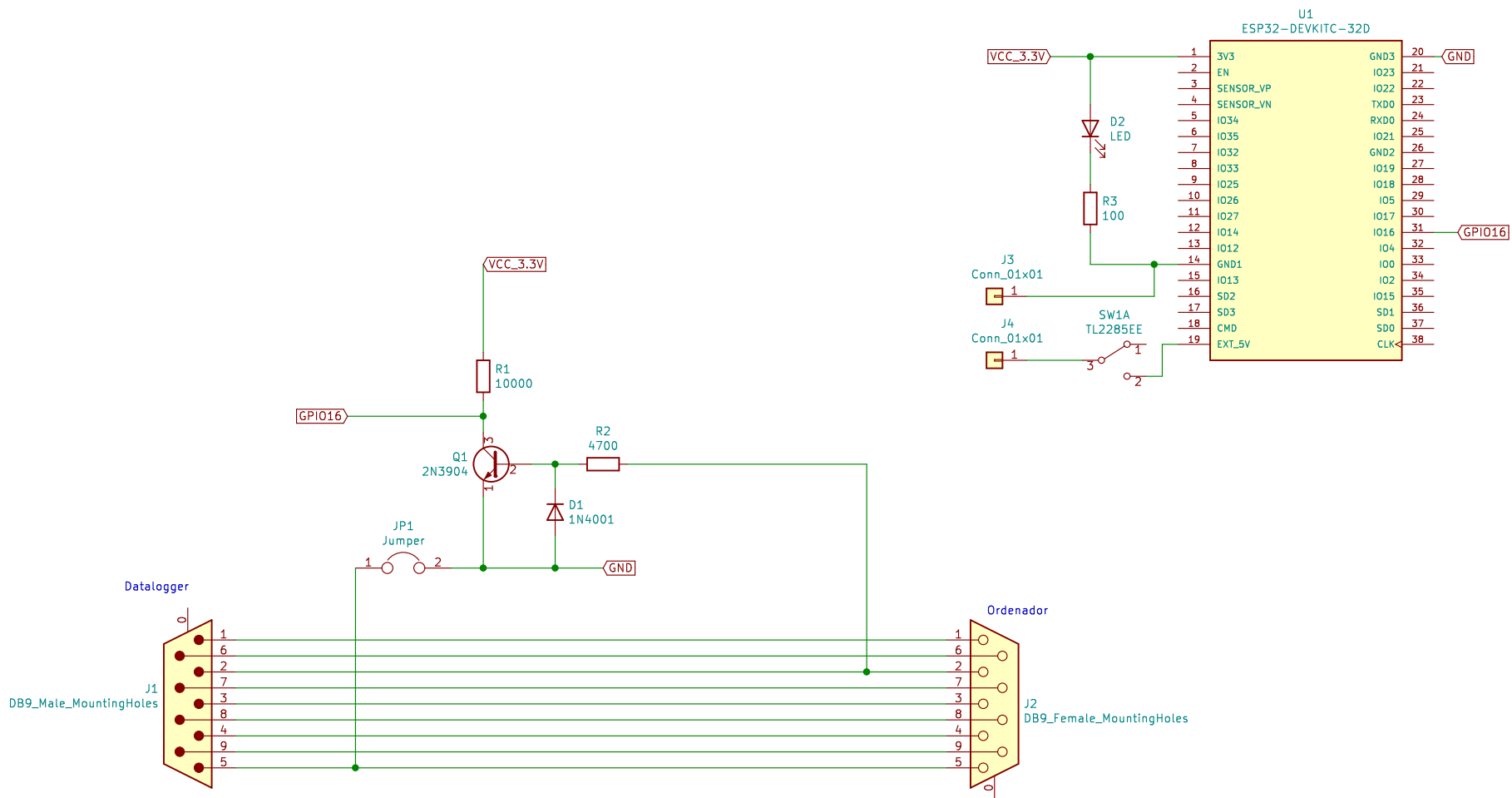


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	EnvolventeVisualizador	
2	1	CircuitoVisualizador	
3	1	BotonVisualizador	
4	1	TapaVisualizador	
5	1	Bateria	
6	1	TextoVisualizador	
7	4	Nut GB 809 A M3 x 8	Insert round nuts
8	4	EN ISO 7045 - M3 x 30 - 4.8 - H	Cabeza cilíndrica con cavidad cruzada de tipo H o Z. Productos de clase A

	<b>EII-UVa</b> Curso 2020/21		<b>Visualizador Termohigrógrafo con alarma</b>	
	Pieza:		<b>Vista explosionada visualizador</b>	
<b>Dibujado por:</b> Ricardo Alonso Fernández		Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática		
		Plano Nº: 7		



# ANEXOS III



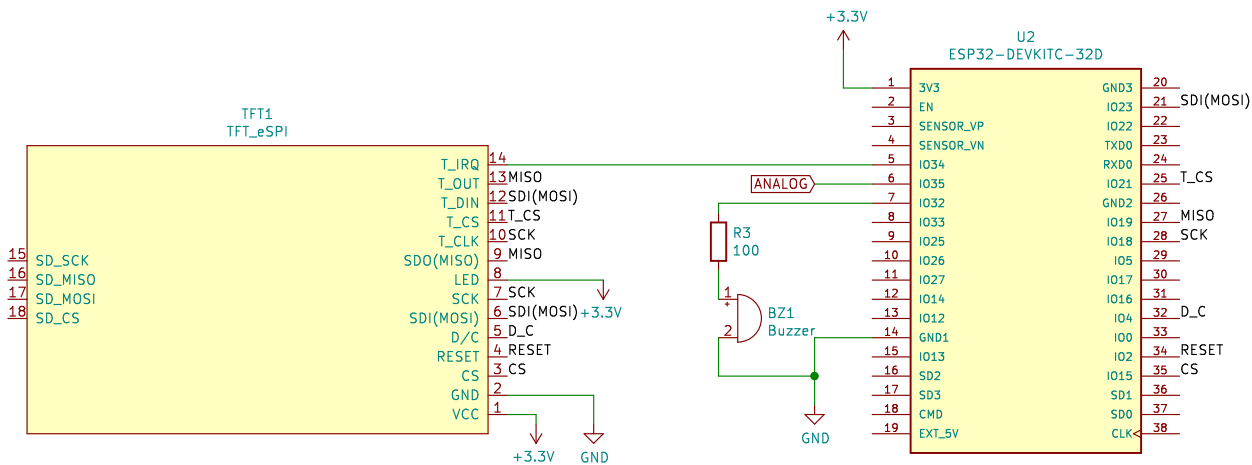
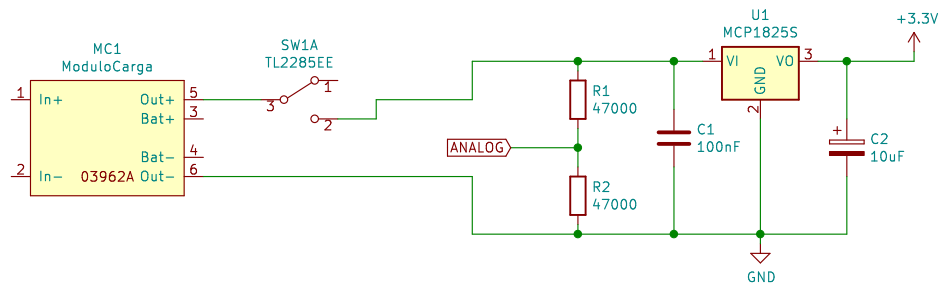
Visualizador Termohigrografo con alarma  
 Curso 2020/21  
 Ricardo Alonso Fernández  
 Trabajo Fin de Grado

Sheet: /  
 File: TFG.sch

**Title: Servidor TFG**

Size: A4      Date: 2021-07-11  
 KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1

Rev:  
 Id: 1/1



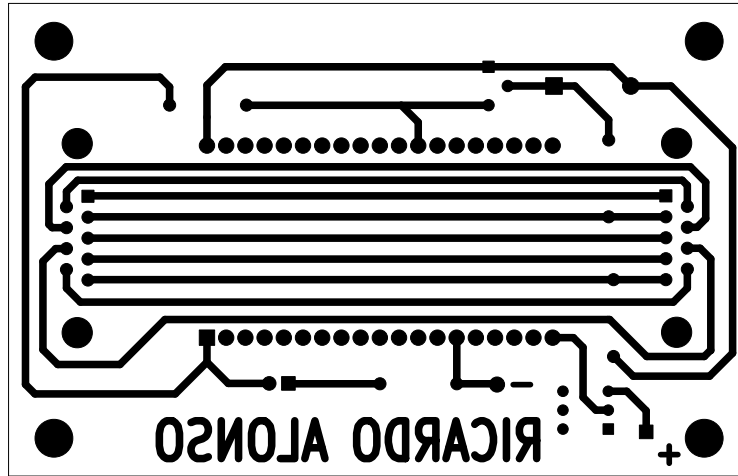
Visualizador Termohigrografo con alarma  
 Curso 2020/21  
 Ricardo Alonso Fernández  
 Trabajo Fin de Grado

Sheet: /  
 File: Circuito\_visualizador.sch

**Title: Circuito visualizador**

Size: A4 Date: 2021-07-11  
 KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1

Rev:  
 Id: 1/1



Visualizador Termohigrógrafo con alarma  
Curso 2020/21  
Ricardo Alonso Fernández  
Trabajo Fin de Grado

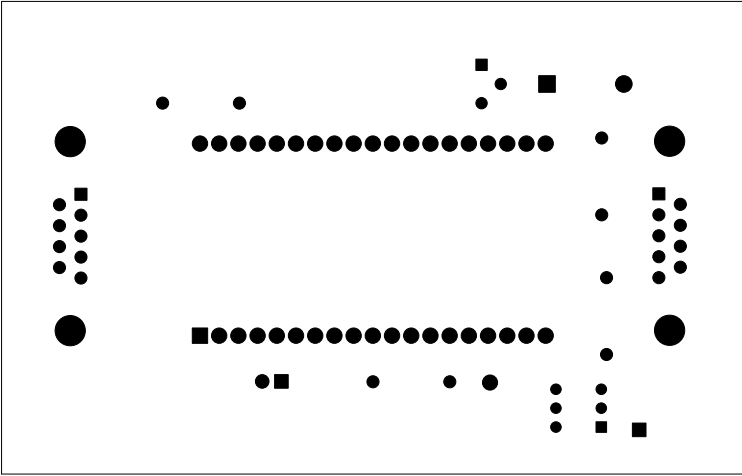
Sheet:  
File: TFG.kicad\_pcb

**Title: Circuito servidor**

Size: A4 Date: 2021-07-11

KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1

Rev:  
Id: 1/1



Visualizador Termohigrógrafo con alarma  
Curso 2020/21  
Ricardo Alonso Fernández  
Trabajo Fin de Grado

Sheet:  
File: TFG.kicad\_pcb

**Title: Circuito servidor**

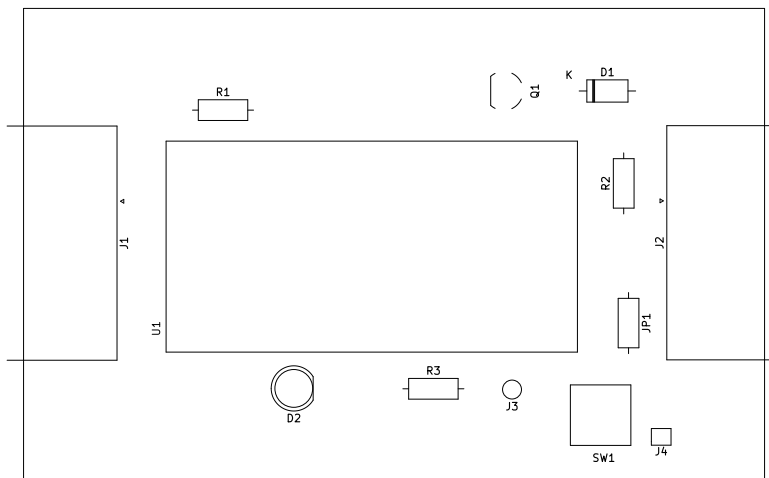
Size: A4 Date: 2021-07-11

KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1

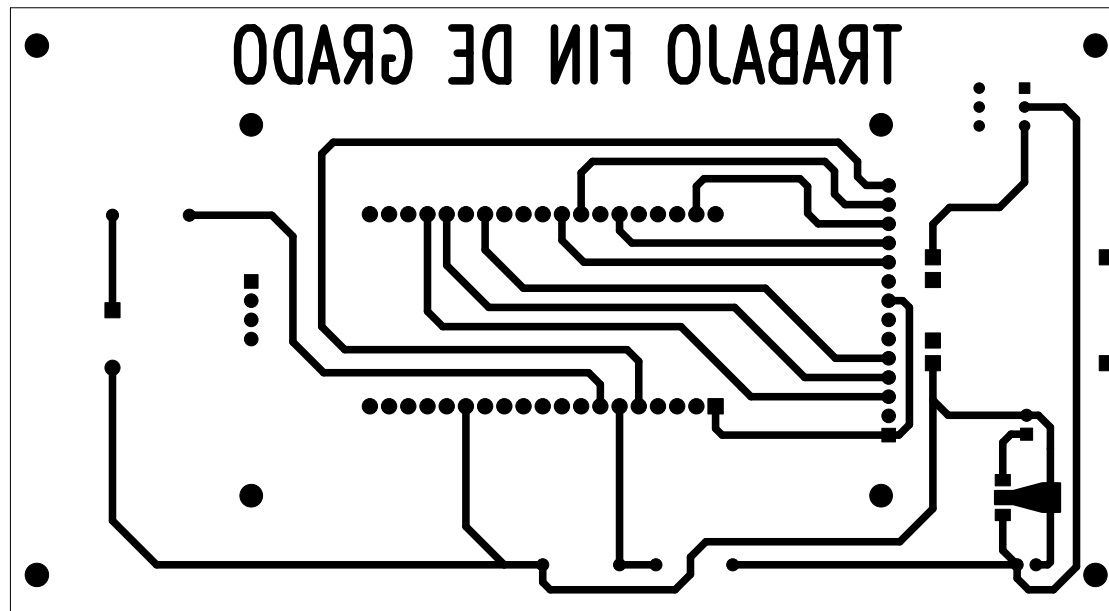
Rev:

Id: 1/1





Visualizador Termohigrógrafo con alarma	
Curso 2020/21	
Ricardo Alonso Fernández	
Trabajo Fin de Grado	
Sheet:	
File: TFG.kicad_pcb	
<b>Title: Circuito servidor</b>	
Size: A4	Date: 2021-07-11
KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1	Rev: Id: 1/1



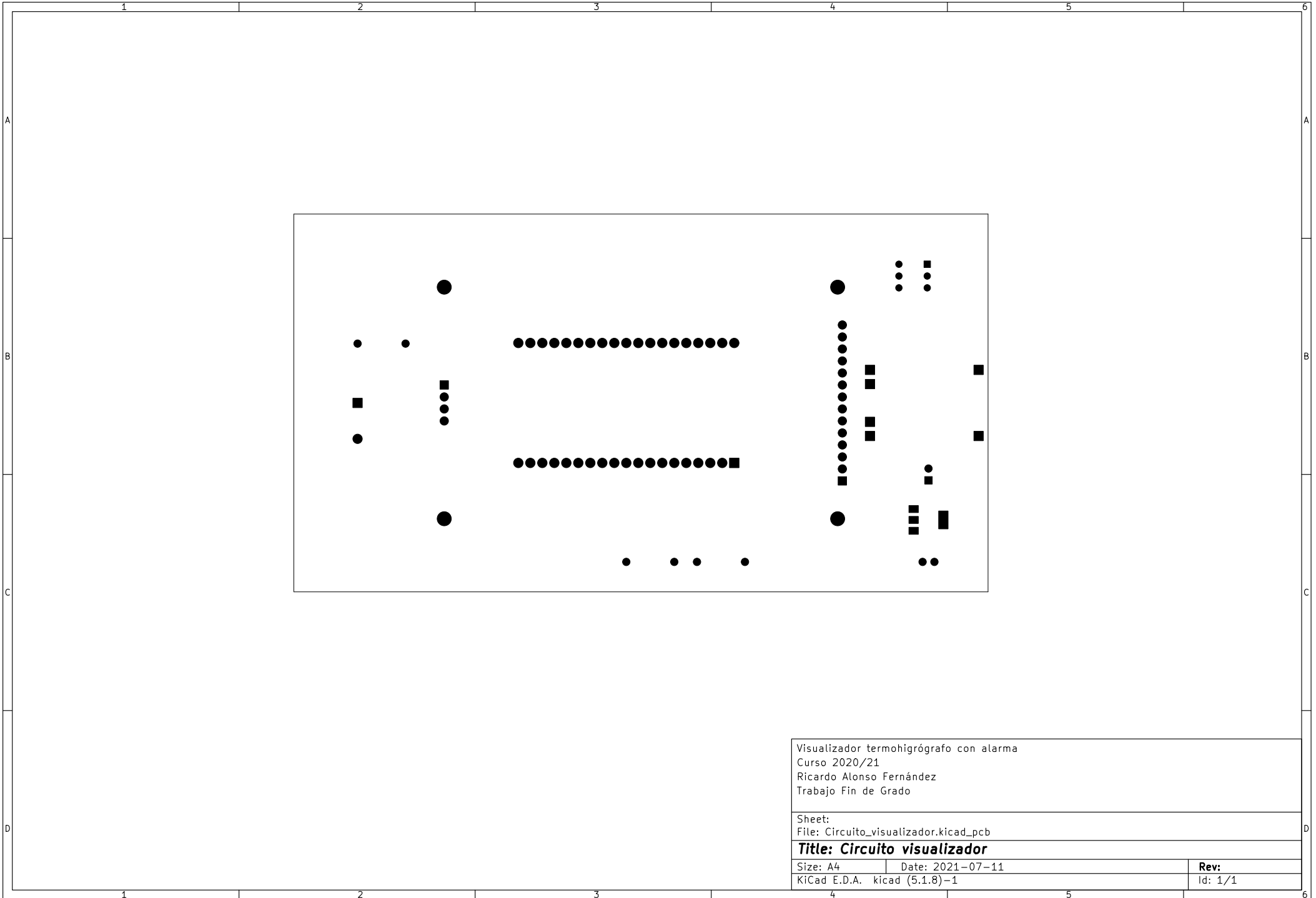
Visualizador termohigrógrafo con alarma  
Curso 2020/21  
Ricardo Alonso Fernández  
Trabajo Fin de Grado

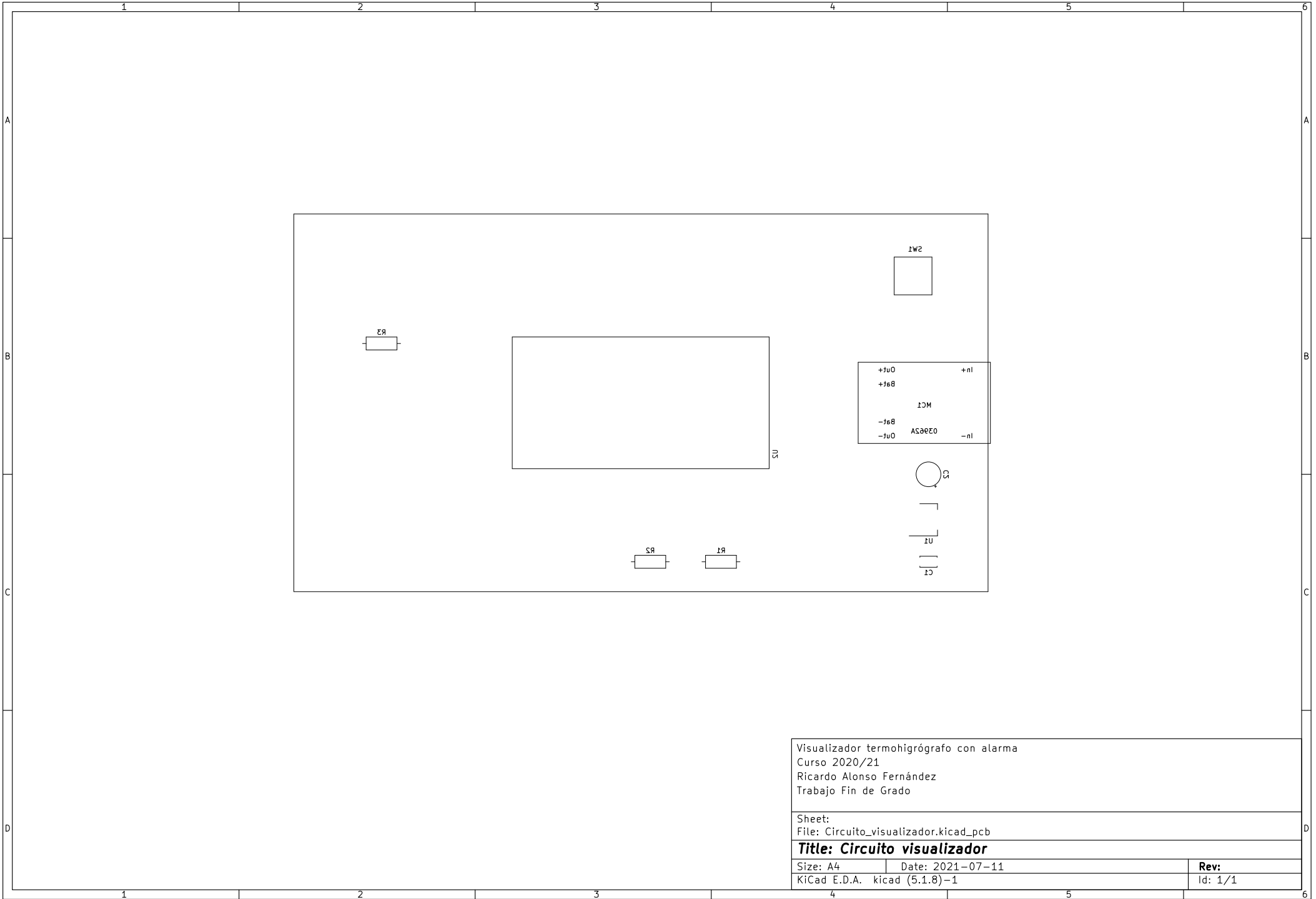
Sheet:  
File: Circuito\_visualizador.kicad\_pcb

**Title: Circuito visualizador**

Size: A4 Date: 2021-07-11  
KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1

Rev:  
Id: 1/1



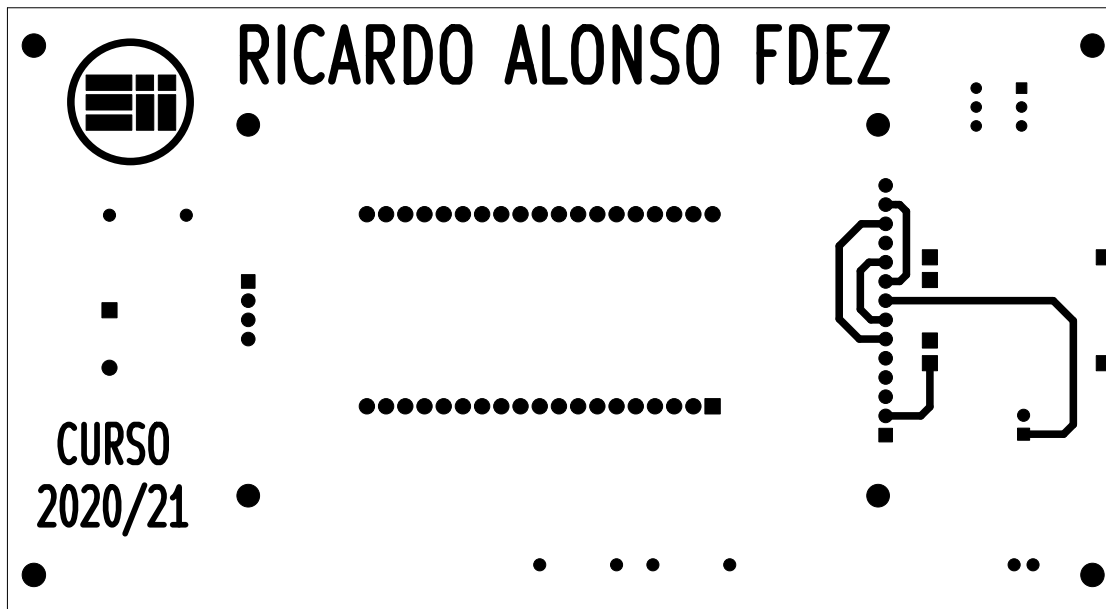


Visualizador termohigrógrafo con alarma  
 Curso 2020/21  
 Ricardo Alonso Fernández  
 Trabajo Fin de Grado

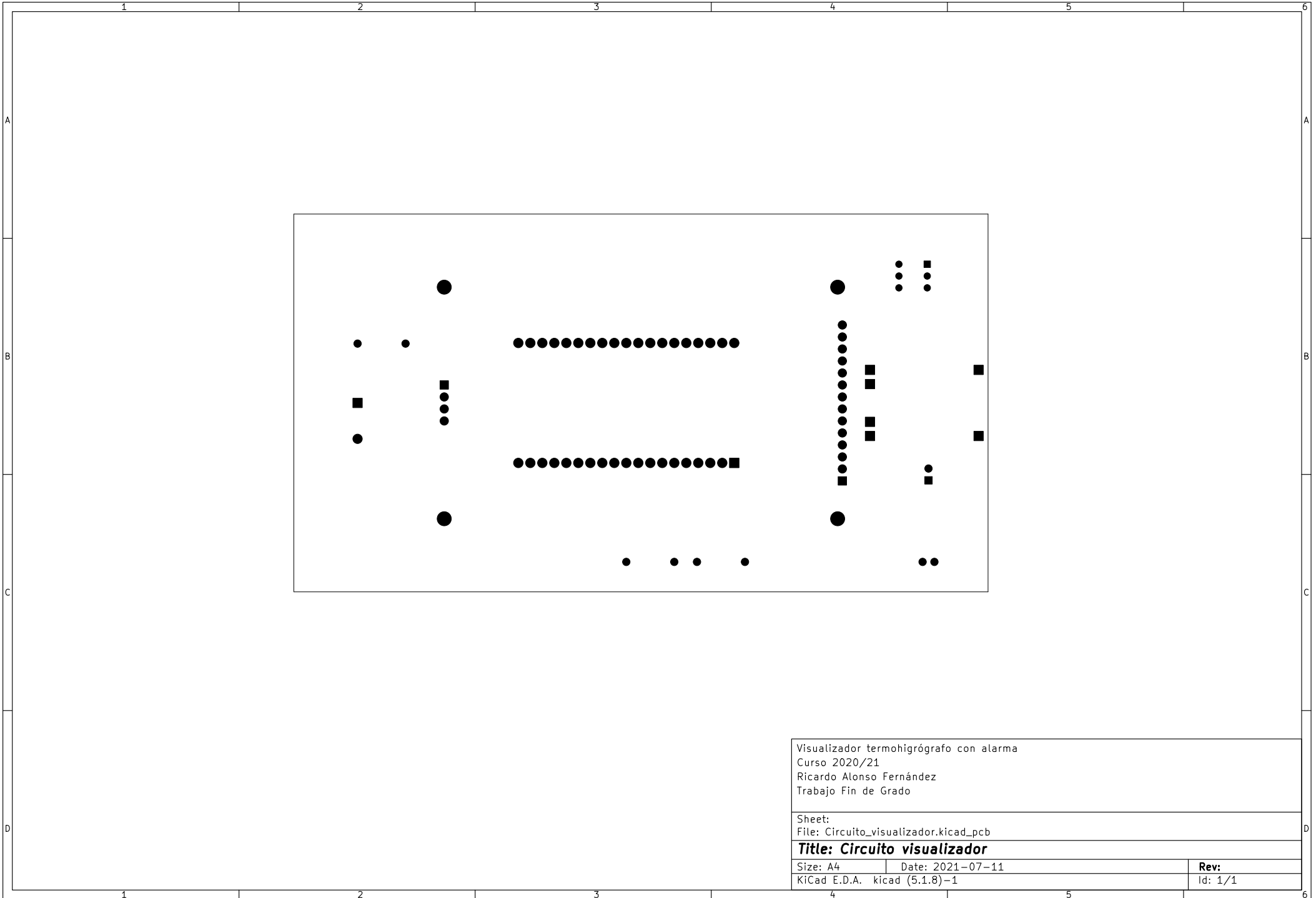
Sheet:  
 File: Circuito\_visualizador.kicad\_pcb

**Title: Circuito visualizador**

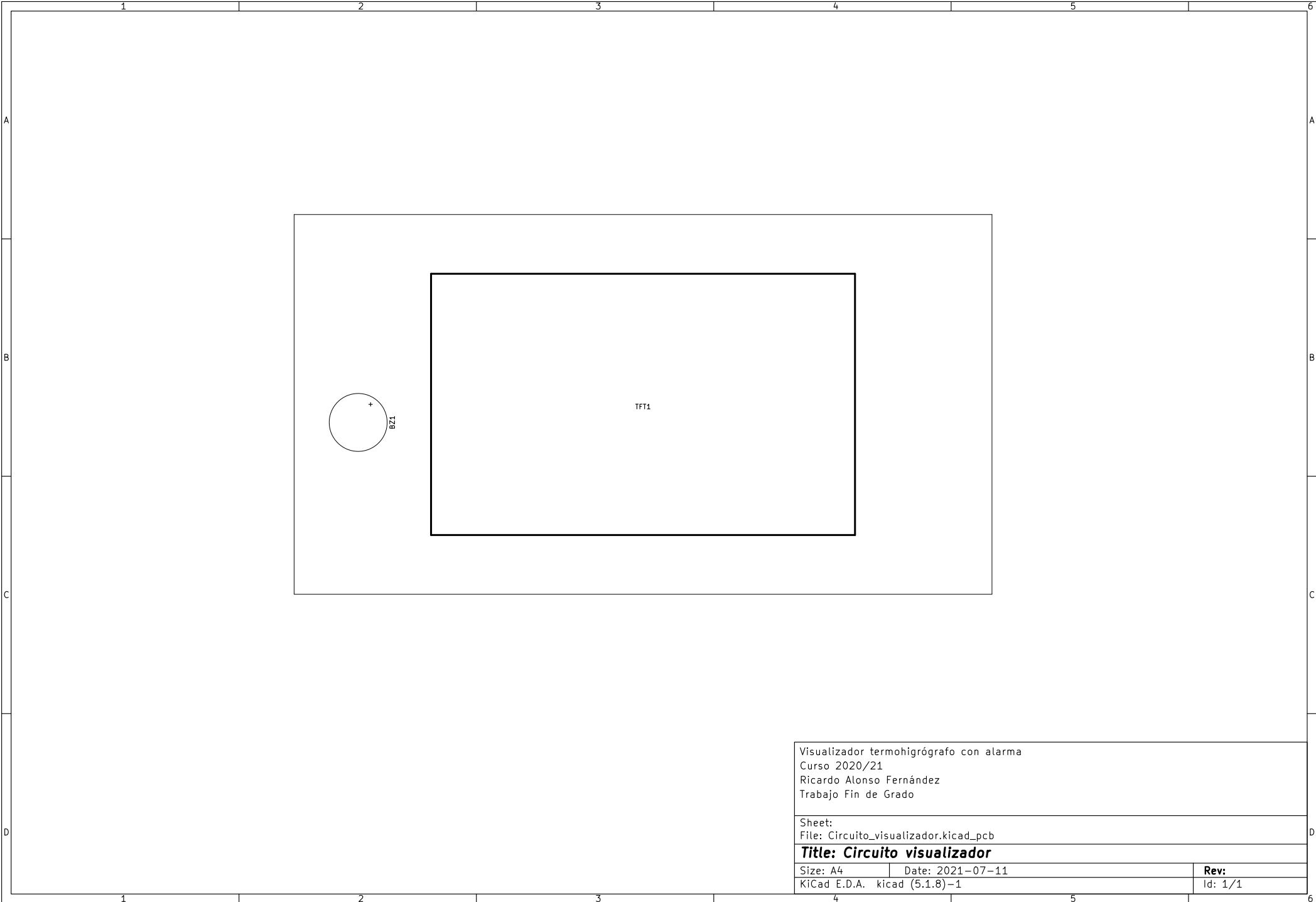
Size: A4	Date: 2021-07-11	Rev:
KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1		Id: 1/1



Visualizador termohigrógrafo con alarma	
Curso 2020/21	
Ricardo Alonso Fernández	
Trabajo Fin de Grado	
Sheet:	
File: Circuito_visualizador.kicad_pcb	
<b>Title: Circuito visualizador</b>	
Size: A4	Date: 2021-07-11
KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1	Rev: Id: 1/1



Visualizador termohigrógrafo con alarma	
Curso 2020/21	
Ricardo Alonso Fernández	
Trabajo Fin de Grado	
Sheet:	
File: Circuito_visualizador.kicad_pcb	
<b>Title: Circuito visualizador</b>	
Size: A4	Date: 2021-07-11
KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1	Rev: Id: 1/1



Visualizador termohigrógrafo con alarma  
Curso 2020/21  
Ricardo Alonso Fernández  
Trabajo Fin de Grado

Sheet:  
File: Circuito\_visualizador.kicad\_pcb

**Title: Circuito visualizador**

Size: A4	Date: 2021-07-11	Rev:
KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1		Id: 1/1



# ANEXOS IV



## Type LR Series

### Key Features

- Superior quality metal film resistors with 1% tolerance and temperature coefficients down to 50 ppm. 3 case sizes are available in 0.25, 0.6, 0.75W. The LR1L series is a low ohmic value range from 0.1 to 0.82 ohm. Ideally suited where low resistance and small size are required.
- Metal film resistors have excellent stability under load and severe environmental conditions. They exhibit very low noise current and voltage coefficients. They are available in a wide range of resistance values and are suitable for general purpose and precision applications.



The resistive element comprises a thin film of nickel-chrome alloy evaporated onto a high thermal conductivity ceramic element. Metal end caps are force fitted to the element prior to spiralling to value. Tinned copper lead wires are welded to the end caps and the components are then coated. One coat of phenolic resin is followed by three coats of epoxy resin. All resistors are tested for value and tolerance.

### Characteristics - Electrical

	LR0204		LR1L	LR1			LR2	LR100	LR200		
Rated Power @ 70°C (W)	0.25		0.5	0.6			0.75	1	2		
Resistance Range (Ohms)	Min	1R0	10R	R10	1R0	10R	1M1	1R0	10R	10R	
	Max	9R1	1M0	R82	9R1	1M0	10M	1M0	1M0	1M0	
Tolerance (%)	1	1	5	0.5	1	2	0.5	1	5	1	5
Code Letter	F	F	J	D	F	G	D	F	J	F	J
Temp. Coefficient (ppm/°C)	± 100	± 100	± 200	± 100	± 50	± 100	± 100	25/50/100	25/50/100		
Selection Series	E24	E24	E12	E24	E24	E24	E24	E24	E24		
On Request		E96			E96		E96	E96	E96		
Limiting Element Voltage	200		350	350			350	500	500		
Max Permitted Element Voltage	200		350	350			350	500	500		
Max Overload Voltage	400		500	700			700	1000	1000		
Max Intermittent Overload Voltage	500		750	750			750	1000	1000		
Operating Temp. Range (°C)	-55 to +155										
Climatic Category	55/155/56										
Dielectric Strength (V)	500	700	700	700	700	700	700	700			
Insulation Resistance Min Dry (Mohms)	1000										

## Type LR Series

### Dimensions



Style	L*	D	d Nom	l
LR0204	3.5 +/-0.2	2.0 max	0.45	28 +/-3.0
LR1	6.2 +/-0.5	2.3 +/-0.2	0.55	28 +/-3.0
LR1L	6.2 +/-0.5	2.3 +/-0.2	0.55	28 +/-3.0
LR2	9.7 +/-0.3	3.5 +/-0.2	0.55	28 +/-3.0
LR100	12.0 max	5.0 max	0.7	28 +/-3.0
LR200	12.0 max	5.5 max	0.7	28 +/-3.0

\* Length is measured in accordance with IEC 294.

### Power Derating Curve



### Surface Temperature Rise Vs Load



## Type LR Series

### Mounting

The resistors are suitable for processing on automatic insertion equipment and cutting and bending machines.

### Marking

The resistors are marked with a colour band code in accordance with JIS C 0802.

### Packaging

LR0204, LR1L and LR1 resistors are normally supplied taped in 'ammo' boxes of 4000 pieces.  
 LR2 resistors are normally supplied taped in 'ammo' boxes of 1000 pieces.  
 Other package styles on request.  
 All tape specifications are in accordance with IEC 286-1.

### Performance Characteristics

The evaluation of the performance characteristics is carried out with reference to IEC Specifications QC 400 000 and QC 400 100.

TEST REF	Long Term Tests $\pm(1\% + 0.05 \text{ ohm})$
4.23	Climatic sequence
4.24	Damp heat, steady state
4.25.1	Endurance at 70°C
4.25.3	Endurance at 125°C
TEST REF	Short Term Tests $\pm(0.25\% + 0.05 \text{ ohm})$
4.13	Overload
4.16	Robustness of terminations
4.18	Resistance to soldering heat
4.19	Rapid change of temperature
4.22	Vibration

\* For LR1L the limits are  $\pm(5\% + 0.1 \text{ ohm})$  and  $\pm(1\% + 0.05 \text{ ohm})$  respectively. All resistance values are measured at a distance of 12mm from the end cap.

### How to Order

LR	1	F	100R
Common Part	Style	Tolerance	Value
LR - Metal Film Fixed Resistor	0204 - 0.25W 1L - 0.5W 1 - 0.6W 2 - 0.75W 100 - 1W 200 - 2W	J - 5% G - 2% F - 1% D - 0.5%	100 ohm (100 ohms) 100R 1K0 (1000 ohms) 1K0 100 K ohm (100,000 ohms) 100K

TE Connectivity, TE connectivity (logo) and TE (logo) are trademarks.  
 Other logos, product and Company names mentioned herein may be trademarks of their respective owners.

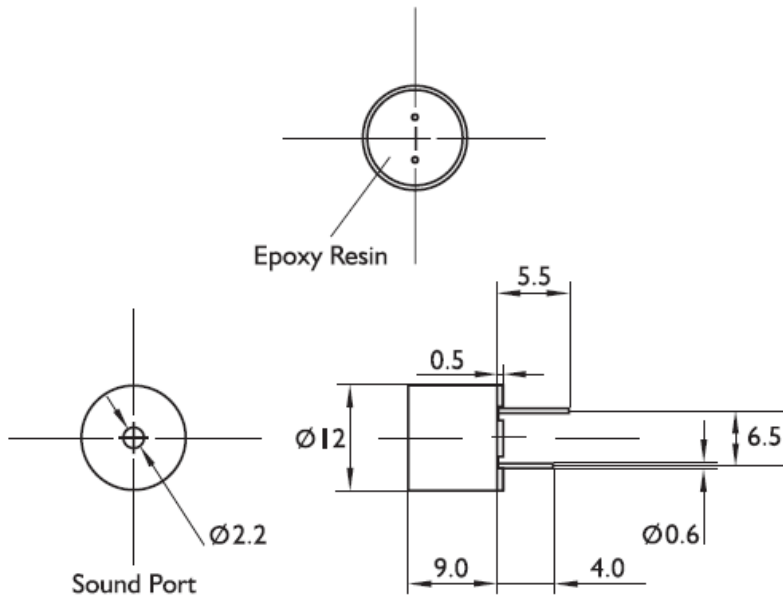
While TE has made every reasonable effort to ensure the accuracy of the information in this datasheet, TE does not guarantee that it is error-free, nor does TE make any other representation, warranty or guarantee that the information is accurate, correct, reliable or current. TE reserves the right to make any adjustments to the information contained herein at any time without notice. TE expressly disclaims all implied warranties regarding the information contained herein, including, but not limited to, any implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose. The dimensions in this datasheet are for reference purposes only and are subject to change without notice. Specifications are subject to change without notice. Consult TE for the latest dimensions and design specifications.

# Datasheet

## Electro Mechanical Buzzer

RS Stock number [780-0712](#)

### Dimensions(mm):



### Specifications:

Rated Voltage (Vp-p square wave):	5Vp-p
Operating Voltage:	3~8Vp-p
Rated Current at Rated Voltage:	$\leq 40\text{mA}$
Sound Output at 2731Hz at 10cm:	$\geq 85\text{dB}$
Resonant Frequency:	2400Hz
Coil Resistance:	$47 \pm 5\Omega$
Operating Temperature:	-20~ +70°C
Storage Temperature:	-30~ +85°C
Weight:	2g

Requires additional electronic circuitry to operate as a sounder

### Features:

- ROHS Compliant
- Sealed base

All data at 25°C unless otherwise specified



## Datasheet

# RS PRO CB Series Epoxy-coated Solid Electrolytic Tantalum Capacitor

EN



Article No.	Product description	Uf	Voltage	Pitch	Tolerance
1814615	Tantalum Capacitors dipped type	10	50	5.0	20
1814613	Tantalum Capacitors dipped type	6.8	50	5.0	20
1814612	Tantalum Capacitors dipped type	4.7	50	2.5	20
1814611	Tantalum Capacitors dipped type	3.3	50	2.5	20
1814610	Tantalum Capacitors dipped type	2.2	50	2.5	20
1814609	Tantalum Capacitors dipped type	1.5	50	2.5	20
1814607	Tantalum Capacitors dipped type	1	50	2.5	20
1814606	Tantalum Capacitors dipped type	0.7	50	2.5	20
1814605	Tantalum Capacitors dipped type	0.5	50	2.5	20
1814604	Tantalum Capacitors dipped type	0.3	50	2.5	20
1814603	Tantalum Capacitors dipped type	0.2	50	2.5	20
1814602	Tantalum Capacitors dipped type	0.1	50	2.5	20
1814601	Tantalum Capacitors dipped type	47	35	5.0	20
1814600	Tantalum Capacitors dipped type	33	35	5.0	20
1814599	Tantalum Capacitors dipped type	22	35	5.0	20
1814598	Tantalum Capacitors dipped type	15	35	5.0	20
1814597	Tantalum Capacitors dipped type	10	35	2.5	20
1814596	Tantalum Capacitors dipped type	6.8	35	2.5	20
1814595	Tantalum Capacitors dipped type	4.7	35	2.5	20
1814594	Tantalum Capacitors dipped type	3.3	35	2.5	20
1814593	Tantalum Capacitors dipped type	2.2	35	2.5	20
1814592	Tantalum Capacitors dipped type	1.5	35	2.5	20
1814590	Tantalum Capacitors dipped type	1	35	2.5	20
1814589	Tantalum Capacitors dipped type	0.7	35	2.5	20
1814588	Tantalum Capacitors dipped type	0.5	35	2.5	20
1814587	Tantalum Capacitors dipped type	0.3	35	2.5	20
1814586	Tantalum Capacitors dipped type	0.2	35	2.5	20
1814584	Tantalum Capacitors dipped type	0.2	35	2.5	20
1814583	Tantalum Capacitors dipped type	0.1	35	2.5	20
1814582	Tantalum Capacitors dipped type	100	25	5.0	20
1814581	Tantalum Capacitors dipped type	68	25	5.0	20
1814580	Tantalum Capacitors dipped type	47	25	5.0	20
1814578	Tantalum Capacitors dipped type	33	25	5.0	20
1814577	Tantalum Capacitors dipped type	22	25	2.5	20
1814576	Tantalum Capacitors dipped type	15	25	2.5	20
1814575	Tantalum Capacitors dipped type	10	25	2.5	20
1814574	Tantalum Capacitors dipped type	6.8	25	2.5	20

Article No.	Product description	Uf	Voltage	Pitch	Tolerance
1814573	Tantalum Capacitors dipped type	4.7	25	2.5	20
1814572	Tantalum Capacitors dipped type	3.3	25	2.5	20
1814571	Tantalum Capacitors dipped type	2.2	25	2.5	20
1814570	Tantalum Capacitors dipped type	1.5	25	2.5	20
1814569	Tantalum Capacitors dipped type	1	25	2.5	20
1814568	Tantalum Capacitors dipped type	150	16	5.0	20
1814567	Tantalum Capacitors dipped type	100	16	5.0	20
1814566	Tantalum Capacitors dipped type	68	16	5.0	20
1814565	Tantalum Capacitors dipped type	47	16	2.5	20
1814564	Tantalum Capacitors dipped type	33	16	2.5	20
1814562	Tantalum Capacitors dipped type	22	16	2.5	20
1814561	Tantalum Capacitors dipped type	15	16	2.5	20
1814560	Tantalum Capacitors dipped type	10	16	2.5	20
1814559	Tantalum Capacitors dipped type	6.8	16	2.5	20
1814558	Tantalum Capacitors dipped type	4.7	16	2.5	20
1814556	Tantalum Capacitors dipped type	3.3	16	2.5	20
1814555	Tantalum Capacitors dipped type	2.2	16	2.5	20
1814554	Tantalum Capacitors dipped type	220	10	5.0	20
1814553	Tantalum Capacitors dipped type	150	10	5.0	20
1814552	Tantalum Capacitors dipped type	100	10	5.0	20
1814551	Tantalum Capacitors dipped type	68	10	2.5	20
1814550	Tantalum Capacitors dipped type	47	10	2.5	20
1814549	Tantalum Capacitors dipped type	33	10	2.5	20
1814548	Tantalum Capacitors dipped type	22	10	2.5	20
1814547	Tantalum Capacitors dipped type	15	10	2.5	20
1814546	Tantalum Capacitors dipped type	10	10	2.5	20
1814545	Tantalum Capacitors dipped type	6.8	10	2.5	20
1814544	Tantalum Capacitors dipped type	4.7	10	2.5	20
1814543	Tantalum Capacitors dipped type	220	6.3	5.0	20
1814542	Tantalum Capacitors dipped type	150	6.3	5.0	20
1814540	Tantalum Capacitors dipped type	100	6.3	5.0	20
1814539	Tantalum Capacitors dipped type	68	6.3	2.5	20
1814538	Tantalum Capacitors dipped type	47	6.3	2.5	20
1814537	Tantalum Capacitors dipped type	33	6.3	2.5	20
1814536	Tantalum Capacitors dipped type	22	6.3	2.5	20
1814534	Tantalum Capacitors dipped type	15	6.3	2.5	20
1814533	Tantalum Capacitors dipped type	10	6.3	2.5	20

Article No.	Product description	Uf	Voltage	Pitch	Tolerance
1814532	Tantalum Capacitors dipped type	6.8	6.3	2.5	20
1814531	Tantalum Capacitors dipped type	4.7	6.3	2.5	20

## 1. Technical Specification

table I

Nominal cap. Range	0.047~680 $\mu$ F								
capacitance tolerance	$\pm 20\%$ $\pm 10\%$ $\pm 5\%$ (Special order)								
(V) Rated voltage	3	4	6.3	10	16	20	25	35	50
(V) Derating Voltage $\leq +125^{\circ}\text{C}$	2	2.5	4	6.3	10	13	16	20	32
(V) Surge voltage $\leq +85^{\circ}\text{C}$	4	5.2	8	13	20	26	33	46	65
Temperature range	$-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$								
Leakage Current (DCL)	$0.01C_R V_R$ or $0.5\mu\text{A}$ (whichever is greater)								
Dissipation Factor (DF)	$\leq 1.0\mu\text{F} : \leq 0.04$ $1.5 \sim 6.8\mu\text{F} : \leq 0.06$ $10 \sim 68\mu\text{F} : \leq 0.08$ $100 \sim 680\mu\text{F} : \leq 0.1$								
The life test	1000Hr								

Note : 1. Leakage Current test condition: Series protective resistor:  $1000\Omega$  , Measuring voltage: rated voltage , Measuring time : 1 minutes

2. Capacitance, Dissipation Factor test condition: Measurement circuit: Equivalent series circuit , Measuring frequency :  $120\text{Hz} \pm 10\%$  , Measuring voltage max. :  $0.5V_{\text{rms}}, +1.5V_{\text{dc}}$ .

## 2. Temperature Characteristic

Table II

Cap. ( $\mu\text{F}$ )	Change in cap. (%)			DF max. (%)				DCL max. ( $\mu\text{A}$ )		
	$-55^{\circ}\text{C}$	$+85^{\circ}\text{C}$	$+125^{\circ}\text{C}$	$-55^{\circ}\text{C}$	$+20^{\circ}\text{C}$	$+85^{\circ}\text{C}$	$+125^{\circ}\text{C}$	$+20^{\circ}\text{C}$	$+85^{\circ}\text{C}$	$+125^{\circ}\text{C}$
$\leq 1.0$	$\pm 10$	$\pm 15$	$\pm 25$	6	4	6	6	$I_o = 0.01C_R V_R$ $0.5\mu\text{A}$ ( whichever is greater)	10 $I_o$	12.5 $I_o$
1.5~6.8				8	6	8	8			
10~68				10	8	10	10			
100~680				12	10	12	12			

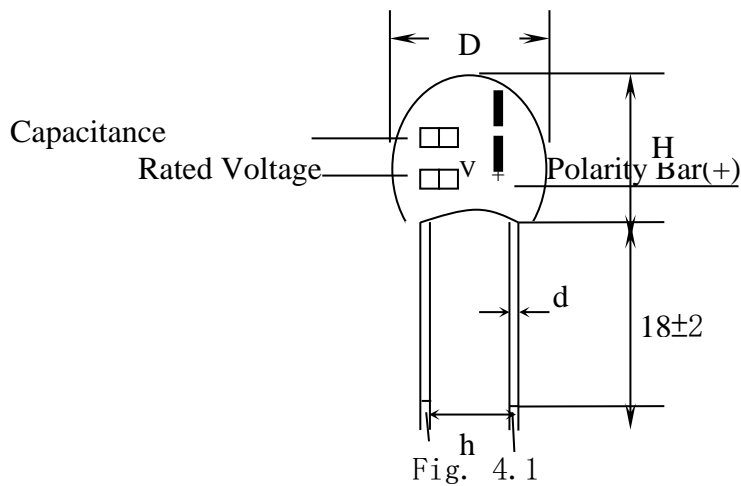


### 3. Appearance & Dimensions

#### 4.1 Appearance & Dimensions (Fig. 4.1)

**Table III**  
(unit : mm)

case size	$D_{MAX.}$	$H_{MAX.}$	$h(\pm 0.5mm)$	$d(\pm 0.05mm)$
A	4.5	7.0	2.5	0.5
B	5.0	8.0	2.5	0.5
C	5.5	9.5	2.5	0.5
D	6.5	11.0	2.5	0.5
E	8.5	13.0	5.0	0.5
F	9.5	16.5	5.0	0.5



(other lead styles are available)

### 4. Marking

Fig. 4.1 , capacitance, DC voltage and polarity are laser marked on the capacitor body.

## 5. The Range of the Capacitance and Case

( letter expresses case ) table IV

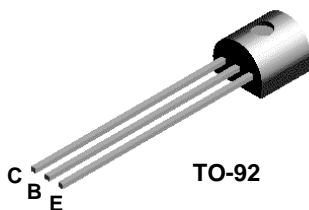
capacitance ( $\mu\text{F}$ )	Rated voltage								
	3 V	4V	6.3 V	10 V	16V	20V	25V	35V	50V
0.1								A	A
0.15								A	A
0.22								A	A
0.33								A	A
0.47								A	A
0.68								A	A
1.0					A	A	A	A	B
1.5					A	A	A	A	C
2.2				A	A	A	A	B	C
3.3			A	A	A	B	B	B	D
4.7	A	A	A	A	B	B	B	C	D
6.8	A	A	A	B	B	C	C	D	E
10	A	A	B	B	B	C	C	D	E
15	A	A	B	C	C	D	D	E	F
22	B	B	C	C	C	D	D	E	F
33	B	B	C	D	D	E	E	F	
47	C	C	D	D	D	E	E	F	
68	D	D	D	D	E	F	F		
100	D	D	E	E	E	F	F		
150	D	E	E	E	F				
220	E	E	E	F					
330	E	F	F						
470	F								
680	F								

## 6. Reliable Performance

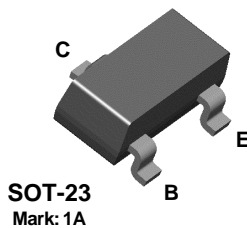
Items	Performance Characteristics		Conditions of test	
(1) Characteristics at high and low temperature	Step	Performance characteristics	Step    Temperature    Duration	
	2	Change in cap.	See table II	1:    +20±2    —
		Dissipation Factor(DF)		2:    -55±3    30min
	3	Change in cap.		3:    +85±2    30min
		Dissipation Factor(DF)		4:    +125±2    30min
		Leakage current		
	4	Change in cap.		
		Dissipation Factor(DF)		
		Leakage current		
	(2) Surge test	Change in cap.		Relative to the Value before test ±10%
Dissipation Factor (DF)		See table II DF max		
Leakage current		See table II DCL max		
Appearance		There shall be no such mechanical damage		
(3) Resistance to soldering heat	Appearance	No visible damage The marking shall be legible.	Test method Solder temperature: 260±5°C Dip duration : 5±0.5s	
(4) Solderability	A new uniform coating of solder shall cover the surface being immersed		Test method Solder temperature: 235±5°C Dip duration: 2±0.5s	

(5) Vibration	Appearance	No visible damage	The entire frequency range: 10 to 55Hz Amplitude: 0.35mm Duration: 3×0.5h
(6) Damp heat	Change in cap.	±12% Relative to value before test ±12%	Test temp: 40±2°C Humidity: 90-95%R.H Test time: 10天10 days  No voltage applied Recovery: 1-2h
	Dissipation Factor (DF)	See table II DF max	
	Leakage current	See table II DCL max	
	Appearance	No visible damage The marking shall be legible	
(7) Electrical endurance	Change in cap.	±10% Relative to value before test ±10%	1. Test temp: 85°C±2°C Test time: 1000 hours Voltage: Rated voltage 2. Test temp: 125°C±2°C Test time: 1000 hours Voltage: Derated voltage Recovery: 16h  ( R.V. ) Measuring voltage: ( D.V. ) Derated voltage]
	Dissipation Factor(DF)	See table II DF max	
	Leakage current	×1.25 See table II DCL max×1.25	
	Appearance	No visible damage The marking shall be legible	

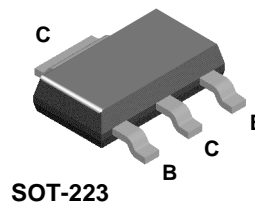
## 2N3904



## MMBT3904



## PZT3904



### NPN General Purpose Amplifier

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.

#### Absolute Maximum Ratings\*

$T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage	40	V
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	60	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	6.0	V
$I_C$	Collector Current - Continuous	200	mA
$T_J, T_{stg}$	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

#### NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

#### Thermal Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
$P_D$	Total Device Dissipation Derate above $25^\circ\text{C}$	625	350	1,000	mW
		5.0	2.8	8.0	mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

\*\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6 cm<sup>2</sup>.

# NPN General Purpose Amplifier

(continued)

## Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
$I_{BL}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, V_{EB} = 3\text{ V}$		50	nA
$I_{CEX}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{ V}, V_{EB} = 3\text{ V}$		50	nA

## ON CHARACTERISTICS\*

$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 1.0\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 50\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$ $I_C = 100\text{ mA}, V_{CE} = 1.0\text{ V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 1.0\text{ mA}$ $I_C = 50\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}, I_B = 1.0\text{ mA}$ $I_C = 50\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$	0.65	0.85 0.95	V V

## SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10\text{ mA}, V_{CE} = 20\text{ V}, f = 100\text{ MHz}$	300		MHz
$C_{obo}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0\text{ V}, I_E = 0, f = 1.0\text{ MHz}$		4.0	pF
$C_{ibo}$	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{ V}, I_C = 0, f = 1.0\text{ MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}, V_{CE} = 5.0\text{ V}, R_S = 1.0\text{ k}\Omega, f = 10\text{ Hz to }15.7\text{ kHz}$		5.0	dB

## SWITCHING CHARACTERISTICS

$t_d$	Delay Time	$V_{CC} = 3.0\text{ V}, V_{BE} = 0.5\text{ V},$		35	ns
$t_r$	Rise Time	$I_C = 10\text{ mA}, I_{B1} = 1.0\text{ mA}$		35	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CC} = 3.0\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$		200	ns
$t_f$	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{ mA}$		50	ns

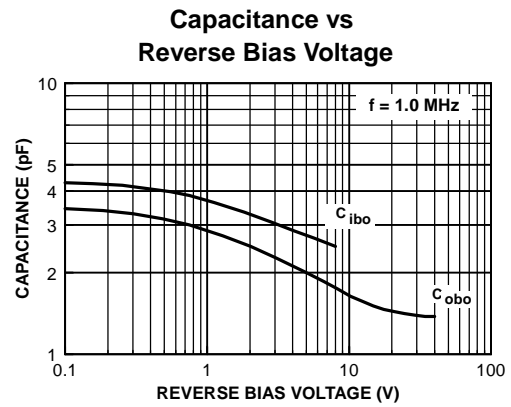
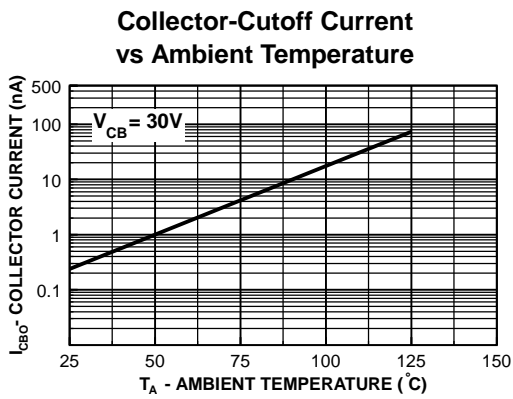
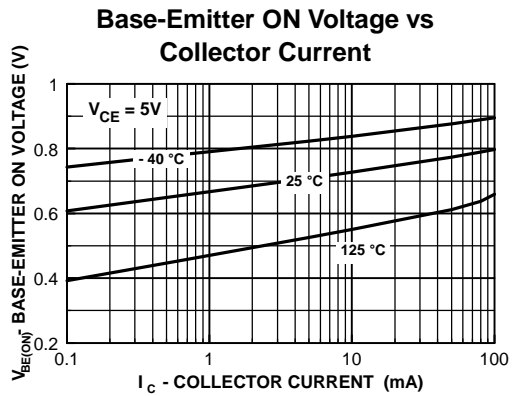
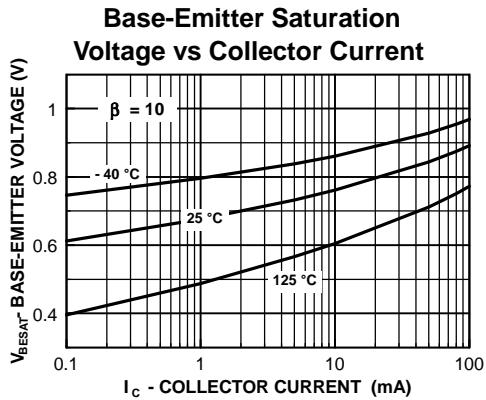
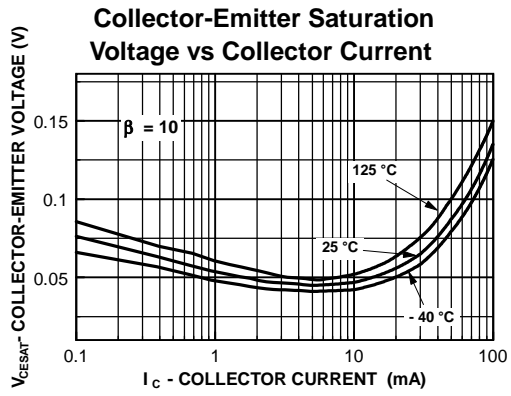
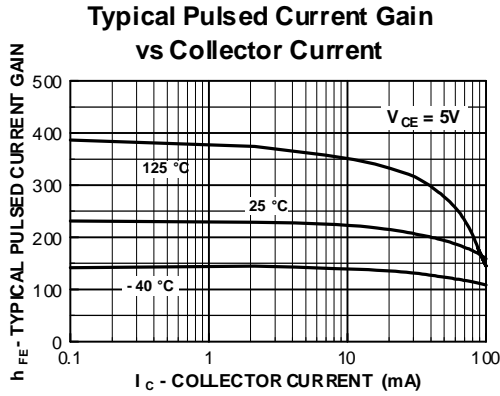
\*Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$

## Spice Model

NPN (Is=6.734f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=74.03 Bf=416.4 Ne=1.259 Ise=6.734 Ikf=66.78m Xtb=1.5 Br=.7371 Nc=2 Isc=0 Ikr=0 Rc=1 Cjc=3.638p Mjc=.3085 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=4.493p Mje=.2593 Vje=.75 Tr=239.5n Tf=301.2p Itf=.4 Vtf=4 Xtf=2 Rb=10)

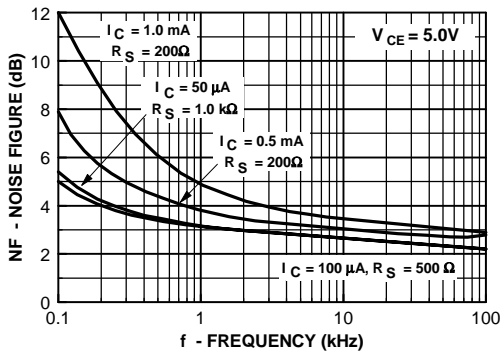
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904

Typical Characteristics

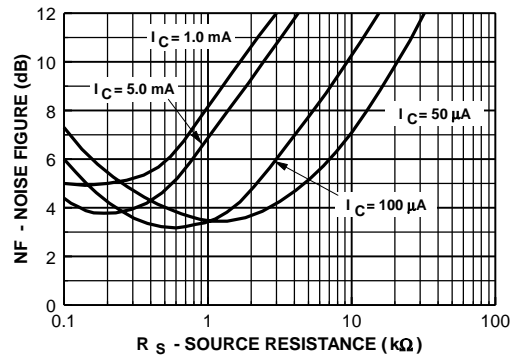


Typical Characteristics (continued)

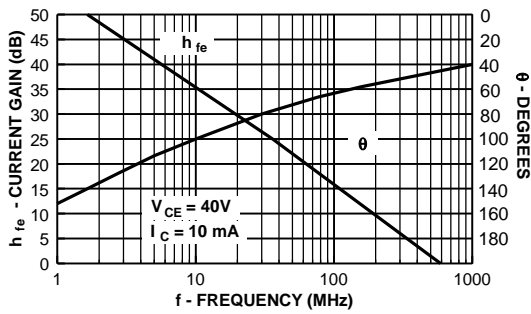
Noise Figure vs Frequency



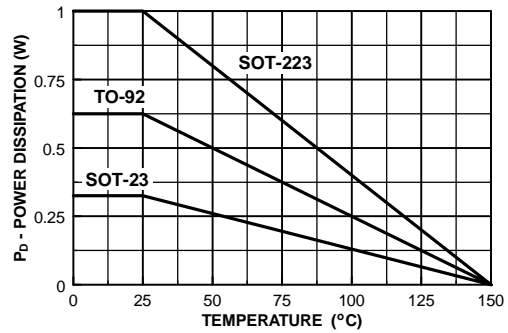
Noise Figure vs Source Resistance



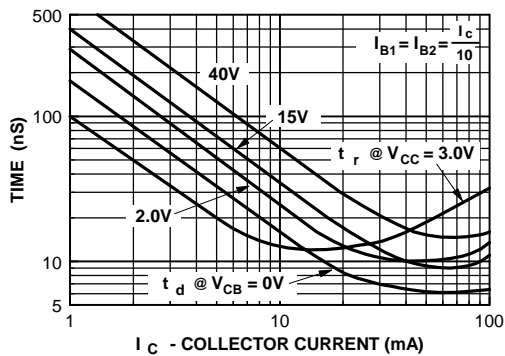
Current Gain and Phase Angle vs Frequency



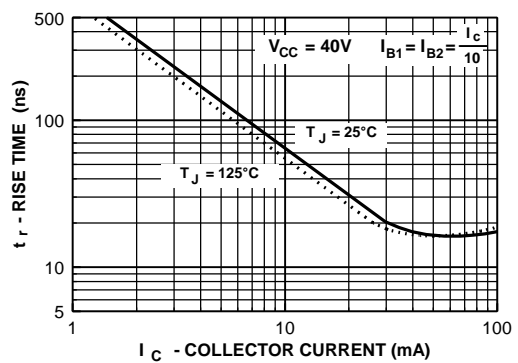
Power Dissipation vs Ambient Temperature



Turn-On Time vs Collector Current



Rise Time vs Collector Current





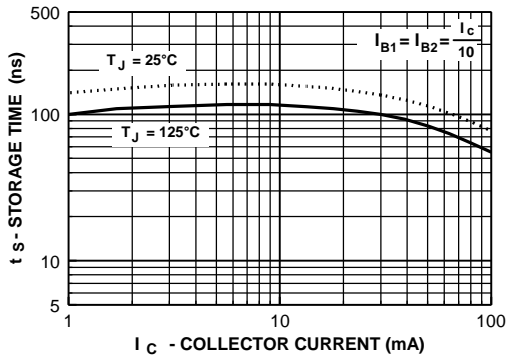
# NPN General Purpose Amplifier

(continued)

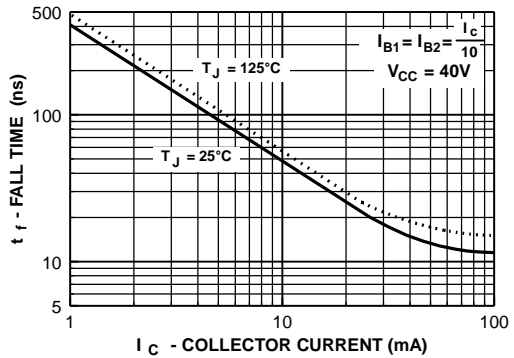
2N3904 / MMBT3904 / PZT3904

## Typical Characteristics (continued)

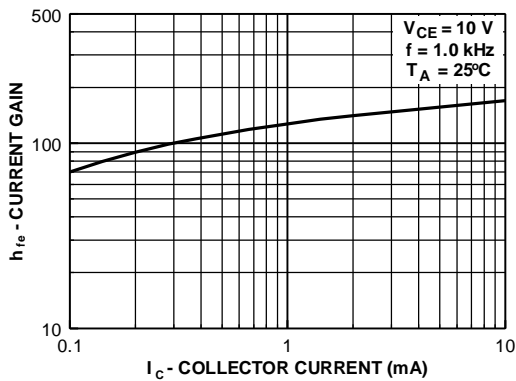
### Storage Time vs Collector Current



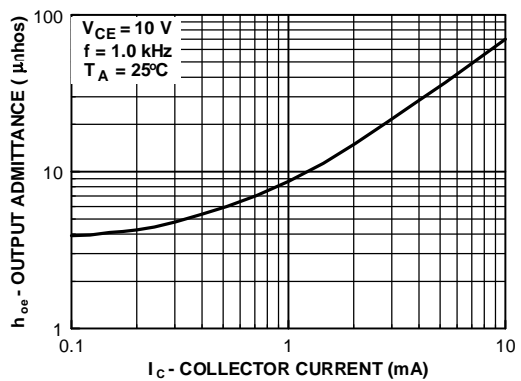
### Fall Time vs Collector Current



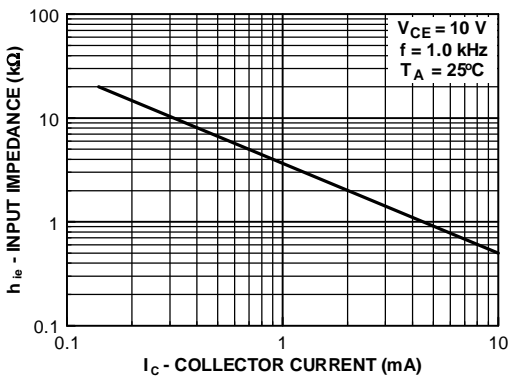
### Current Gain



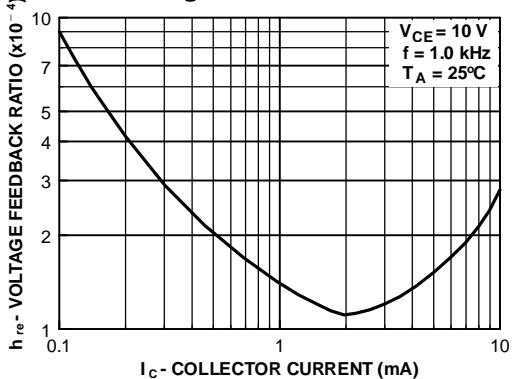
### Output Admittance



### Input Impedance



### Voltage Feedback Ratio



Test Circuits

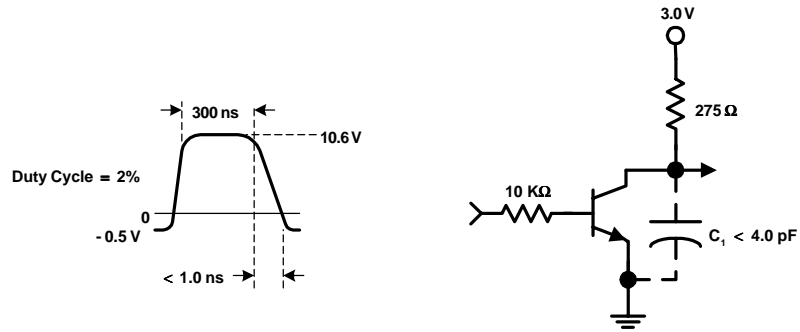


FIGURE 1: Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

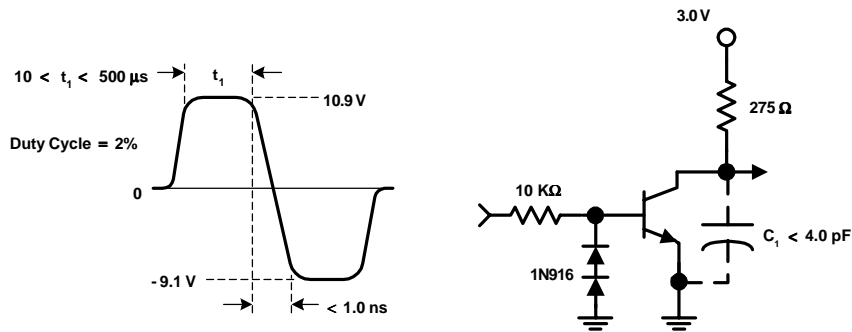


FIGURE 2: Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

## TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE <sup>x</sup> <sup>TM</sup>	FAST <sup>r</sup> <sup>TM</sup>	PowerTrench <sup>®</sup>	SyncFET <sup>TM</sup>
Bottomless <sup>TM</sup>	GlobalOptoisolator <sup>TM</sup>	QFET <sup>TM</sup>	TinyLogic <sup>TM</sup>
CoolFET <sup>TM</sup>	GTO <sup>TM</sup>	QS <sup>TM</sup>	UHC <sup>TM</sup>
CROSSVOLT <sup>TM</sup>	HiSeC <sup>TM</sup>	QT Optoelectronics <sup>TM</sup>	VCX <sup>TM</sup>
DOME <sup>TM</sup>	ISOPLANAR <sup>TM</sup>	Quiet Series <sup>TM</sup>	
E <sup>2</sup> CMOS <sup>TM</sup>	MICROWIRE <sup>TM</sup>	SILENT SWITCHER <sup>®</sup>	
EnSigna <sup>TM</sup>	OPTOLOGIC <sup>TM</sup>	SMART START <sup>TM</sup>	
FACT <sup>TM</sup>	OPTOPLANAR <sup>TM</sup>	SuperSOT <sup>TM</sup> -3	
FACT Quiet Series <sup>TM</sup>	PACMAN <sup>TM</sup>	SuperSOT <sup>TM</sup> -6	
FAST <sup>®</sup>	POP <sup>TM</sup>	SuperSOT <sup>TM</sup> -8	

## DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

## LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

## PRODUCT STATUS DEFINITIONS

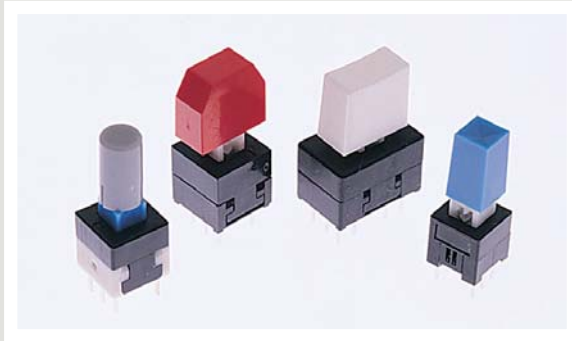
### Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.



# SERIES TL 2201 SWITCHES

## PUSHBUTTON SWITCHES - SUB MINIATURE



### SPECIFICATIONS

Contact Rating:	100mA@30 VDC
Life Expectancy:	10,000 cycles
Contact Resistance:	100mΩ max.
Insulation Resistance:	100MΩ min.
Dielectric Strength:	500 VAC
Actuation Force:	See individual model
Travel:	See individual model

### MATERIALS

Housing:	PBT
Actuator:	Acetal
Cover:	Acetal
Contacts:	Silver plated phosphor bronze
Terminals:	Silver plated copper alloy
Spring:	Stainless steel
Latching Pin:	Stainless steel

### FEATURES & BENEFITS

- ▶ Momentary & latching designs
- ▶ Long travel

### APPLICATIONS/MARKETS

- ▶ Telecommunications
- ▶ Networking
- ▶ Computers/servers
- ▶ Performance audio
- ▶ Instrumentation
- ▶ Low power on/off designs
- ▶ External hard drives and modems



### HOW TO ORDER

SERIES	MODEL NO.	MECHANICAL CONFIGURATION	ACTUATOR ("L" Dimension)	TERMINATION	CAP (Where Avail.)	CAP COLOR
TL	2230 2285	EE = Latching OA = Momentary	(None) = Std.	(None) = Std.	See Cap Section	
TL	2201 = DPDT 4201 = 4PDT	EE = Latching OA = Momentary	X Y Z	A B	See Cap Section	
	2202* 2203	EE = Latching OA = Momentary				



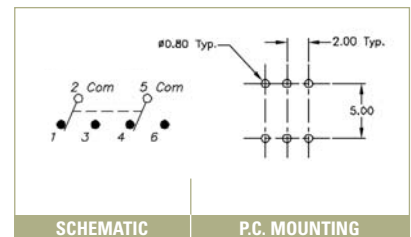
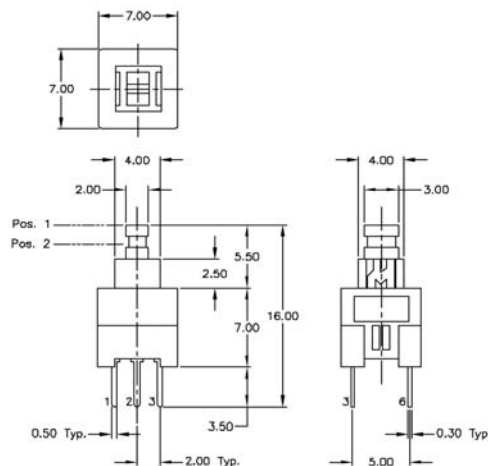
### Example Ordering Number

TL-2201-EE-Y-B-.09-BLK

**\*Note: TL 2202 is an MBB (shorting) version.**

Specifications subject to change without notice.

## TL 2230





# SERIES TL 2201 SWITCHES

## PUSHBUTTON SWITCHES - SUB MINIATURE

TACT SWITCHES

NAVIGATION SWITCHES

PUSHBUTTON SWITCHES

TOGGLE SWITCHES

ROCKER SWITCHES

SLIDE SWITCHES

SNAP-ACTION SWITCHES

DIP SWITCHES

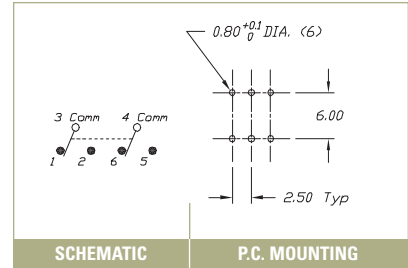
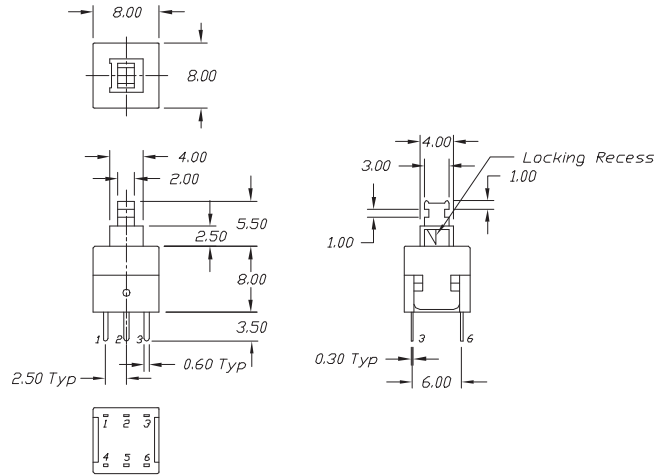
KEYLOCK SWITCHES

ROTARY SWITCHES

DETECTOR SWITCHES

CAP OPTIONS

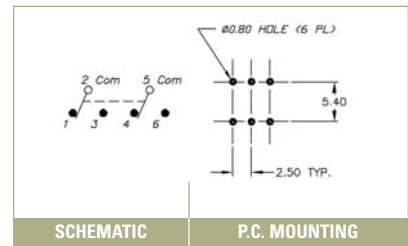
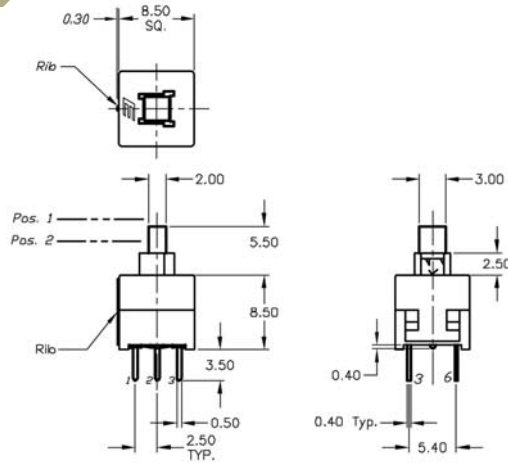
### TL 2285



SCHEMATIC

P.C. MOUNTING

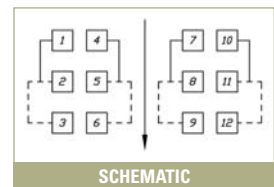
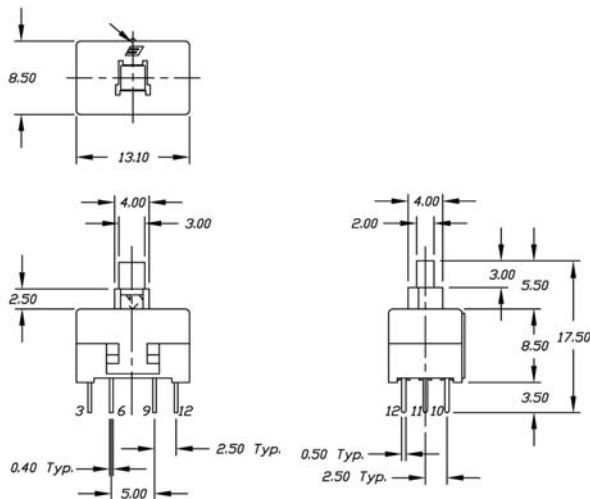
### TL 2201



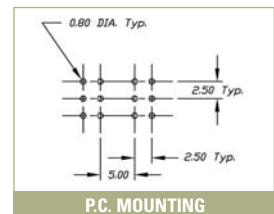
SCHEMATIC

P.C. MOUNTING

### TL 4201

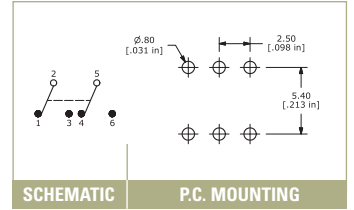
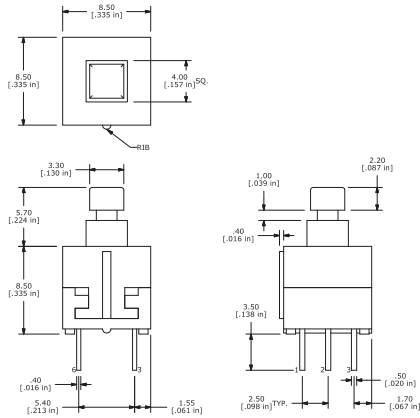


SCHEMATIC

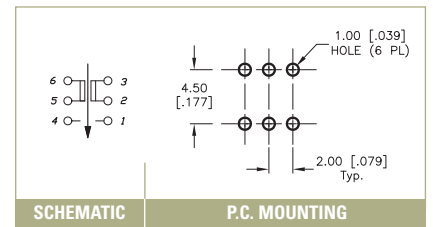
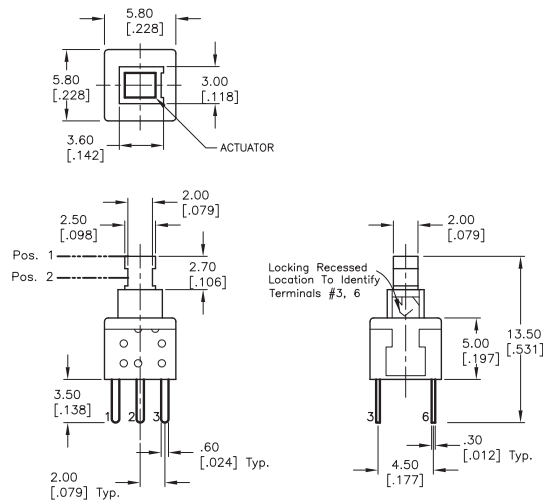


P.C. MOUNTING

## TL 2202

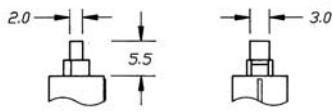


## TL 2203



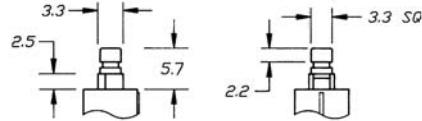
### ACTUATOR OPTIONS – TL 2201 & TL 4201

**X**



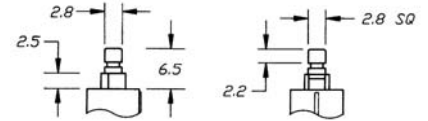
See Cap Section

**Y**



See Cap Section

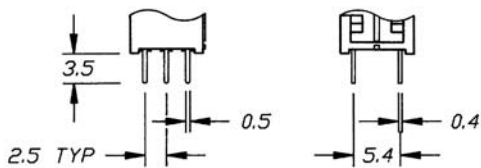
**Z**



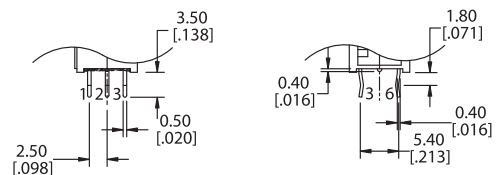
See Cap Section

### TERMINATION OPTIONS – TL 2201 & TL 4201

**A**



**B**



L-53HD

BRIGHT RED

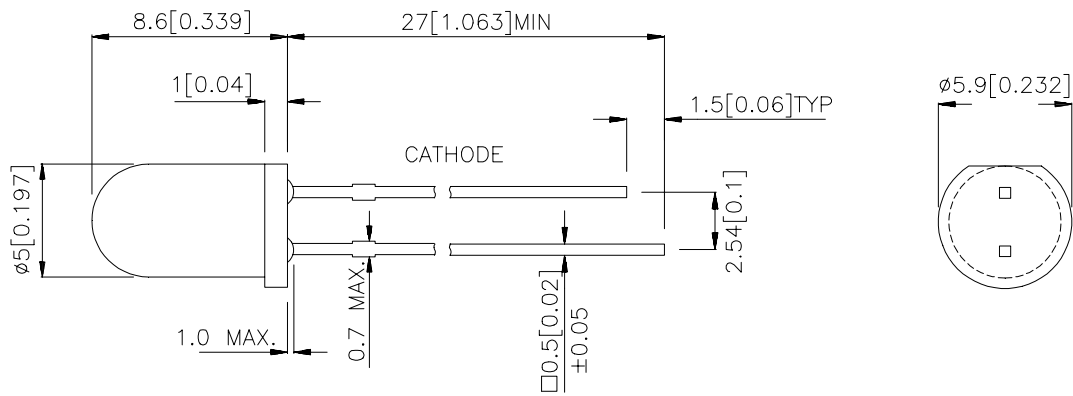
### Features

- LOW POWER CONSUMPTION.
- POPULAR T-1 3/4 DIAMETER PACKAGE.
- GENERAL PURPOSE LEADS.
- RELIABLE AND RUGGED.
- LONG LIFE - SOLID STATE RELIABILITY.

### Description

The Bright Red source color devices are made with Gallium Phosphide Red Light Emitting Diode.

### Package Dimensions



#### Notes:

1. All dimensions are in millimeters (inches).
2. Tolerance is  $\pm 0.25$  (0.01") unless otherwise noted.
3. Lead spacing is measured where the lead emerge package.
4. Specifications are subject to change without notice.

## Selection Guide

Part No.	Dice	Lens Type	Iv (mcd) @ 10mA		Viewing Angle
			Min.	Typ.	2θ1/2
L-53HD	BRIGHT RED(GaP)	RED DIFFUSED	1.8	5	60°

Note:

1. θ1/2 is the angle from optical centerline where the luminous intensity is 1/2 the optical centerline value.

## Electrical / Optical Characteristics at T<sub>A</sub>=25°C

Symbol	Parameter	Device	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$\lambda_{peak}$	Peak Wavelength	Bright Red	700		nm	I <sub>F</sub> =20mA
$\lambda_D$	Dominate Wavelength	Bright Red	660		nm	I <sub>F</sub> =20mA
$\Delta\lambda_{1/2}$	Spectral Line Half-width	Bright Red	45		nm	I <sub>F</sub> =20mA
C	Capacitance	Bright Red	40		pF	V <sub>F</sub> =0V;f=1MHz
V <sub>F</sub>	Forward Voltage	Bright Red	2.25	2.5	V	I <sub>F</sub> =20mA
I <sub>R</sub>	Reverse Current	Bright Red		10	uA	V <sub>R</sub> = 5V

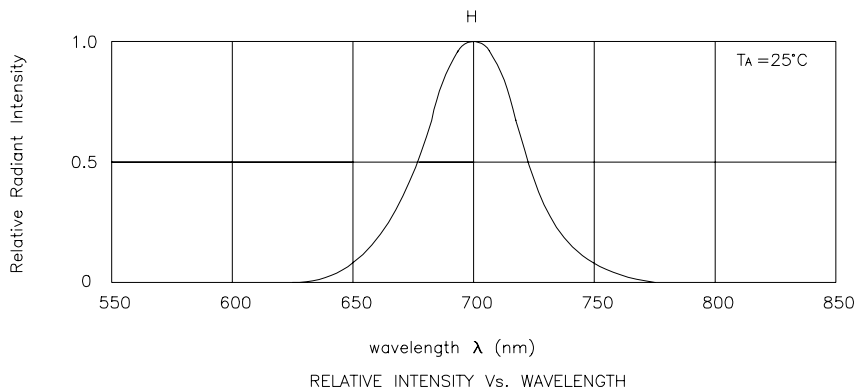
## Absolute Maximum Ratings at T<sub>A</sub>=25°C

Parameter	Bright Red	Units
Power dissipation	120	mW
DC Forward Current	25	mA
Peak Forward Current [1]	130	mA
Reverse Voltage	5	V
Operating/Storage Temperature	-40°C To +85°C	
Lead Solder Temperature [2]	260°C For 5 Seconds	

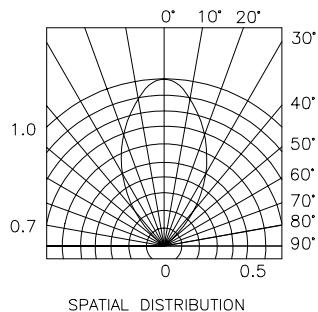
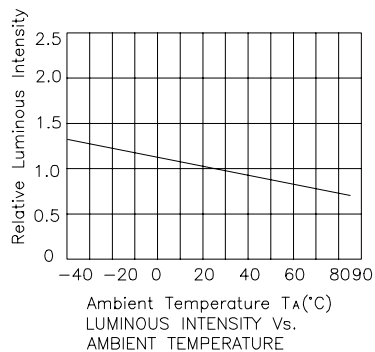
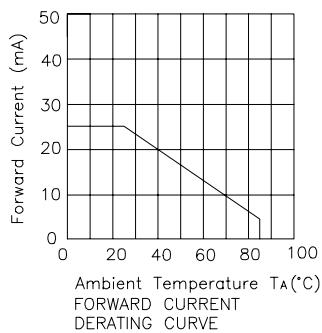
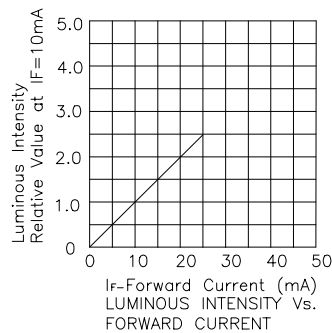
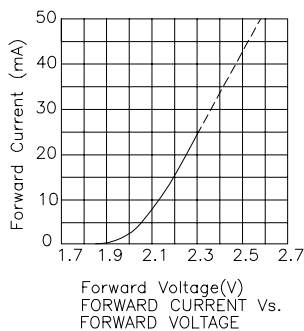
Notes:

- 1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width.
- 2mm below package base.

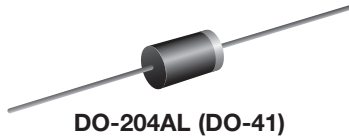




## Bright Red L-53HD



### General Purpose Plastic Rectifier



#### FEATURES

- Low forward voltage drop
- Low leakage current
- High forward surge capability
- Solder dip 275 °C max. 10 s, per JESD 22-B106
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



**RoHS**  
COMPLIANT

#### TYPICAL APPLICATIONS

For use in general purpose rectification of power supplies, inverters, converters and freewheeling diodes application.

#### Note

- These devices are not AEC-Q101 qualified.

#### MECHANICAL DATA

**Case:** DO-204AL, molded epoxy body  
Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating  
Base P/N-E3 - RoHS compliant, commercial grade

**Terminals:** Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test

**Polarity:** Color band denotes cathode end

PRIMARY CHARACTERISTICS	
$I_{F(AV)}$	1.0 A
$V_{RRM}$	50 V to 1000 V
$I_{FSM}$ (8.3 ms sine-wave)	30 A
$I_{FSM}$ (square wave $t_p = 1$ ms)	45 A
$V_F$	1.1 V
$I_R$	5.0 $\mu$ A
$T_J$ max.	150 °C

MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25$ °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	$V_{RRM}$	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	$V_{RMS}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	$V_{DC}$	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at $T_A = 75$ °C	$I_{F(AV)}$	1.0							A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	$I_{FSM}$	30							A
Non-repetitive peak forward surge current square waveform $T_A = 25$ °C (fig. 3)	$t_p = 1$ ms	45							A
	$t_p = 2$ ms	35							
	$t_p = 5$ ms	30							
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length $T_L = 75$ °C	$I_{R(AV)}$	30							$\mu$ A
Rating for fusing ( $t < 8.3$ ms)	$I^2t^{(1)}$	3.7							A <sup>2</sup> s
Operating junction and storage temperature range	$T_J, T_{STG}$	- 50 to + 150							°C

#### Note

<sup>(1)</sup> For device using on bridge rectifier application

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	1.0 A	$V_F$	1.1							V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage	$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$	$I_R$	5.0							$\mu\text{A}$
	$T_A = 125\text{ }^\circ\text{C}$		50							
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz	$C_J$	15							pF

THERMAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)										
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT	
Typical thermal resistance	$R_{\theta JA}^{(1)}$	50							$^\circ\text{C/W}$	
	$R_{\theta JL}^{(1)}$	25								

**Note**

(1) Thermal resistance from junction to ambient at 0.375" (9.5 mm) lead length, PCB mounted

ORDERING INFORMATION (Example)				
PREFERRED P/N	UNIT WEIGHT (g)	PREFERRED PACKAGE CODE	BASE QUANTITY	DELIVERY MODE
1N4004-E3/54	0.33	54	5500	13" diameter paper tape and reel
1N4004-E3/73	0.33	73	3000	Ammo pack packaging

**RATINGS AND CHARACTERISTICS CURVES**

( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

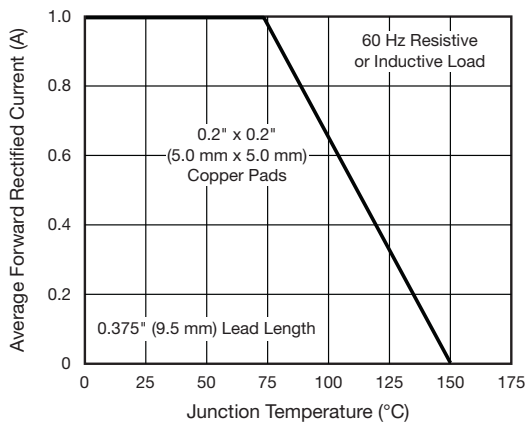


Fig. 1 - Forward Current Derating Curve

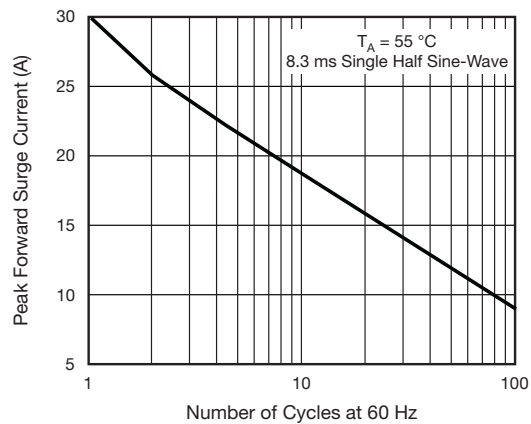


Fig. 2 - Maximum Non-repetitive Peak Forward Surge Current

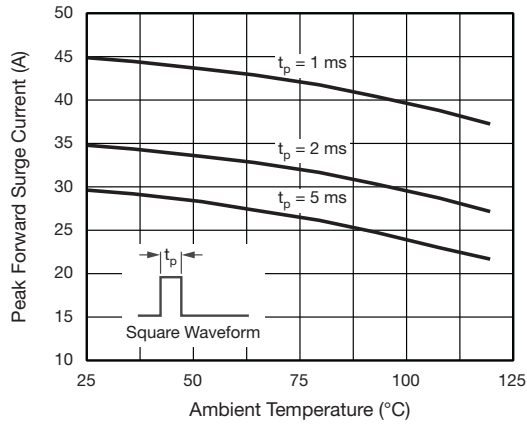


Fig. 3 - Non-Repetitive Peak Forward Surge Current

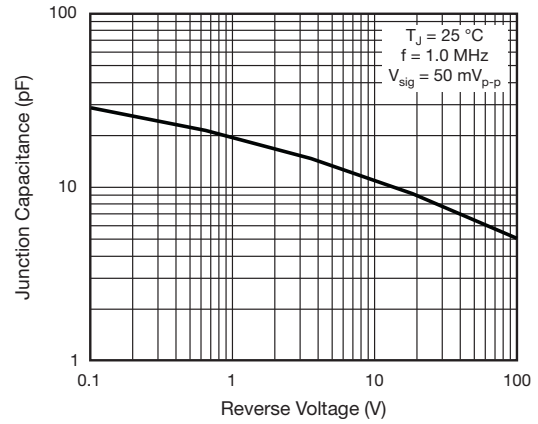


Fig. 6 - Typical Junction Capacitance

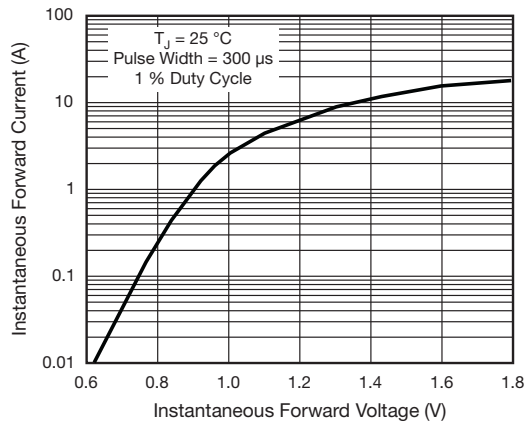


Fig. 4 - Typical Instantaneous Forward Characteristics

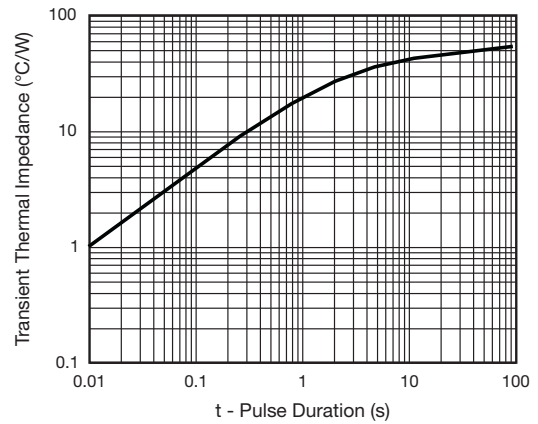


Fig. 7 - Typical Transient Thermal Impedance

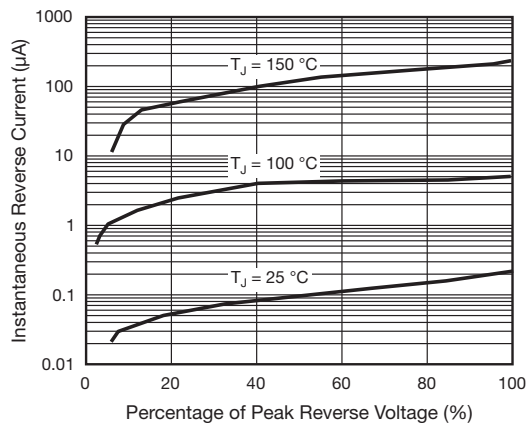
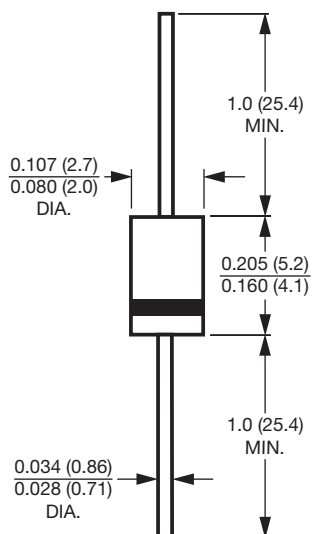


Fig. 5 - Typical Reverse Characteristics

## PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS in inches (millimeters)

### DO-204AL (DO-41)



#### Note

- Lead diameter is  $\frac{0.026}{0.023}$  (0.66 / 0.58) for suffix "E" part numbers



## Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

## Material Category Policy

**Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.**

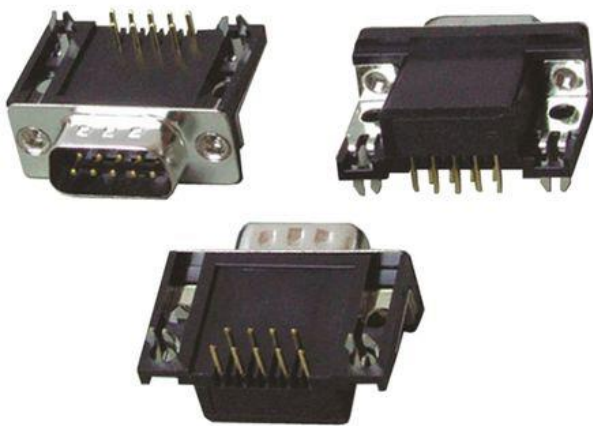
**Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.**

**Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.**

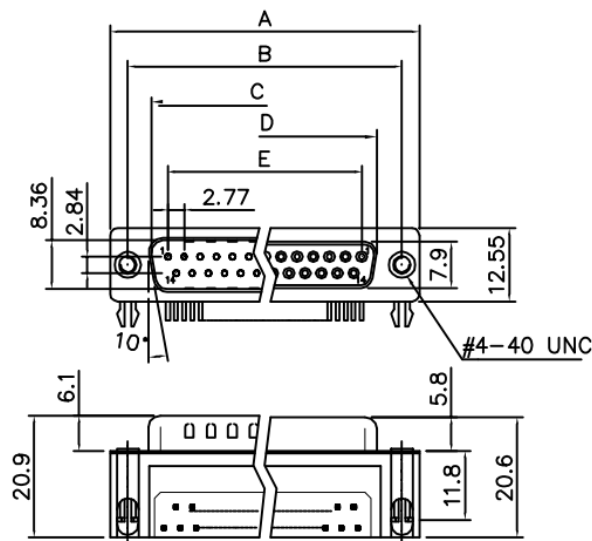
# Datasheet

## RS 107 Series 2.77mm Pitch 9 Way Right Angle PCB D-sub Connector, Plug, Solder Termination, with 4-40 UNC Screwlocks

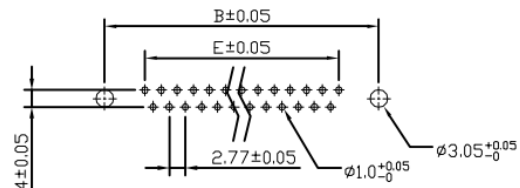
RS Stock number 811-7115



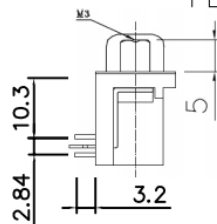
Dimensions: (mm)



RoHS COMPLIANT



RECOMMENDED PCB LAYOUT  
FEMALE\MALE





Dimensions

Positions	A	B	C	D	E
9	30.81	24.99	16.92	16.33	11.08
15	39.20	33.30	25.25	24.70	19.39
25	53.05	47.04	38.96	38.40	33.24
37	69.40	63.50	55.42	54.80	49.86

### Product Specification

#### Material

Insulator : Glass-Filled Thermoplastic PBT, UL94V-0

Contact : Brass

Shell : Steel, 100u" Tin Over 50u" min Copper

Clinch Nut : Brass, Nickel Plated.

Boardlock : Brass, Tin Plated.

Screwlock : Brass, Nickel Plated.

#### Electrical

Contact Resistance : 20 milliohms  
Max at 1 AMP DC.

Insulation Resistance : 1000  
megohms at 500 VDC

Dielectric Withstanding Voltage :  
1000 VAC/rms 60Hz for 1 minute

Current Rating : 3 AMP

Volatge Rating : 250 VAC/rms 60Hz



## TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8

### DESCRIPTION

The TP4056 is a complete constant-current/constant-voltage linear charger for single cell lithium-ion batteries. Its SOP package and low external component count make the TP4056 ideally suited for portable applications. Furthermore, the TP4056 can work within USB and wall adapter.

No blocking diode is required due to the internal PMOSFET architecture and have prevent to negative Charge Current Circuit. Thermal feedback regulates the charge current to limit the die temperature during high power operation or high ambient temperature. The charge voltage is fixed at 4.2V, and the charge current can be programmed externally with a single resistor. The TP4056 automatically terminates the charge cycle when the charge current drops to 1/10th the programmed value after the final float voltage is reached.

TP4056 Other features include current monitor, under voltage lockout, automatic recharge and two status pin to indicate charge termination and the presence of an input voltage.

### FEATURES

- Programmable Charge Current Up to 1000mA
- No MOSFET, Sense Resistor or Blocking Diode Required
- Complete Linear Charger in SOP-8 Package for Single Cell Lithium-Ion Batteries
- Constant-Current/Constant-Voltage
- Charges Single Cell Li-Ion Batteries Directly from USB Port
- Preset 4.2V Charge Voltage with 1.5% Accuracy
- Automatic Recharge
- two Charge Status Output Pins
- C/10 Charge Termination
- 2.9V Trickle Charge Threshold (TP4056)
- Soft-Start Limits Inrush Current
- Available Radiator in 8-Lead SOP Package, the Radiator need connect GND or impending

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

- Input Supply Voltage( $V_{CC}$ ):  $-0.3V \sim 8V$
- TEMP:  $-0.3V \sim 10V$
- CE:  $-0.3V \sim 10V$
- BAT Short-Circuit Duration: Continuous
- BAT Pin Current: 1200mA
- PROG Pin Current: 1200uA
- Maximum Junction Temperature:  $145^{\circ}C$
- Operating Ambient Temperature Range:  $-40^{\circ}C \sim 85^{\circ}C$
- Lead Temp.(Soldering, 10sec):  $260^{\circ}C$

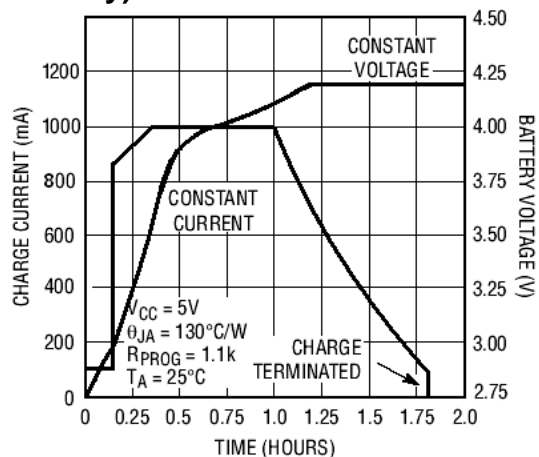
### APPLICATIONS

- Cellular Telephones, PDAs, GPS
- Charging Docks and Cradles
- Digital Still Cameras, Portable Devices
- USB Bus-Powered Chargers,Chargers

### PACKAGE/ORDER INFORMATION

SOP-8	
	<b>ORDER PART NUMBER</b> TP4056-42-SOP8-PP
	<b>PART MARKING</b> TP4056

### Complete Charge Cycle (1000mAh Battery)



**TEMP(Pin 1) :Temperature Sense Input** Connecting TEMP pin to NTC thermistor's output in Lithium ion battery pack. If TEMP pin's voltage is below 45% or above 80% of supply voltage  $V_{IN}$  for more than 0.15S, this means that battery's temperature is too high or too low, charging is suspended. The temperature sense function can be disabled by grounding the TEMP pin.

**PROG(Pin 2): Constant Charge Current Setting and Charge Current Monitor Pin** charge current is set by connecting a resistor  $R_{ISET}$  from this pin to GND. When in precharge mode, the ISET pin's voltage is regulated to 0.2V. When in constant charge current mode, the ISET pin's voltage is regulated to 2V. In all modes during charging, the voltage on ISET pin can be used to measure the charge current as follows:

**GND(Pin3): Ground Terminal**

$$I_{BAT} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} \times 1200 \quad (V_{PROG}=1V)$$

**Vcc(Pin 4): Positive Input Supply Voltage**  $V_{IN}$  is the power supply to the internal circuit. When  $V_{IN}$  drops to within 30mv of the BAT pin voltage, TP4056 enters low power sleep mode, dropping BAT pin's current to less than 2uA.

**BAT(Pin5): Battery Connection Pin.** Connect the positive terminal of the battery to BAT pin. BAT pin draws less than 2uA current in chip disable mode or in sleep mode. BAT pin provides charge current to the battery and provides regulation voltage of 4.2V.

**STDBY(Pin6): Open Drain Charge Status Output** When the battery Charge Termination, the  $\overline{STDBY}$  pin is pulled low by an internal switch, otherwise  $\overline{STDBY}$  pin is in high impedance state.

**CHRG (Pin7): Open Drain Charge Status Output** When the battery is being charged, the  $\overline{CHRG}$  pin is pulled low by an internal switch, otherwise  $\overline{CHRG}$  pin is in high impedance state.

**CE(Pin8): Chip Enable Input.** A high input will put the device in the normal operating mode.

Pulling the CE pin to low level will put the YP4056 into disable mode. The CE pin can be driven by TTL or CMOS logic level.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at  $T_A=25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC}=5V$ , unless otherwise noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
$V_{CC}$	Input Supply Voltage		● 4.0	5	8.0	V	
$I_{CC}$	Input Supply Current	Charge Mode, $R_{PROG} = 1.2k$	●	150	500	$\mu\text{A}$	
		StandbyMode(Charge Terminated)	●	55	100	$\mu\text{A}$	
		Shutdown Mode ( $R_{PROG}$ Not Connected, $V_{CC} < V_{BAT}$ , or $V_{CC} < V_{UV}$ )	●	55	100	$\mu\text{A}$	
$V_{FLOAL}$	Regulated Output (Float) Voltage	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$ , $I_{BAT}=40\text{mA}$	4.137	4.2	4.263	V	
$I_{BAT}$	BAT Pin Current Text condition: $V_{BAT}=4.0V$	$R_{PROG} = 2.4k$ , Current Mode	●	450	500	550	mA
		$R_{PROG} = 1.2k$ , Current Mode	●	950	1000	1050	mA
		Standby Mode, $V_{BAT} = 4.2V$	●	0	-2.5	-6	$\mu\text{A}$
$I_{TRIKL}$	Trickle Charge Current	$V_{BAT} < V_{TRIKL}$ , $R_{PROG}=1.2K$	● 120	130	140	mA	
$V_{TRIKL}$	Trickle Charge Threshold Voltage	$R_{PROG}=1.2K$ , $V_{BAT}$ Rising	2.8	2.9	3.0	V	
$V_{TRHYS}$	Trickle Charge Hysteresis Voltage	$R_{PROG}=1.2K$	60	80	100	mV	
$T_{LIM}$	Junction Temperature in Constant Temperature Mode			145		$^\circ\text{C}$	

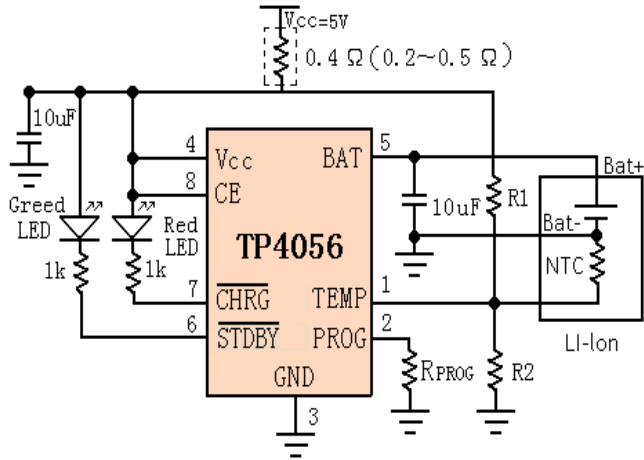
### indicator light state

Charge state	Red LED $\overline{\text{CHRG}}$	Green LED $\overline{\text{STDBY}}$
charging	bright	extinguish
Charge Termination	extinguish	bright
Vin too low; Temperature of battery too low or too high; no battery	extinguish	extinguish
BAT PIN Connect 10u Capacitance; No battery	Green LED bright, Red LED Coruscate T=1-4 S	

### Rprog Current Setting

R <sub>PROG</sub> (k)	I <sub>BAT</sub> (mA)
10	130
5	250
4	300
3	400
2	580
1.66	690
1.5	780
1.33	900
1.2	1000

### TYPICAL APPLICATIONS



# ESP32-WROOM-32

## Datasheet



Version 3.0  
Espressif Systems  
Copyright © 2020

# About This Document

This document provides the specifications for the ESP32-WROOM-32 module.

## Document Updates

Please always refer to the latest version on <https://www.espressif.com/en/support/download/documents>.

## Revision History

For revision history of this document, please refer to the [last page](#).

## Documentation Change Notification

Espressif provides email notifications to keep customers updated on changes to technical documentation. Please subscribe at [www.espressif.com/en/subscribe](http://www.espressif.com/en/subscribe). Note that you need to update your subscription to receive notifications of new products you are not currently subscribed to.

## Certification

Download certificates for Espressif products from [www.espressif.com/en/certificates](http://www.espressif.com/en/certificates).

## Disclaimer and Copyright Notice

Information in this document, including URL references, is subject to change without notice. THIS DOCUMENT IS PROVIDED AS IS WITH NO WARRANTIES WHATSOEVER, INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE, OR ANY WARRANTY OTHERWISE ARISING OUT OF ANY PROPOSAL, SPECIFICATION OR SAMPLE.

All liability, including liability for infringement of any proprietary rights, relating to use of information in this document is disclaimed. No licenses express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights are granted herein. The Wi-Fi Alliance Member logo is a trademark of the Wi-Fi Alliance. The Bluetooth logo is a registered trademark of Bluetooth SIG.

All trade names, trademarks and registered trademarks mentioned in this document are property of their respective owners, and are hereby acknowledged.

Copyright © 2020 Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd. All rights reserved.

# Contents

<b>1</b>	<b>Overview</b>	6
<b>2</b>	<b>Pin Definitions</b>	8
2.1	Pin Layout	8
2.2	Pin Description	8
2.3	Strapping Pins	9
<b>3</b>	<b>Functional Description</b>	12
3.1	CPU and Internal Memory	12
3.2	External Flash and SRAM	12
3.3	Crystal Oscillators	12
3.4	RTC and Low-Power Management	13
<b>4</b>	<b>Peripherals and Sensors</b>	14
<b>5</b>	<b>Electrical Characteristics</b>	15
5.1	Absolute Maximum Ratings	15
5.2	Recommended Operating Conditions	15
5.3	DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)	15
5.4	Wi-Fi Radio	16
5.5	BLE Radio	17
5.5.1	Receiver	17
5.5.2	Transmitter	17
5.6	Reflow Profile	18
<b>6</b>	<b>Schematics</b>	19
<b>7</b>	<b>Peripheral Schematics</b>	20
<b>8</b>	<b>Physical Dimensions</b>	22
<b>9</b>	<b>Recommended PCB Land Pattern</b>	23
<b>10</b>	<b>Learning Resources</b>	24
10.1	Must-Read Documents	24
10.2	Must-Have Resources	24
	<b>Revision History</b>	26

## List of Tables

1	ESP32-WROOM-32 Specifications	6
2	Pin Definitions	8
3	Strapping Pins	10
4	Absolute Maximum Ratings	15
5	Recommended Operating Conditions	15
6	DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)	15
7	Wi-Fi Radio Characteristics	16
8	Receiver Characteristics – BLE	17
9	Transmitter Characteristics – BLE	17

## List of Figures

1	ESP32-WROOM-32 Pin Layout (Top View)	8
2	Reflow Profile	18
3	ESP32-WROOM-32 Schematics	19
4	ESP32-WROOM-32 Peripheral Schematics	20
5	Discharge Circuit for VDD33 Rail	20
6	Reset Circuit	21
7	Physical Dimensions of ESP32-WROOM-32	22
8	Recommended PCB Land Pattern	23



# 1 Overview

ESP32-WROOM-32 is a powerful, generic Wi-Fi+BT+BLE MCU module that targets a wide variety of applications, ranging from low-power sensor networks to the most demanding tasks, such as voice encoding, music streaming and MP3 decoding.

At the core of this module is the ESP32-D0WDQ6 chip\*. The chip embedded is designed to be scalable and adaptive. There are two CPU cores that can be individually controlled, and the CPU clock frequency is adjustable from 80 MHz to 240 MHz. The chip also has a low-power co-processor that can be used instead of the CPU to save power while performing tasks that do not require much computing power, such as monitoring of peripherals. ESP32 integrates a rich set of peripherals, ranging from capacitive touch sensors, Hall sensors, SD card interface, Ethernet, high-speed SPI, UART, I<sup>2</sup>S and I<sup>2</sup>C.

**Note:**

\* For details on the part numbers of the ESP32 family of chips, please refer to the document [ESP32 Datasheet](#).

The integration of Bluetooth®, Bluetooth LE and Wi-Fi ensures that a wide range of applications can be targeted, and that the module is all-around: using Wi-Fi allows a large physical range and direct connection to the Internet through a Wi-Fi router, while using Bluetooth allows the user to conveniently connect to the phone or broadcast low energy beacons for its detection. The sleep current of the ESP32 chip is less than 5  $\mu$ A, making it suitable for battery powered and wearable electronics applications. The module supports a data rate of up to 150 Mbps, and 20 dBm output power at the antenna to ensure the widest physical range. As such the module does offer industry-leading specifications and the best performance for electronic integration, range, power consumption, and connectivity.

The operating system chosen for ESP32 is freeRTOS with LwIP; TLS 1.2 with hardware acceleration is built in as well. Secure (encrypted) over the air (OTA) upgrade is also supported, so that users can upgrade their products even after their release, at minimum cost and effort.

Table 1 provides the specifications of ESP32-WROOM-32.

**Table 1: ESP32-WROOM-32 Specifications**

Categories	Items	Specifications
Certification	RF certification	FCC/CE-RED/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC
	Wi-Fi certification	Wi-Fi Alliance
	Bluetooth certification	BQB
	Green certification	RoHS/REACH
Test	Reliability	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD
Wi-Fi	Protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps)
		A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 $\mu$ s guard interval support
	Frequency range	2.4 GHz ~ 2.5 GHz
Bluetooth	Protocols	Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specification
	Radio	NZIF receiver with -97 dBm sensitivity
		Class-1, class-2 and class-3 transmitter
		AFH
Audio	CVSD and SBC	

Categories	Items	Specifications
Hardware	Module interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I <sup>2</sup> C, LED PWM, Motor PWM, I <sup>2</sup> S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, Two-Wire Automotive Interface (TWAI™, compatible with ISO11898-1)
	On-chip sensor	Hall sensor
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	4 MB
	Operating voltage/Power supply	3.0 V ~ 3.6 V
	Operating current	Average: 80 mA
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
	Recommended operating temperature range	-40 °C ~ +85 °C
	Package size	(18.00±0.10) mm × (25.50±0.10) mm × (3.10±0.10) mm
	Moisture sensitivity level (MSL)	Level 3

## 2 Pin Definitions

### 2.1 Pin Layout

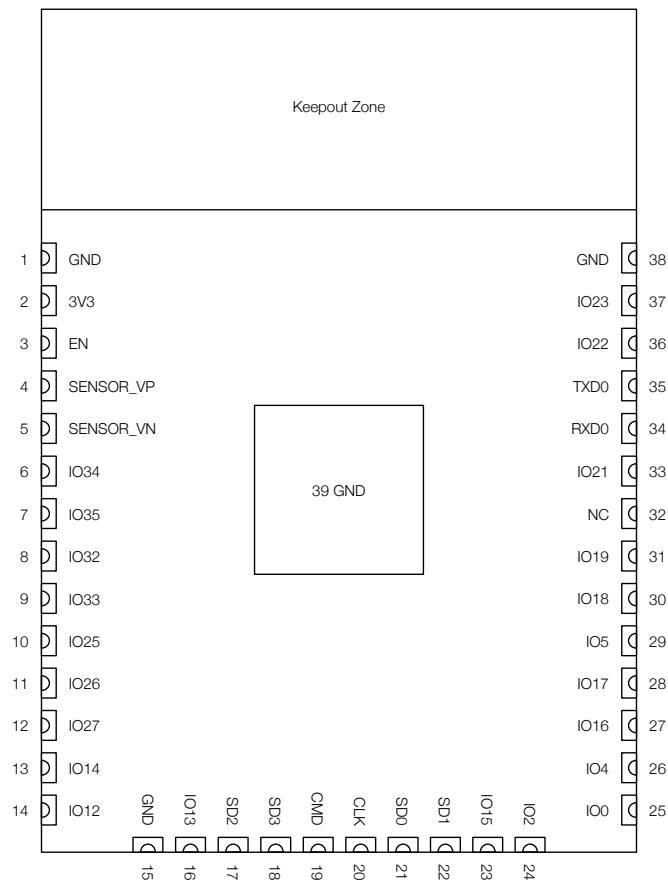


Figure 1: ESP32-WROOM-32 Pin Layout (Top View)

### 2.2 Pin Description

ESP32-WROOM-32 has 38 pins. See pin definitions in Table 2.

Table 2: Pin Definitions

Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active high.
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8

Name	No.	Type	Function
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2*	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3*	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD*	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICS0, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK*	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0*	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDI/SD1*	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPIWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, SPIHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPIWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

**Notice:**

\* Pins SCK/CLK, SDO/SD0, SDI/SD1, SHD/SD2, SWP/SD3 and SCS/CMD, namely, GPIO6 to GPIO11 are connected to the integrated SPI flash integrated on the module and are not recommended for other uses.

## 2.3 Strapping Pins

ESP32 has five strapping pins, which can be seen in Chapter 6 Schematics:

- MTDI
- GPIO0
- GPIO2
- MTDO
- GPIO5

Software can read the values of these five bits from register "GPIO\_STRAPPING".

During the chip's system reset release (power-on-reset, RTC watchdog reset and brownout reset), the latches of the strapping pins sample the voltage level as strapping bits of "0" or "1", and hold these bits until the chip is powered down or shut down. The strapping bits configure the device's boot mode, the operating voltage of VDD\_SDIO and other initial system settings.

Each strapping pin is connected to its internal pull-up/pull-down during the chip reset. Consequently, if a strapping pin is unconnected or the connected external circuit is high-impedance, the internal weak pull-up/pull-down will determine the default input level of the strapping pins.

To change the strapping bit values, users can apply the external pull-down/pull-up resistances, or use the host MCU's GPIOs to control the voltage level of these pins when powering on ESP32.

After reset release, the strapping pins work as normal-function pins.

Refer to Table 3 for a detailed boot-mode configuration by strapping pins.

**Table 3: Strapping Pins**

Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO)					
Pin	Default	3.3 V		1.8 V	
MTDI	Pull-down	0		1	
Bootling Mode					
Pin	Default	SPI Boot		Download Boot	
GPIO0	Pull-up	1		0	
GPIO2	Pull-down	Don't-care		0	
Enabling/Disabling Debugging Log Print over U0TXD During Bootling					
Pin	Default	U0TXD Active		U0TXD Silent	
MTDO	Pull-up	1		0	
Timing of SDIO Slave					
Pin	Default	FE Sampling FE Output	FE Sampling RE Output	RE Sampling FE Output	RE Sampling RE Output
MTDO	Pull-up	0	0	1	1
GPIO5	Pull-up	0	1	0	1

**Note:**

- Firmware can configure register bits to change the settings of "Voltage of Internal LDO (VDD\_SDIO)" and "Timing of SDIO Slave" after bootling.
- The module integrates a 3.3 V SPI flash, so the pin MTDI cannot be set to 1 when the module is powered up.

The strapping pins need a setup and hold time before and after the EN signal goes high. For details please refer

to Section Strapping Pins in [ESP32 Datasheet](#).

## 3 Functional Description

This chapter describes the modules and functions integrated in ESP32-WROOM-32.

### 3.1 CPU and Internal Memory

ESP32-D0WDQ6 contains two low-power Xtensa® 32-bit LX6 microprocessors. The internal memory includes:

- 448 KB of ROM for booting and core functions.
- 520 KB of on-chip SRAM for data and instructions.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC FAST Memory and can be used for data storage; it is accessed by the main CPU during RTC Boot from the Deep-sleep mode.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC SLOW Memory and can be accessed by the co-processor during the Deep-sleep mode.
- 1 Kbit of eFuse: 256 bits are used for the system (MAC address and chip configuration) and the remaining 768 bits are reserved for customer applications, including flash-encryption and chip-ID.

### 3.2 External Flash and SRAM

ESP32 supports multiple external QSPI flash and SRAM chips. More details can be found in Chapter SPI in the [ESP32 Technical Reference Manual](#). ESP32 also supports hardware encryption/decryption based on AES to protect developers' programs and data in flash.

ESP32 can access the external QSPI flash and SRAM through high-speed caches.

- The external flash can be mapped into CPU instruction memory space and read-only memory space simultaneously.
  - When external flash is mapped into CPU instruction memory space, up to 11 MB + 248 KB can be mapped at a time. Note that if more than 3 MB + 248 KB are mapped, cache performance will be reduced due to speculative reads by the CPU.
  - When external flash is mapped into read-only data memory space, up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads are supported.
- External SRAM can be mapped into CPU data memory space. Up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads and writes are supported.

ESP32-WROOM-32 integrates a 4 MB SPI flash, which is connected to GPIO6, GPIO7, GPIO8, GPIO9, GPIO10 and GPIO11. These six pins cannot be used as regular GPIOs.

### 3.3 Crystal Oscillators

The module uses a 40-MHz crystal oscillator.

## 3.4 RTC and Low-Power Management

With the use of advanced power-management technologies, ESP32 can switch between different power modes.

For details on ESP32's power consumption in different power modes, please refer to section "RTC and Low-Power Management" in [ESP32 Datasheet](#).



## 4 Peripherals and Sensors

Please refer to Section Peripherals and Sensors in [ESP32 Datasheet](#).

**Note:**

External connections can be made to any GPIO except for GPIOs in the range 6-11. These six GPIOs are connected to the module's integrated SPI flash. For details, please see Section 6 Schematics.

## 5 Electrical Characteristics

### 5.1 Absolute Maximum Ratings

Stresses beyond the absolute maximum ratings listed in Table 4 below may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and do not refer to the functional operation of the device that should follow the [recommended operating conditions](#).

**Table 4: Absolute Maximum Ratings**

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	-0.3	3.6	V
$I_{output}^1$	Cumulative IO output current	-	1,100	mA
$T_{store}$	Storage temperature	-40	150	°C

1. The module worked properly after a 24-hour test in ambient temperature at 25 °C, and the IOs in three domains (VDD3P3\_RTC, VDD3P3\_CPU, VDD\_SDIO) output high logic level to ground. Please note that pins occupied by flash and/or PSRAM in the VDD\_SDIO power domain were excluded from the test.
2. Please see Appendix IO\_MUX of [ESP32 Datasheet](#) for IO's power domain.

### 5.2 Recommended Operating Conditions

**Table 5: Recommended Operating Conditions**

Symbol	Parameter	Min	Typical	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	3.0	3.3	3.6	V
$I_{VDD}$	Current delivered by external power supply	0.5	-	-	A
T	Operating temperature	-40	-	85	°C

### 5.3 DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

**Table 6: DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)**

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
$C_{IN}$	Pin capacitance		-	2	-	pF
$V_{IH}$	High-level input voltage		$0.75 \times VDD^1$	-	$VDD^1 + 0.3$	V
$V_{IL}$	Low-level input voltage		-0.3	-	$0.25 \times VDD^1$	V
$I_{IH}$	High-level input current		-	-	50	nA
$I_{IL}$	Low-level input current		-	-	50	nA
$V_{OH}$	High-level output voltage		$0.8 \times VDD^1$	-	-	V
$V_{OL}$	Low-level output voltage		-	-	$0.1 \times VDD^1$	V
$I_{OH}$	High-level source current ( $VDD^1 = 3.3$ V, $V_{OH} \geq 2.64$ V, output drive strength set to the maximum)	VDD3P3_CPU power domain <sup>1, 2</sup>	-	40	-	mA
		VDD3P3_RTC power domain <sup>1, 2</sup>	-	40	-	mA
		VDD_SDIO power domain <sup>1, 3</sup>	-	20	-	mA

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
$I_{OL}$	Low-level sink current ( $V_{DD}^1 = 3.3\text{ V}$ , $V_{OL} = 0.495\text{ V}$ , output drive strength set to the maximum)	-	28	-	mA
$R_{PU}$	Resistance of internal pull-up resistor	-	45	-	$k\Omega$
$R_{PD}$	Resistance of internal pull-down resistor	-	45	-	$k\Omega$
$V_{IL\_nRST}$	Low-level input voltage of CHIP_PU to power off the chip	-	-	0.6	V

**Notes:**

1. Please see Appendix IO\_MUX of [ESP32 Datasheet](#) for IO's power domain. VDD is the I/O voltage for a particular power domain of pins.
2. For VDD3P3\_CPU and VDD3P3\_RTC power domain, per-pin current sourced in the same domain is gradually reduced from around 40 mA to around 29 mA,  $V_{OH} \geq 2.64\text{ V}$ , as the number of current-source pins increases.
3. Pins occupied by flash and/or PSRAM in the VDD\_SDIO power domain were excluded from the test.

## 5.4 Wi-Fi Radio

**Table 7: Wi-Fi Radio Characteristics**

Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Operating frequency range <i>note1</i>	-	2412	-	2484	MHz
Output impedance <i>note2</i>	-	-	<i>note 2</i>	-	$\Omega$
TX power <i>note3</i>	11n, MCS7	12	13	14	dBm
	11b mode	17.5	18.5	20	dBm
Sensitivity	11b, 1 Mbps	-	-98	-	dBm
	11b, 11 Mbps	-	-89	-	dBm
	11g, 6 Mbps	-	-92	-	dBm
	11g, 54 Mbps	-	-74	-	dBm
	11n, HT20, MCS0	-	-91	-	dBm
	11n, HT20, MCS7	-	-71	-	dBm
	11n, HT40, MCS0	-	-89	-	dBm
	11n, HT40, MCS7	-	-69	-	dBm
Adjacent channel rejection	11g, 6 Mbps	-	31	-	dB
	11g, 54 Mbps	-	14	-	dB
	11n, HT20, MCS0	-	31	-	dB
	11n, HT20, MCS7	-	13	-	dB

1. Device should operate in the frequency range allocated by regional regulatory authorities. Target operating frequency range is configurable by software.
2. For the modules that use IPEX antennas, the output impedance is 50  $\Omega$ . For other modules without IPEX antennas, users do not need to concern about the output impedance.
3. Target TX power is configurable based on device or certification requirements.

## 5.5 BLE Radio

### 5.5.1 Receiver

**Table 8: Receiver Characteristics – BLE**

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Sensitivity @30.8% PER	-	-	-97	-	dBm
Maximum received signal @30.8% PER	-	0	-	-	dBm
Co-channel C/I	-	-	+10	-	dB
Adjacent channel selectivity C/I	F = F0 + 1 MHz	-	-5	-	dB
	F = F0 - 1 MHz	-	-5	-	dB
	F = F0 + 2 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 - 2 MHz	-	-35	-	dB
	F = F0 + 3 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 - 3 MHz	-	-45	-	dB
Out-of-band blocking performance	30 MHz ~ 2000 MHz	-10	-	-	dBm
	2000 MHz ~ 2400 MHz	-27	-	-	dBm
	2500 MHz ~ 3000 MHz	-27	-	-	dBm
	3000 MHz ~ 12.5 GHz	-10	-	-	dBm
Intermodulation	-	-36	-	-	dBm

### 5.5.2 Transmitter

**Table 9: Transmitter Characteristics – BLE**

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RF transmit power	-	-	0	-	dBm
Gain control step	-	-	3	-	dBm
RF power control range	-	-12	-	+9	dBm
Adjacent channel transmit power	F = F0 ± 2 MHz	-	-52	-	dBm
	F = F0 ± 3 MHz	-	-58	-	dBm
	F = F0 ± > 3 MHz	-	-60	-	dBm
$\Delta f_{1avg}$	-	-	-	265	kHz
$\Delta f_{2max}$	-	247	-	-	kHz
$\Delta f_{2avg}/\Delta f_{1avg}$	-	-	-0.92	-	-
ICFT	-	-	-10	-	kHz
Drift rate	-	-	0.7	-	kHz/50 $\mu$ s
Drift	-	-	2	-	kHz

## 5.6 Reflow Profile

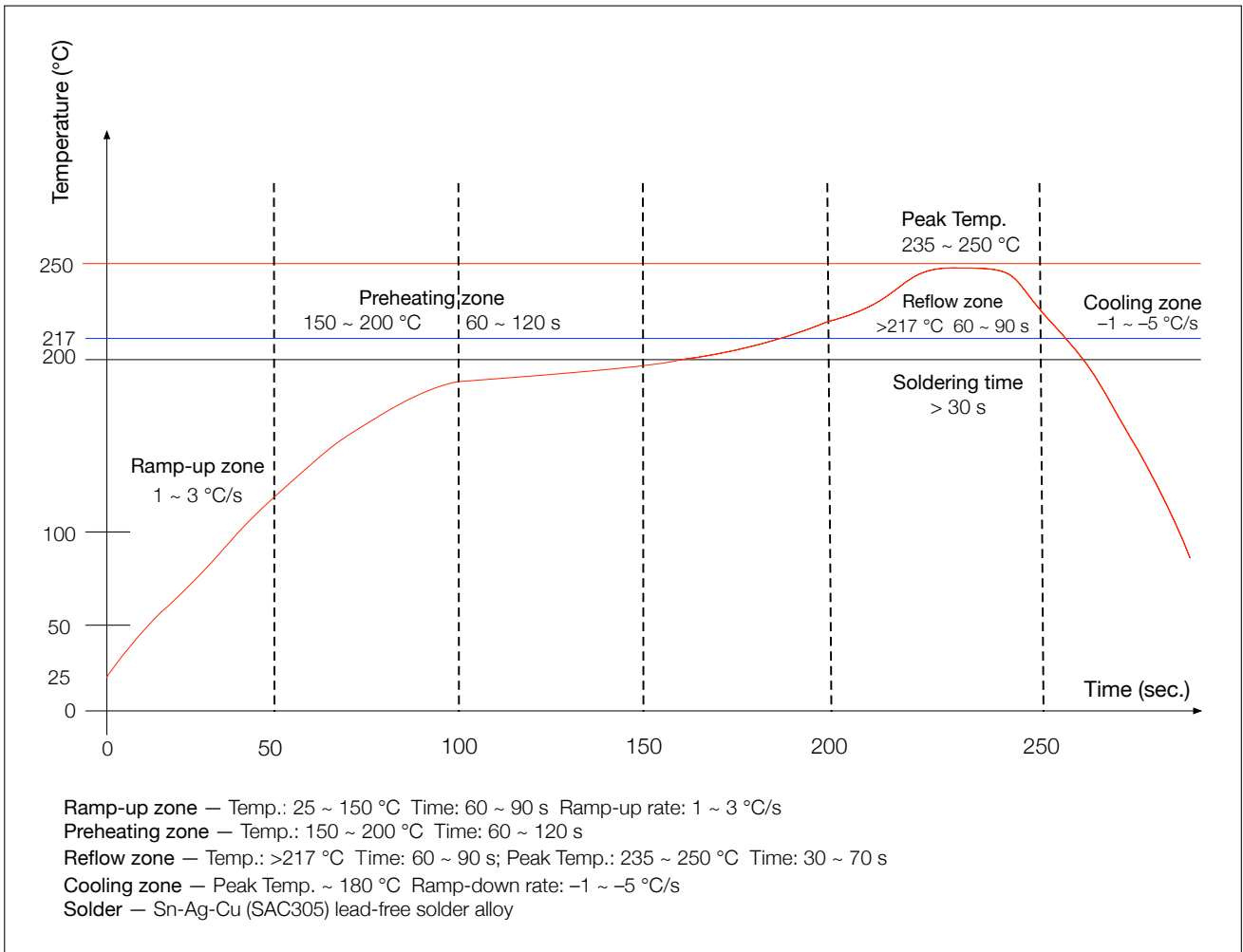


Figure 2: Reflow Profile

**Note:**

Solder the module in a single reflow. If the PCBA requires multiple reflows, place the module on the PCB during the final reflow.

# 6 Schematics

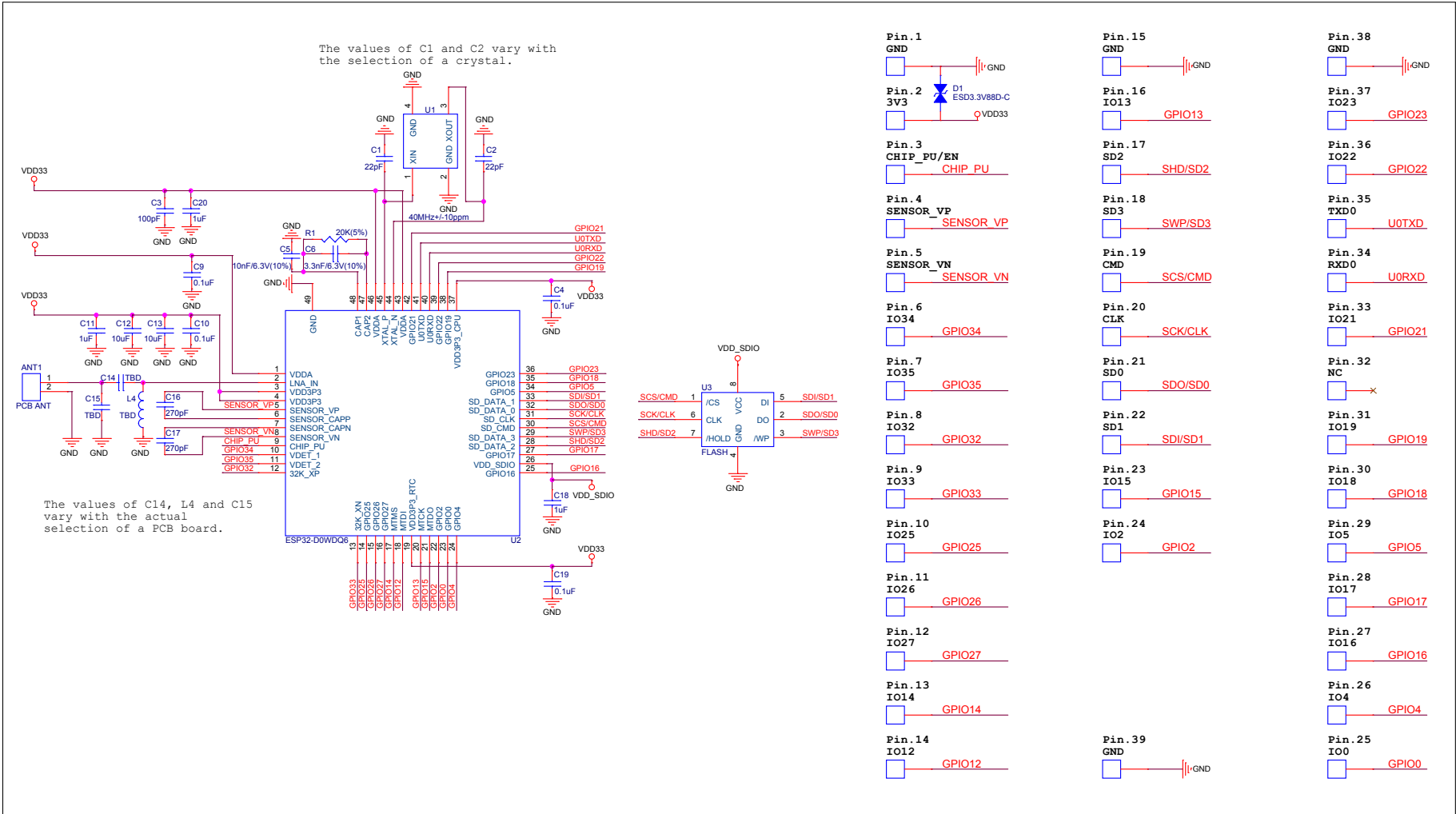


Figure 3: ESP32-WROOM-32 Schematics

## 7 Peripheral Schematics

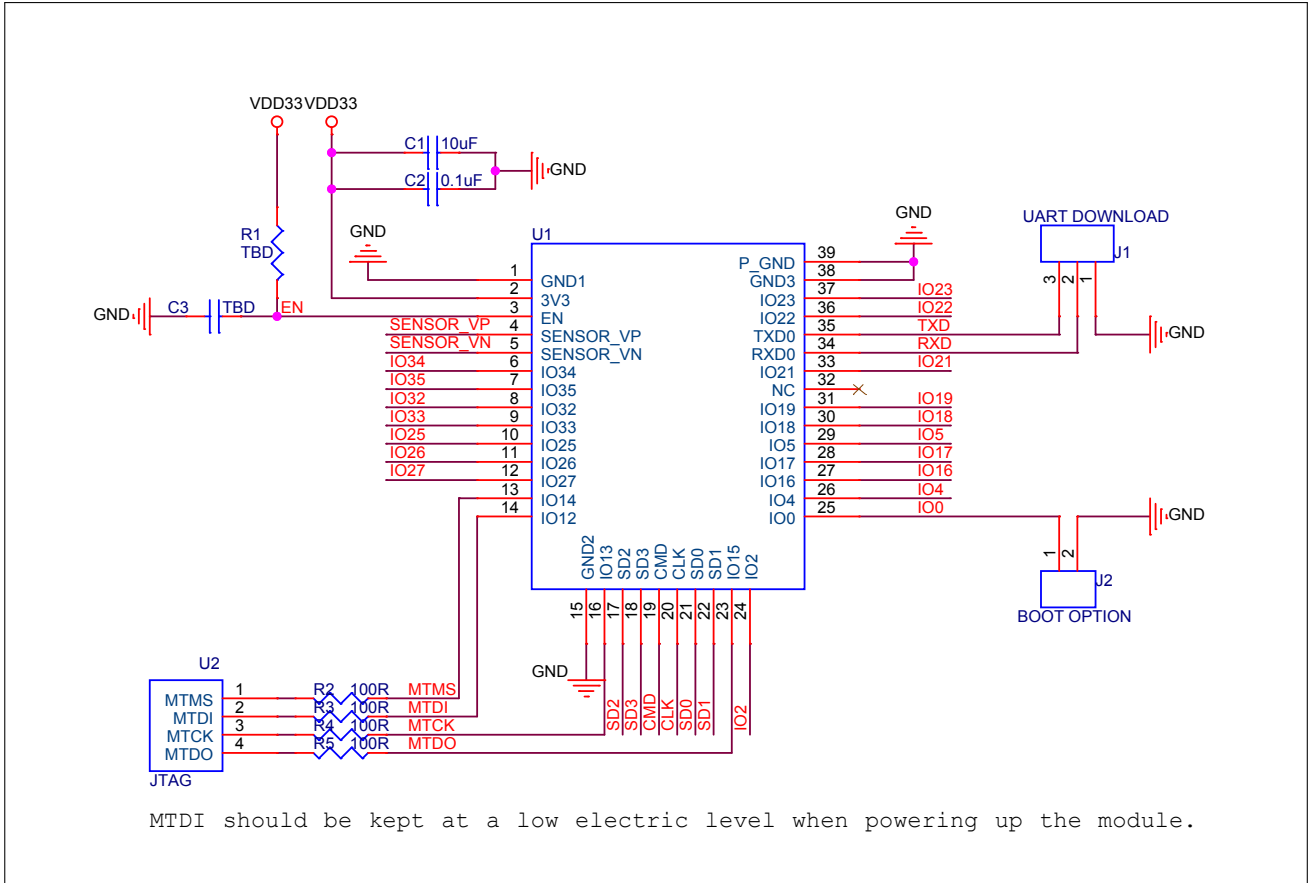


Figure 4: ESP32-WROOM-32 Peripheral Schematics

**Note:**

- Soldering Pad 39 to the Ground of the base board is not necessary for a satisfactory thermal performance. If users do want to solder it, they need to ensure that the correct quantity of soldering paste is applied.
- To ensure the power supply to the ESP32 chip during power-up, it is advised to add an RC delay circuit at the EN pin. The recommended setting for the RC delay circuit is usually  $R = 10\text{ k}\Omega$  and  $C = 1\ \mu\text{F}$ . However, specific parameters should be adjusted based on the power-up timing of the module and the power-up and reset sequence timing of the chip. For ESP32's power-up and reset sequence timing diagram, please refer to Section *Power Scheme* in [ESP32 Datasheet](#).

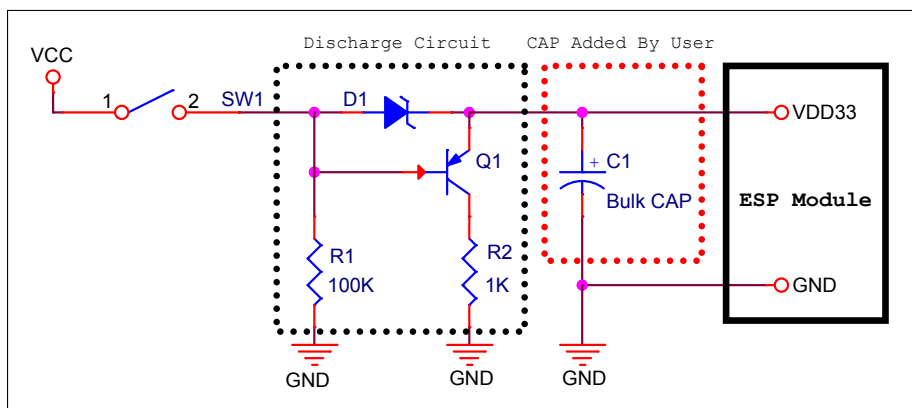
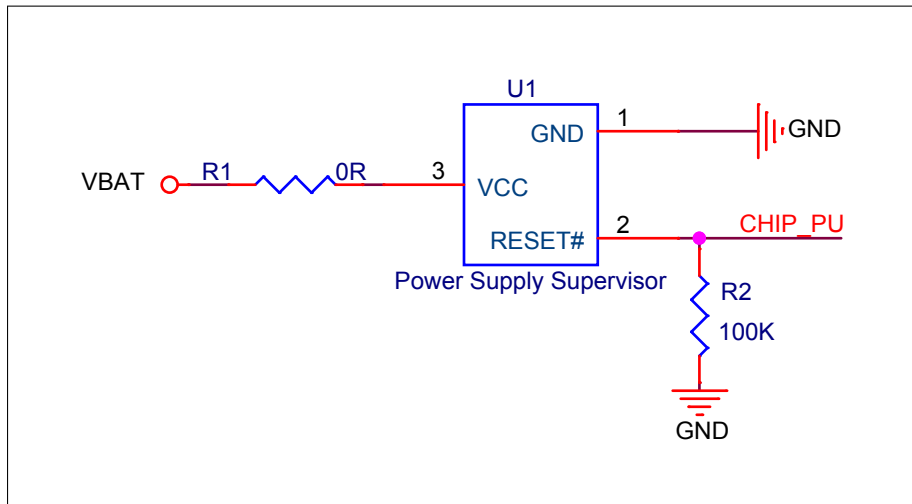


Figure 5: Discharge Circuit for VDD33 Rail

**Note:**

The discharge circuit can be applied in scenarios where ESP32 is powered on and off repeatedly by switching the power rails, and there is a large capacitor on the VDD33 rail. For details, please refer to Section *Power Scheme* in [ESP32 Datasheet](#).



**Figure 6: Reset Circuit**

**Note:**

When battery is used as the power supply for ESP32 series of chips and modules, a supply voltage supervisor is recommended to avoid boot failure due to low voltage. Users are recommended to pull CHIP\_PU low if the power supply for ESP32 is below 2.3 V.



## 8 Physical Dimensions

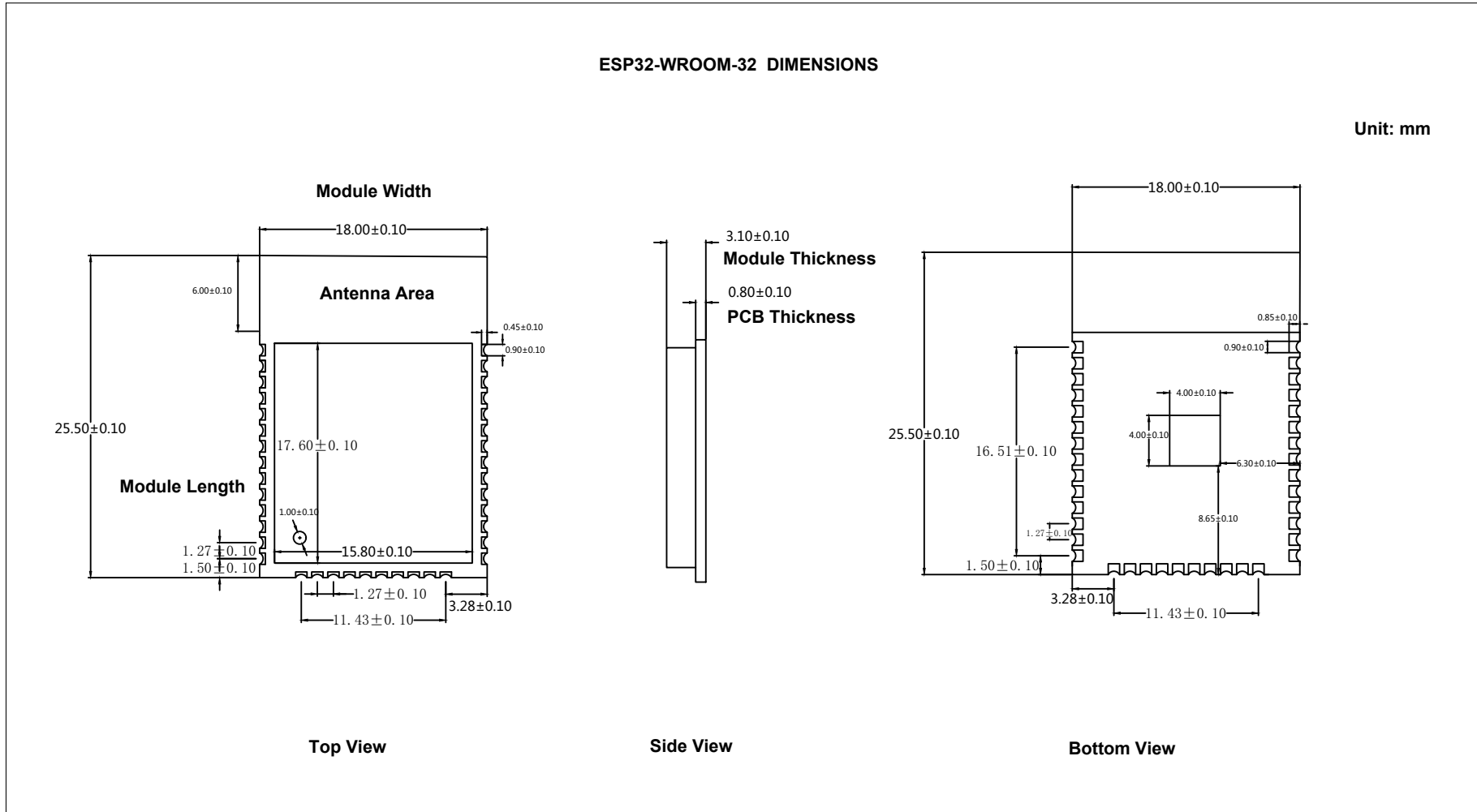


Figure 7: Physical Dimensions of ESP32-WROOM-32

## 9 Recommended PCB Land Pattern

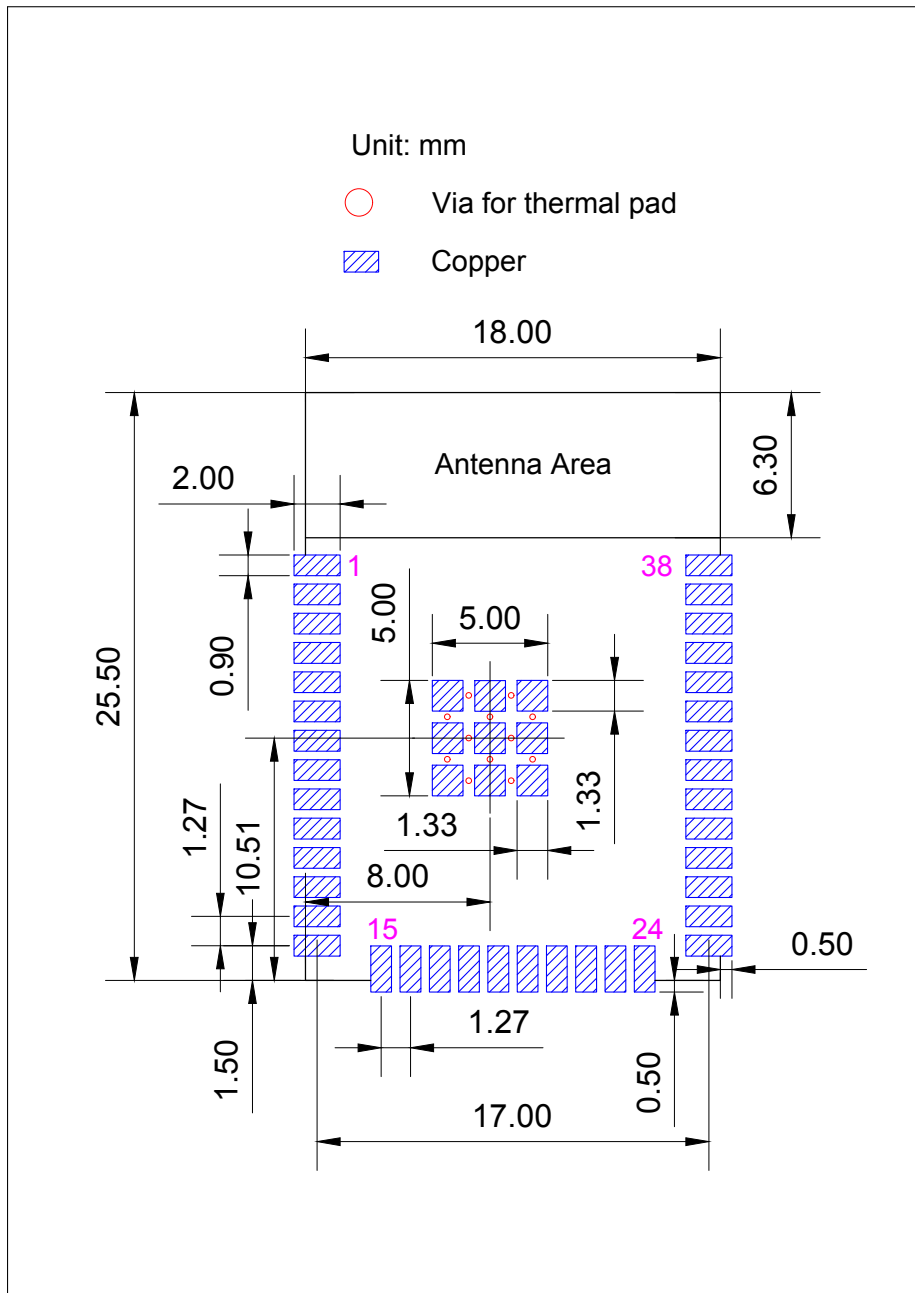


Figure 8: Recommended PCB Land Pattern

## 10 Learning Resources

### 10.1 Must-Read Documents

The following link provides documents related to ESP32.

- [ESP32 Datasheet](#)  
This document provides an introduction to the specifications of the ESP32 hardware, including overview, pin definitions, functional description, peripheral interface, electrical characteristics, etc.
- [ESP32 ECO V3 User Guide](#)  
This document describes differences between V3 and previous ESP32 silicon wafer revisions.
- [ECO and Workarounds for Bugs in ESP32](#)  
This document details hardware errata and workarounds in the ESP32.
- [ESP-IDF Programming Guide](#)  
It hosts extensive documentation for ESP-IDF ranging from hardware guides to API reference.
- [ESP32 Technical Reference Manual](#)  
The manual provides detailed information on how to use the ESP32 memory and peripherals.
- [ESP32 Hardware Resources](#)  
The zip files include the schematics, PCB layout, Gerber and BOM list of ESP32 modules and development boards.
- [ESP32 Hardware Design Guidelines](#)  
The guidelines outline recommended design practices when developing standalone or add-on systems based on the ESP32 series of products, including the ESP32 chip, the ESP32 modules and development boards.
- [ESP32 AT Instruction Set and Examples](#)  
This document introduces the ESP32 AT commands, explains how to use them, and provides examples of several common AT commands.
- [Espressif Products Ordering Information](#)

### 10.2 Must-Have Resources

Here are the ESP32-related must-have resources.

- [ESP32 BBS](#)  
This is an Engineer-to-Engineer (E2E) Community for ESP32 where you can post questions, share knowledge, explore ideas, and help solve problems with fellow engineers.
- [ESP32 GitHub](#)  
ESP32 development projects are freely distributed under Espressif's MIT license on GitHub. It is established to help developers get started with ESP32 and foster innovation and the growth of general knowledge about the hardware and software surrounding ESP32 devices.
- [ESP32 Tools](#)  
This is a webpage where users can download ESP32 Flash Download Tools and the zip file "ESP32 Certification and Test".

- [ESP-IDF](#)

This webpage links users to the official IoT development framework for ESP32.

- [ESP32 Resources](#)

This webpage provides the links to all available ESP32 documents, SDK and tools.

## Revision History

Date	Version	Release notes
2020.11	V3.0	<p>Added TWAI™ in Table 1;</p> <p>Added a note under Figure 2: Reflow Profile;</p> <p>Updated the C value in RC circuit from 0.1 <math>\mu</math>F to 1 <math>\mu</math>F;</p> <p>Provided feedback link.</p>
2019.09	V2.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changed the supply voltage range from 2.7 V ~ 3.6 V to 3.0 V ~ 3.6 V;</li> <li>• Added Moisture sensitivity level (MSL) 3 in Table 1 <i>ESP32-WROOM-32 Specifications</i>;</li> <li>• Added notes about "Operating frequency range" and "TX power" under Table 7 <i>Wi-Fi Radio Characteristics</i>;</li> <li>• Updated Section 7 <i>Peripheral Schematics</i> and added a note about RC delay circuit under it;</li> <li>• Updated Figure 8 <i>Recommended PCB Land Pattern</i>.</li> </ul>
2019.01	V2.8	Changed the RF power control range in Table 9 from -12 ~ +12 to -12 ~ +9 dBm.
2018.10	V2.7	<p>Added "Cumulative IO output current" entry to Table 4: Absolute Maximum Ratings;</p> <p>Added more parameters to Table 6: DC Characteristics.</p>
2018.08	V2.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Added reliability test items the module has passed in Table 1: ESP32-WROOM-32 Specifications, and removed software-specific information;</li> <li>• Updated section 3.4: RTC and Low-Power Management;</li> <li>• Changed the module's dimensions from (18±0.2) mm x (25.5 ±0.2) mm x (3.1±0.15) mm to (18.00±0.10) mm x (25.50±0.10) mm x (3.10±0.10) mm;</li> <li>• Updated Figure 8: Physical Dimensions;</li> <li>• Updated Table 7: Wi-Fi Radio.</li> </ul>
2018.06	V2.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changed the module name to ESP32-WROOM-32;</li> <li>• Deleted Temperature Sensor in Table 1: ESP32-WROOM-32 Specifications;</li> <li>• Updated Chapter 3: Functional Description;</li> <li>• Added Chapter 8: Recommended PCB Land Pattern;</li> </ul> <p>Changes to electrical characteristics:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Updated Table 4: Absolute Maximum Ratings;</li> <li>• Added Table 5: Recommended Operating Conditions;</li> <li>• Added Table 6: DC Characteristics;</li> <li>• Updated the values of "Gain control step", "Adjacent channel transmit power" in Table 9: Transmitter Characteristics - BLE.</li> </ul>
2018.03	V2.4	Updated Table 1 in Chapter 1.
2018.01	V2.3	<p>Deleted information on LNA pre-amplifier;</p> <p>Updated section 3.4 RTC and Low-Power Management;</p> <p>Added reset circuit in Chapter 7 and a note to it.</p>
2017.10	V2.2	<p>Updated the description of the chip's system reset in Section 2.3 Strapping Pins;</p> <p>Deleted "Association sleep pattern" in Table "Power Consumption by Power Modes" and added notes to Active sleep and Modem-sleep;</p> <p>Updated the note to Figure 4 Peripheral Schematics;</p> <p>Added discharge circuit for VDD33 rail in Chapter 7 and a note to it.</p>
2017.09	V2.1	Updated operating voltage/power supply range updated to 2.7 ~ 3.6V;

Date	Version	Release notes
		Updated Chapter 7.
2017.08	V2.0	Changed the sensitivity of NZIF receiver to -97 dBm in Table 1; Updated the dimensions of the module; Updated Table “Power Consumption by Power Modes” Power Consumption by Power Modes, and added two notes to it; Updated Table 4, 7, 8, 9; Added Chapter 8; Added the link to <a href="#">certification download</a> .
2017.06	V1.9	Added a note to Section 2.1 Pin Layout; Updated Section 3.3 Crystal Oscillators; Updated Figure 3 ESP-WROOM-32 Schematics; Added Documentation Change Notification.
2017.05	V1.8	Updated Figure 1 Top and Side View of ESP32-WROOM-32 (ESP-WROOM-32).
2017.04	V1.7	Added the module’s dimensional tolerance; Changed the input impedance value of 50Ω in Table 7 Wi-Fi Radio Characteristics to output impedance value of 30+j10 Ω.
2017.04	V1.6	Added Figure 2 Reflow Profile.
2017.03	V1.5	Updated Section 2.2 Pin Description; Updated Section 3.2 External Flash and SRAM; Updated Section 4 Peripherals and Sensors Description.
2017.03	V1.4	Updated Chapter 1 Preface; Updated Chapter 2 Pin Definitions; Updated Chapter 3 Functional Description; Updated Table Recommended Operating Conditions; Updated Table 7 Wi-Fi Radio Characteristics; Updated Section 5.6 Reflow Profile; Added Chapter 10 Learning Resources.
2016.12	V1.3	Updated Section 2.1 Pin Layout.
2016.11	V1.2	Added Figure 7 Peripheral Schematics.
2016.11	V1.1	Updated Chapter 6 Schematics.
2016.08	V1.0	First release.

# ESP32 Series

## Datasheet

### Including:

ESP32-D0WD-V3

ESP32-D0WDQ6-V3

ESP32-D0WD

ESP32-D0WDQ6

ESP32-D2WD

ESP32-S0WD

ESP32-U4WDH



Version 3.5  
Espressif Systems  
Copyright © 2021

## About This Guide

This document provides the specifications of ESP32 family of chips.

## Document Updates

Please always refer to the latest version on <https://www.espressif.com/en/support/download/documents>.

## Revision History

For any changes to this document over time, please refer to the [last page](#).

## Documentation Change Notification

Espressif provides email notifications to keep customers updated on changes to technical documentation.

Please subscribe at [www.espressif.com/en/subscribe](http://www.espressif.com/en/subscribe). Note that you need to update your subscription to receive notifications of new products you are not currently subscribed to.

## Certification

Download certificates for Espressif products from [www.espressif.com/en/certificates](http://www.espressif.com/en/certificates).



# Contents

<b>1</b>	<b>Overview</b>	<b>8</b>
1.1	Featured Solutions	8
1.1.1	Ultra-Low-Power Solution	8
1.1.2	Complete Integration Solution	8
1.2	Wi-Fi Key Features	8
1.3	BT Key Features	9
1.4	MCU and Advanced Features	9
1.4.1	CPU and Memory	9
1.4.2	Clocks and Timers	10
1.4.3	Advanced Peripheral Interfaces	10
1.4.4	Security	10
1.5	Applications (A Non-exhaustive List)	11
1.6	Block Diagram	12
<b>2</b>	<b>Pin Definitions</b>	<b>13</b>
2.1	Pin Layout	13
2.2	Pin Description	15
2.3	Power Scheme	18
2.4	Strapping Pins	19
<b>3</b>	<b>Functional Description</b>	<b>22</b>
3.1	CPU and Memory	22
3.1.1	CPU	22
3.1.2	Internal Memory	22
3.1.3	External Flash and SRAM	23
3.1.4	Memory Map	23
3.2	Timers and Watchdogs	25
3.2.1	64-bit Timers	25
3.2.2	Watchdog Timers	25
3.3	System Clocks	26
3.3.1	CPU Clock	26
3.3.2	RTC Clock	26
3.3.3	Audio PLL Clock	26
3.4	Radio	26
3.4.1	2.4 GHz Receiver	27
3.4.2	2.4 GHz Transmitter	27
3.4.3	Clock Generator	27
3.5	Wi-Fi	27
3.5.1	Wi-Fi Radio and Baseband	27
3.5.2	Wi-Fi MAC	28
3.6	Bluetooth	28
3.6.1	Bluetooth Radio and Baseband	28

3.6.2	Bluetooth Interface	29
3.6.3	Bluetooth Stack	29
3.6.4	Bluetooth Link Controller	29
3.7	RTC and Low-Power Management	30
<b>4</b>	<b>Peripherals and Sensors</b>	<b>32</b>
4.1	Descriptions of Peripherals and Sensors	32
4.1.1	General Purpose Input / Output Interface (GPIO)	32
4.1.2	Analog-to-Digital Converter (ADC)	32
4.1.3	Hall Sensor	33
4.1.4	Digital-to-Analog Converter (DAC)	33
4.1.5	Touch Sensor	33
4.1.6	Ultra-Low-Power Co-processor	33
4.1.7	Ethernet MAC Interface	34
4.1.8	SD/SDIO/MMC Host Controller	34
4.1.9	SDIO/SPI Slave Controller	34
4.1.10	Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)	35
4.1.11	I <sup>2</sup> C Interface	35
4.1.12	I <sup>2</sup> S Interface	35
4.1.13	Infrared Remote Controller	35
4.1.14	Pulse Counter	35
4.1.15	Pulse Width Modulation (PWM)	36
4.1.16	LED PWM	36
4.1.17	Serial Peripheral Interface (SPI)	36
4.1.18	Accelerator	36
4.2	Peripheral Pin Configurations	37
<b>5</b>	<b>Electrical Characteristics</b>	<b>42</b>
5.1	Absolute Maximum Ratings	42
5.2	Recommended Operating Conditions	42
5.3	DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)	43
5.4	Reliability Qualifications	43
5.5	RF Power-Consumption Specifications	44
5.6	Wi-Fi Radio	44
5.7	Bluetooth Radio	45
5.7.1	Receiver – Basic Data Rate	45
5.7.2	Transmitter – Basic Data Rate	45
5.7.3	Receiver – Enhanced Data Rate	46
5.7.4	Transmitter – Enhanced Data Rate	46
5.8	Bluetooth LE Radio	47
5.8.1	Receiver	47
5.8.2	Transmitter	47
<b>6</b>	<b>Package Information</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Part Number and Ordering Information</b>	<b>49</b>

<b>8</b>	<b>Learning Resources</b>	50
8.1	Must-Read Documents	50
8.2	Must-Have Resources	50
	<b>Appendix A – ESP32 Pin Lists</b>	51
A.1.	Notes on ESP32 Pin Lists	51
A.2.	GPIO_Matrix	53
A.3.	Ethernet_MAC	58
A.4.	IO_MUX	58
	<b>Revision History</b>	60

## List of Tables

1	Pin Description	15
2	Description of ESP32 Power-up and Reset Timing Parameters	19
3	Strapping Pins	20
4	Parameter Descriptions of Setup and Hold Times for the Strapping Pin	21
5	Memory and Peripheral Mapping	24
6	Power Consumption by Power Modes	30
7	ADC Characteristics	32
8	ADC Calibration Results	33
9	Capacitive-Sensing GPIOs Available on ESP32	33
10	Peripheral Pin Configurations	37
11	Absolute Maximum Ratings	42
12	Recommended Operating Conditions	42
13	DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)	43
14	Reliability Qualifications	43
15	RF Power-Consumption Specifications	44
16	Wi-Fi Radio Characteristics	44
17	Receiver Characteristics – Basic Data Rate	45
18	Transmitter Characteristics – Basic Data Rate	45
19	Receiver Characteristics – Enhanced Data Rate	46
20	Transmitter Characteristics – Enhanced Data Rate	46
21	Receiver Characteristics – BLE	47
22	Transmitter Characteristics – BLE	47
23	ESP32 Ordering Information	49
24	Notes on ESP32 Pin Lists	51
25	GPIO_Matrix	53
26	Ethernet_MAC	58

## List of Figures

1	Functional Block Diagram	12
2	ESP32 Pin Layout (QFN 6*6, Top View)	13
3	ESP32 Pin Layout (QFN 5*5, Top View)	14
4	ESP32 Power Scheme	18
5	ESP32 Power-up and Reset Timing	19
6	Setup and Hold Times for the Strapping Pin	21
7	Address Mapping Structure	23
8	QFN48 (6x6 mm) Package	48
9	QFN48 (5x5 mm) Package	48
10	ESP32 Part Number	49

# 1 Overview

ESP32 is a single 2.4 GHz Wi-Fi-and-Bluetooth combo chip designed with the TSMC ultra-low-power 40 nm technology. It is designed to achieve the best power and RF performance, showing robustness, versatility and reliability in a wide variety of applications and power scenarios.

The ESP32 series of chips includes ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDQ6-V3, ESP32-D0WD, ESP32-D0WDQ6, ESP32-D2WD, ESP32-S0WD, and ESP32-U4WDH, among which, ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDQ6-V3, and ESP32-U4WDH are based on ECO V3 wafer.

For details on part numbers and ordering information, please refer to Section 7.

For details on ECO V3 instructions, please refer to [ESP32 ECO V3 User Guide](#).

## 1.1 Featured Solutions

### 1.1.1 Ultra-Low-Power Solution

ESP32 is designed for mobile, wearable electronics, and Internet-of-Things (IoT) applications. It features all the state-of-the-art characteristics of low-power chips, including fine-grained clock gating, multiple power modes, and dynamic power scaling. For instance, in a low-power IoT sensor hub application scenario, ESP32 is woken up periodically and only when a specified condition is detected. Low-duty cycle is used to minimize the amount of energy that the chip expends. The output of the power amplifier is also adjustable, thus contributing to an optimal trade-off between communication range, data rate and power consumption.

**Note:**

For more information, refer to Section 3.7 *RTC and Low-Power Management*.

### 1.1.2 Complete Integration Solution

ESP32 is a highly-integrated solution for Wi-Fi-and-Bluetooth IoT applications, with around 20 external components. ESP32 integrates an antenna switch, RF balun, power amplifier, low-noise receive amplifier, filters, and power management modules. As such, the entire solution occupies minimal Printed Circuit Board (PCB) area.

ESP32 uses CMOS for single-chip fully-integrated radio and baseband, while also integrating advanced calibration circuitries that allow the solution to remove external circuit imperfections or adjust to changes in external conditions. As such, the mass production of ESP32 solutions does not require expensive and specialized Wi-Fi testing equipment.

## 1.2 Wi-Fi Key Features

- 802.11 b/g/n
- 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- WMM
- TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU
- Immediate Block ACK

- Defragmentation
- Automatic Beacon monitoring (hardware TSF)
- 4 × virtual Wi-Fi interfaces
- Simultaneous support for Infrastructure Station, SoftAP, and Promiscuous modes  
Note that when ESP32 is in Station mode, performing a scan, the SoftAP channel will be changed.
- Antenna diversity

**Note:**

For more information, please refer to Section [3.5 Wi-Fi](#).

## 1.3 BT Key Features

- Compliant with Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE specifications
- Class-1, class-2 and class-3 transmitter without external power amplifier
- Enhanced Power Control
- +12 dBm transmitting power
- NZIF receiver with -94 dBm BLE sensitivity
- Adaptive Frequency Hopping (AFH)
- Standard HCI based on SDIO/SPI/UART
- High-speed UART HCI, up to 4 Mbps
- Bluetooth 4.2 BR/EDR BLE dual mode controller
- Synchronous Connection-Oriented/Extended (SCO/eSCO)
- CVSD and SBC for audio codec
- Bluetooth Piconet and Scatternet
- Multi-connections in Classic BT and BLE
- Simultaneous advertising and scanning

## 1.4 MCU and Advanced Features

### 1.4.1 CPU and Memory

- Xtensa® single-/dual-core 32-bit LX6 microprocessor(s), up to 600 MIPS (200 MIPS for ESP32-S0WD/ESP32-U4WDH, 400 MIPS for ESP32-D2WD)
- 448 KB ROM
- 520 KB SRAM
- 16 KB SRAM in RTC
- QSPI supports multiple flash/SRAM chips

### 1.4.2 Clocks and Timers

- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz ~ 60 MHz crystal oscillator (40 MHz only for Wi-Fi/BT functionality)
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 × 64-bit timers and 1 × main watchdog in each group
- One RTC timer
- RTC watchdog

### 1.4.3 Advanced Peripheral Interfaces

- 34 × programmable GPIOs
- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 × 8-bit DAC
- 10 × touch sensors
- 4 × SPI
- 2 × I<sup>2</sup>S
- 2 × I<sup>2</sup>C
- 3 × UART
- 1 host (SD/eMMC/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- Two-Wire Automotive Interface (TWAI<sup>®</sup>, compatible with ISO11898-1)
- IR (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels
- Hall sensor

### 1.4.4 Security

- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Cryptographic hardware acceleration:
  - AES
  - Hash (SHA-2)



- RSA
- ECC
- Random Number Generator (RNG)

## 1.5 Applications (A Non-exhaustive List)

- Generic Low-power IoT Sensor Hub
- Generic Low-power IoT Data Loggers
- Cameras for Video Streaming
- Over-the-top (OTT) Devices
- Speech Recognition
- Image Recognition
- Mesh Network
- Home Automation
  - Light control
  - Smart plugs
  - Smart door locks
- Smart Building
  - Smart lighting
  - Energy monitoring
- Industrial Automation
  - Industrial wireless control
  - Industrial robotics
- Smart Agriculture
  - Smart greenhouses
  - Smart irrigation
- Agriculture robotics
- Audio Applications
  - Internet music players
  - Live streaming devices
  - Internet radio players
  - Audio headsets
- Health Care Applications
  - Health monitoring
  - Baby monitors
- Wi-Fi-enabled Toys
  - Remote control toys
  - Proximity sensing toys
  - Educational toys
- Wearable Electronics
  - Smart watches
  - Smart bracelets
- Retail & Catering Applications
  - POS machines
  - Service robots

## 1.6 Block Diagram

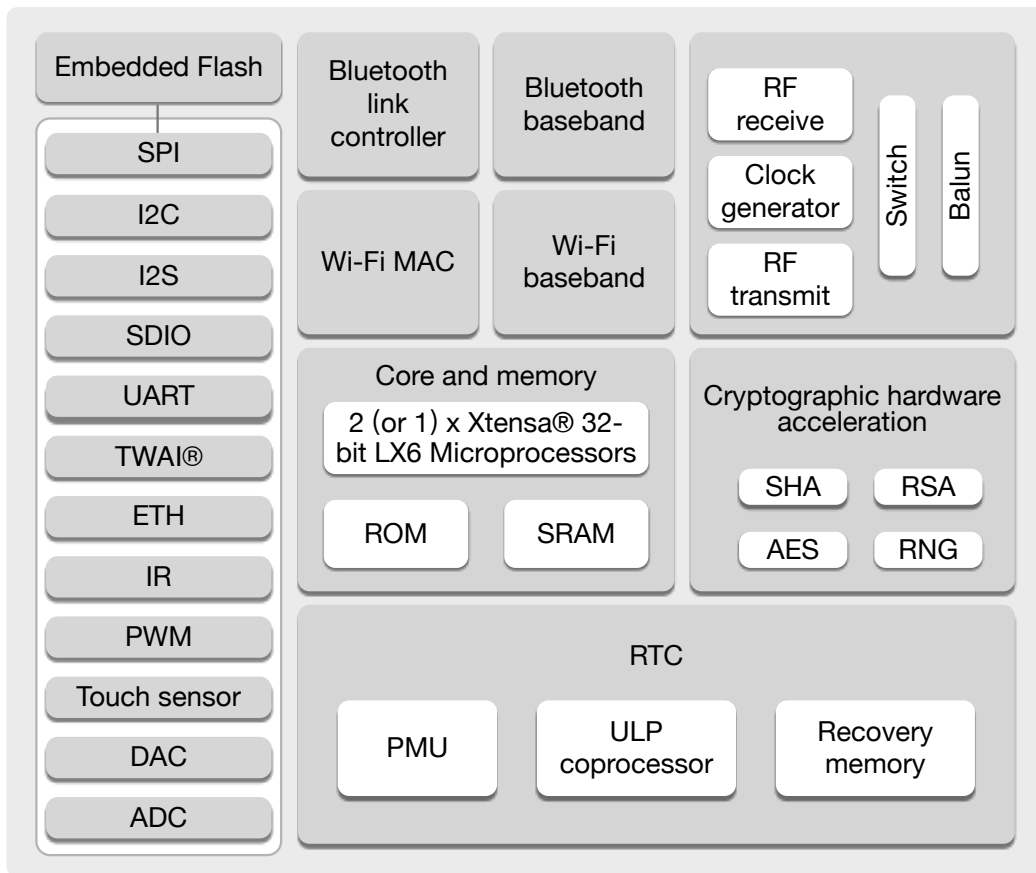


Figure 1: Functional Block Diagram

**Note:**

Products in the ESP32 series differ from each other in terms of their support for embedded flash and the number of CPUs they have. For details, please refer to Section 7 *Part Number and Ordering Information*.

## 2 Pin Definitions

### 2.1 Pin Layout

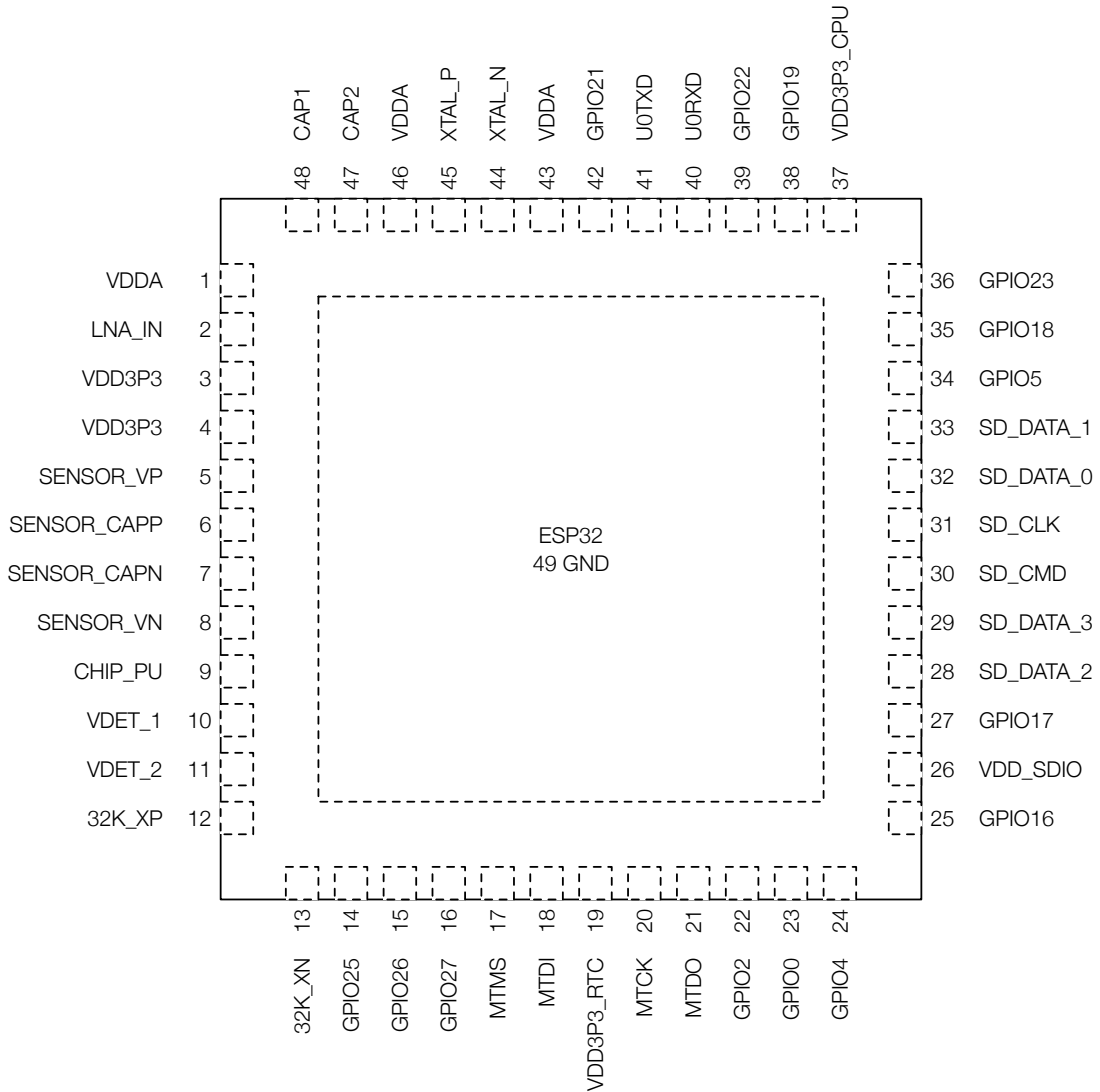


Figure 2: ESP32 Pin Layout (QFN 6\*6, Top View)

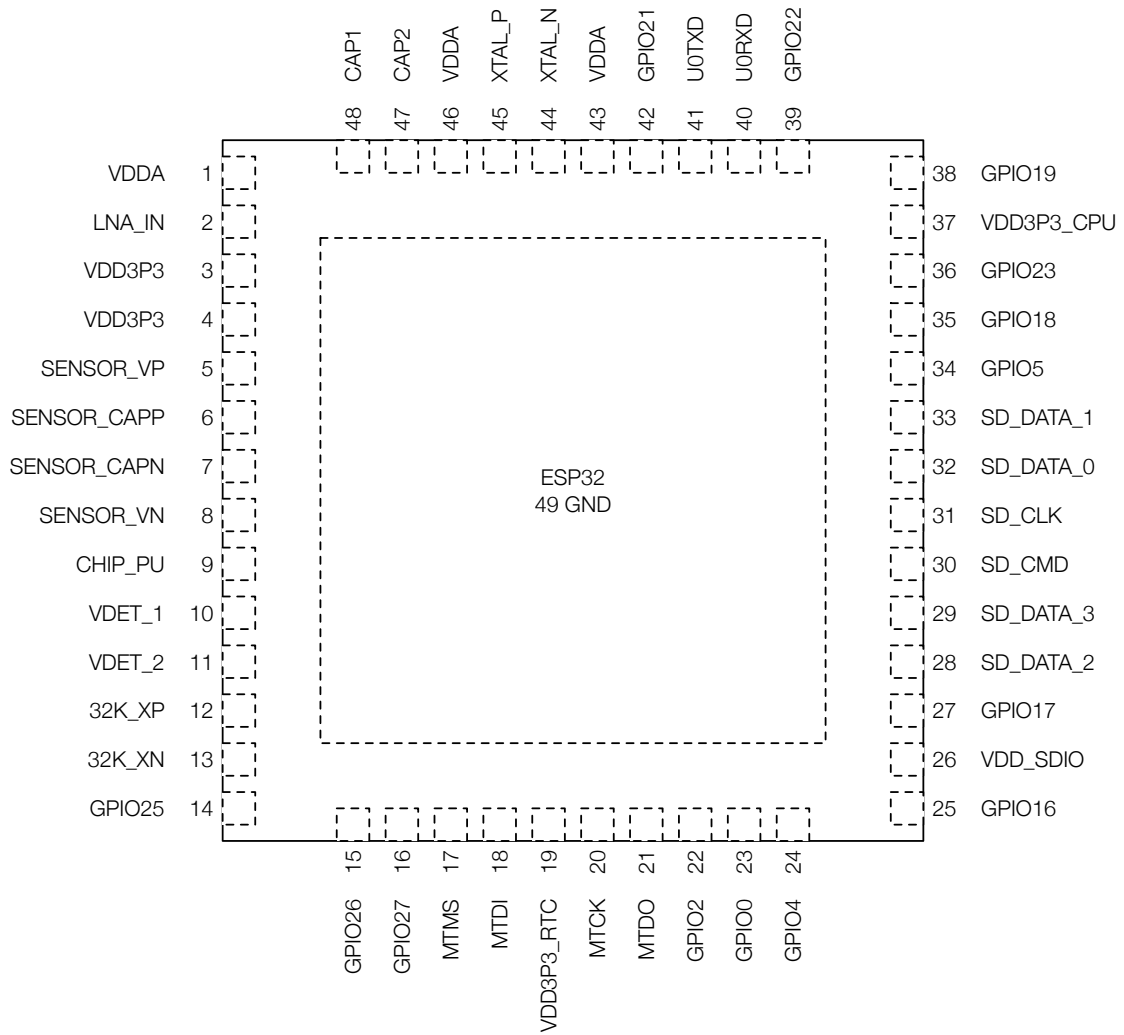


Figure 3: ESP32 Pin Layout (QFN 5\*5, Top View)

**Note:**

For details on ESP32's part numbers and the corresponding packaging, please refer to Section 7 *Part Number and Ordering Information*.

## 2.2 Pin Description

Table 1: Pin Description

Name	No.	Type	Function
Analog			
VDDA	1	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
LNA_IN	2	I/O	RF input and output
VDD3P3	3	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
VDD3P3	4	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
VDD3P3_RTC			
SENSOR_VP	5	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_CAPP	6	I	GPIO37, ADC1_CH1, RTC_GPIO1
SENSOR_CAPN	7	I	GPIO38, ADC1_CH2, RTC_GPIO2
SENSOR_VN	8	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
CHIP_PU	9	I	High: On; enables the chip Low: Off; the chip powers off Note: Do not leave the CHIP_PU pin floating.
VDET_1	10	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
VDET_2	11	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
32K_XP	12	I/O	GPIO32, ADC1_CH4, RTC_GPIO9, TOUCH9, 32K_XP (32.768 kHz crystal oscillator input)
32K_XN	13	I/O	GPIO33, ADC1_CH5, RTC_GPIO8, TOUCH8, 32K_XN (32.768 kHz crystal oscillator output)
GPIO25	14	I/O	GPIO25, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, DAC_1, EMAC_RXD0
GPIO26	15	I/O	GPIO26, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, DAC_2, EMAC_RXD1
GPIO27	16	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, RTC_GPIO17, TOUCH7, EMAC_RX_DV
MTMS	17	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, RTC_GPIO16, TOUCH6, EMAC_TXD2, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, MTMS
MTDI	18	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, RTC_GPIO15, TOUCH5, EMAC_TXD3, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, MTDI
VDD3P3_RTC	19	P	Input power supply for RTC IO (2.3 V ~ 3.6 V)
MTCK	20	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, RTC_GPIO14, TOUCH4, EMAC_RX_ER, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, MTCK
MTDO	21	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, RTC_GPIO13, TOUCH3, EMAC_RXD3, HSPICS0, HS2_CMD, SD_CMD, MTDO

Name	No.	Type	Function
GPIO2	22	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, RTC_GPIO12, TOUCH2, HSPIWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
GPIO0	23	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, RTC_GPIO11, TOUCH1, EMAC_TX_CLK, CLK_OUT1,
GPIO4	24	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, RTC_GPIO10, TOUCH0, EMAC_TX_ER, HSPIHD, HS2_DATA1, SD_DATA1
VDD_SDIO			
GPIO16	25	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
VDD_SDIO	26	P	Output power supply: 1.8 V or the same voltage as VDD3P3_RTC
GPIO17	27	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
SD_DATA_2	28	I/O	GPIO9, HS1_DATA2, U1RXD, SD_DATA2, SPIHD
SD_DATA_3	29	I/O	GPIO10, HS1_DATA3, U1TXD, SD_DATA3, SPIWP
SD_CMD	30	I/O	GPIO11, HS1_CMD, U1RTS, SD_CMD, SPICS0
SD_CLK	31	I/O	GPIO6, HS1_CLK, U1CTS, SD_CLK, SPICLK
SD_DATA_0	32	I/O	GPIO7, HS1_DATA0, U2RTS, SD_DATA0, SPIQ
SD_DATA_1	33	I/O	GPIO8, HS1_DATA1, U2CTS, SD_DATA1, SPID
VDD3P3_CPU			
GPIO5	34	I/O	GPIO5, HS1_DATA6, VSPICS0, EMAC_RX_CLK
GPIO18	35	I/O	GPIO18, HS1_DATA7, VSPICLK
GPIO23	36	I/O	GPIO23, HS1_STROBE, VSPID
VDD3P3_CPU	37	P	Input power supply for CPU IO (1.8 V ~ 3.6 V)
GPIO19	38	I/O	GPIO19, U0CTS, VSPIQ, EMAC_TXD0
GPIO22	39	I/O	GPIO22, U0RTS, VSPIWP, EMAC_TXD1
U0RXD	40	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
U0TXD	41	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
GPIO21	42	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
Analog			
VDDA	43	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
XTAL_N	44	O	External crystal output
XTAL_P	45	I	External crystal input
VDDA	46	P	Analog power supply (2.3 V ~ 3.6 V)
CAP2	47	I	Connects to a 3.3 nF (10%) capacitor and 20 kΩ resistor in parallel to CAP1

Name	No.	Type	Function
CAP1	48	I	Connects to a 10 nF series capacitor to ground
GND	49	P	Ground

**Note:**

- The pin-pin mapping between ESP32-D2WD/ESP32-U4WDH and the embedded flash is as follows: GPIO16 = CS#, GPIO17 = IO1/DO, SD\_CMD = IO3/HOLD#, SD\_CLK = CLK, SD\_DATA\_0 = IO2/WP#, SD\_DATA\_1 = IO0/DI. The pins used for embedded flash are not recommended for other uses.
- In most cases, the data port connection between ESP32 series of chips other than ESP32-D2WD/ESP32-U4WDH and external flash is as follows: SD\_DATA0/SPIQ = IO1/DO, SD\_DATA1/SPID = IO0/DI, SD\_DATA2/SPIHD = IO3/HOLD#, SD\_DATA3/SPIWP = IO2/WP#.
- For a quick reference guide to using the IO\_MUX, Ethernet MAC, and GIPO Matrix pins of ESP32, please refer to Appendix [ESP32 Pin Lists](#).

## 2.3 Power Scheme

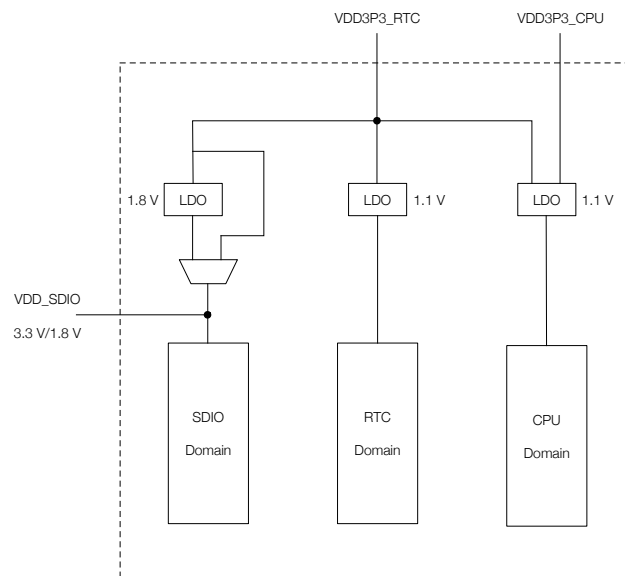
ESP32's digital pins are divided into three different power domains:

- VDD3P3\_RTC
- VDD3P3\_CPU
- VDD\_SDIO

VDD3P3\_RTC is also the input power supply for RTC and CPU.

VDD3P3\_CPU is also the input power supply for CPU.

VDD\_SDIO connects to the output of an internal LDO whose input is VDD3P3\_RTC. When VDD\_SDIO is connected to the same PCB net together with VDD3P3\_RTC, the internal LDO is disabled automatically. The power scheme diagram is shown below:



**Figure 4: ESP32 Power Scheme**

The internal LDO can be configured as having 1.8 V, or the same voltage as VDD3P3\_RTC. It can be powered off via software to minimize the current of flash/SRAM during the Deep-sleep mode.

### Notes on CHIP\_PU:

- The illustration below shows the ESP32 power-up and reset timing. Details about the parameters are listed in Table 2.



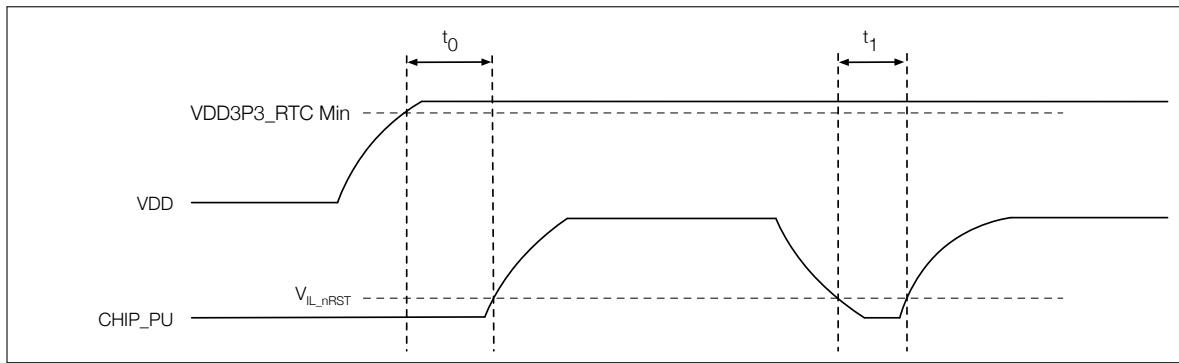


Figure 5: ESP32 Power-up and Reset Timing

Table 2: Description of ESP32 Power-up and Reset Timing Parameters

Parameters	Description	Min.	Unit
$t_0$	Time between the 3.3 V rails being brought up and CHIP_PU being activated	50	$\mu\text{s}$
$t_1$	Duration of CHIP_PU signal level $< V_{IL,nRST}$ (refer to its value in Table 13 DC Characteristics) to reset the chip	50	$\mu\text{s}$

- In scenarios where ESP32 is powered on and off repeatedly by switching the power rails, while there is a large capacitor on the VDD33 rail and CHIP\_PU and VDD33 are connected, simply switching off the CHIP\_PU power rail and immediately switching it back on may cause an incomplete power discharge cycle and failure to reset the chip adequately.

An additional discharge circuit may be required to accelerate the discharge of the large capacitor on rail VDD33, which will ensure proper power-on-reset when the ESP32 is powered up again. Please find the discharge circuit in Figure **ESP32-WROOM-32 Peripheral Schematics**, in [ESP32-WROOM-32 Datasheet](#).

- When a battery is used as the power supply for the ESP32 series of chips and modules, a supply voltage supervisor is recommended, so that a boot failure due to low voltage is avoided. Users are recommended to pull CHIP\_PU low if the power supply for ESP32 is below 2.3 V. For the reset circuit, please refer to Figure **ESP32-WROOM-32 Peripheral Schematics**, in [ESP32-WROOM-32 Datasheet](#).

#### Notes on power supply:

- The operating voltage of ESP32 ranges from 2.3 V to 3.6 V. When using a single-power supply, the recommended voltage of the power supply is 3.3 V, and its recommended output current is 500 mA or more.
- When VDD\_SDIO 1.8 V is used as the power supply for external flash/PSRAM, a 2-kohm grounding resistor should be added to VDD\_SDIO. For the circuit design, please refer to Figure **ESP32-WROVER Schematics**, in [ESP32-WROVER Datasheet](#).
- When the three digital power supplies are used to drive peripherals, e.g., 3.3 V flash, they should comply with the peripherals' specifications.

## 2.4 Strapping Pins

There are five strapping pins:

- MTDI

- GPIO0
- GPIO2
- MTDO
- GPIO5

Software can read the values of these five bits from register "GPIO\_STRAPPING".

During the chip's system reset release (power-on-reset, RTC watchdog reset and brownout reset), the latches of the strapping pins sample the voltage level as strapping bits of "0" or "1", and hold these bits until the chip is powered down or shut down. The strapping bits configure the device's boot mode, the operating voltage of VDD\_SDIO and other initial system settings.

Each strapping pin is connected to its internal pull-up/pull-down during the chip reset. Consequently, if a strapping pin is unconnected or the connected external circuit is high-impedance, the internal weak pull-up/pull-down will determine the default input level of the strapping pins.

To change the strapping bit values, users can apply the external pull-down/pull-up resistances, or use the host MCU's GPIOs to control the voltage level of these pins when powering on the chip.

After reset release, the strapping pins work as normal-function pins.

Refer to Table 3 for a detailed boot-mode configuration by strapping pins.

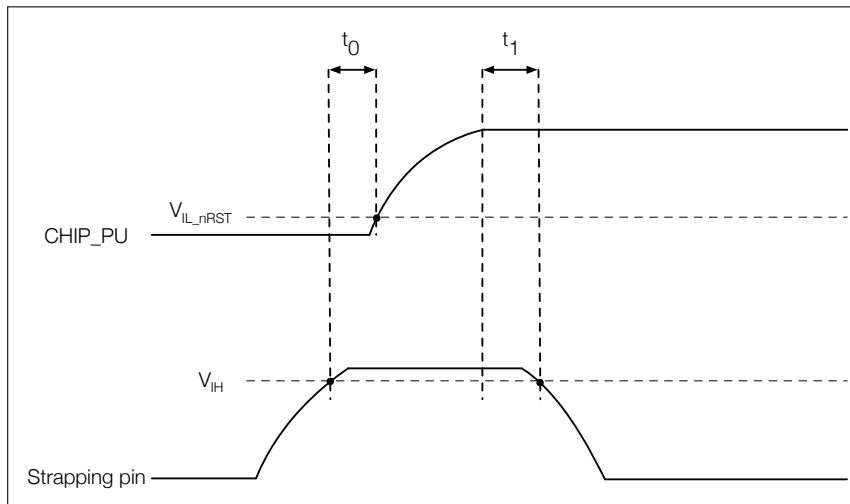
**Table 3: Strapping Pins**

Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO)					
Pin	Default	3.3 V		1.8 V	
MTDI	Pull-down	0		1	
Bootling Mode					
Pin	Default	SPI Boot		Download Boot	
GPIO0	Pull-up	1		0	
GPIO2	Pull-down	Don't-care		0	
Enabling/Disabling Debugging Log Print over U0TXD During Bootling					
Pin	Default	U0TXD Active		U0TXD Silent	
MTDO	Pull-up	1		0	
Timing of SDIO Slave					
Pin	Default	FE Sampling FE Output	FE Sampling RE Output	RE Sampling FE Output	RE Sampling RE Output
MTDO	Pull-up	0	0	1	1
GPIO5	Pull-up	0	1	0	1

**Note:**

- FE: falling-edge, RE: rising-edge.
- Firmware can configure register bits to change the settings of "Voltage of Internal LDO (VDD\_SDIO)" and "Timing of SDIO Slave", after bootling.
- For ESP32 chips that contain an embedded flash, users need to note the logic level of MTDI. For example, ESP32-D2WD contains an embedded flash that operates at 1.8 V, therefore, the MTDI should be pulled high. ESP32-U4WDH contains an embedded flash that operates at 3.3 V, therefore, the MTDI should be low.

The illustration below shows the setup and hold times for the strapping pin before and after the CHIP\_PU signal goes high. Details about the parameters are listed in Table 4.



**Figure 6: Setup and Hold Times for the Strapping Pin**

**Table 4: Parameter Descriptions of Setup and Hold Times for the Strapping Pin**

Parameters	Description	Min.	Unit
$t_0$	Setup time before CHIP_PU goes from low to high	0	ms
$t_1$	Hold time after CHIP_PU goes high	1	ms

## 3 Functional Description

This chapter describes the functions integrated in ESP32.

### 3.1 CPU and Memory

#### 3.1.1 CPU

ESP32 contains one or two low-power Xtensa® 32-bit LX6 microprocessor(s) with the following features:

- 7-stage pipeline to support the clock frequency of up to 240 MHz (160 MHz for ESP32-S0WD, ESP32-D2WD, and ESP32-U4WDH)
- 16/24-bit Instruction Set provides high code-density
- Support for Floating Point Unit
- Support for DSP instructions, such as a 32-bit multiplier, a 32-bit divider, and a 40-bit MAC
- Support for 32 interrupt vectors from about 70 interrupt sources

The single-/dual-CPU interfaces include:

- Xtensa RAM/ROM Interface for instructions and data
- Xtensa Local Memory Interface for fast peripheral register access
- External and internal interrupt sources
- JTAG for debugging

#### 3.1.2 Internal Memory

ESP32's internal memory includes:

- 448 KB of ROM for booting and core functions
- 520 KB of on-chip SRAM for data and instructions
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC FAST Memory and can be used for data storage; it is accessed by the main CPU during RTC Boot from the Deep-sleep mode.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC SLOW Memory and can be accessed by the co-processor during the Deep-sleep mode.
- 1 Kbit of eFuse: 256 bits are used for the system (MAC address and chip configuration) and the remaining 768 bits are reserved for customer applications, including flash-encryption and chip-ID.
- Embedded flash

**Note:**

Products in the ESP32 series differ from each other, in terms of their support for embedded flash and the size of it. For details, please refer to Section 7 *Part Number and Ordering Information*.

### 3.1.3 External Flash and SRAM

ESP32 supports multiple external QSPI flash and SRAM chips. More details can be found in Chapter SPI in the [ESP32 Technical Reference Manual](#). ESP32 also supports hardware encryption/decryption based on AES to protect developers' programs and data in flash.

ESP32 can access the external QSPI flash and SRAM through high-speed caches.

- Up to 16 MB of external flash can be mapped into CPU instruction memory space and read-only memory space simultaneously.
  - When external flash is mapped into CPU instruction memory space, up to 11 MB + 248 KB can be mapped at a time. Note that if more than 3 MB + 248 KB are mapped, cache performance will be reduced due to speculative reads by the CPU.
  - When external flash is mapped into read-only data memory space, up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads are supported.
- External SRAM can be mapped into CPU data memory space. SRAM up to 8 MB is supported and up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads and writes are supported.

**Note:**  
After ESP32 is initialized, firmware can customize the mapping of external SRAM or flash into the CPU address space.

### 3.1.4 Memory Map

The structure of address mapping is shown in Figure 7. The memory and peripheral mapping of ESP32 is shown in Table 5.

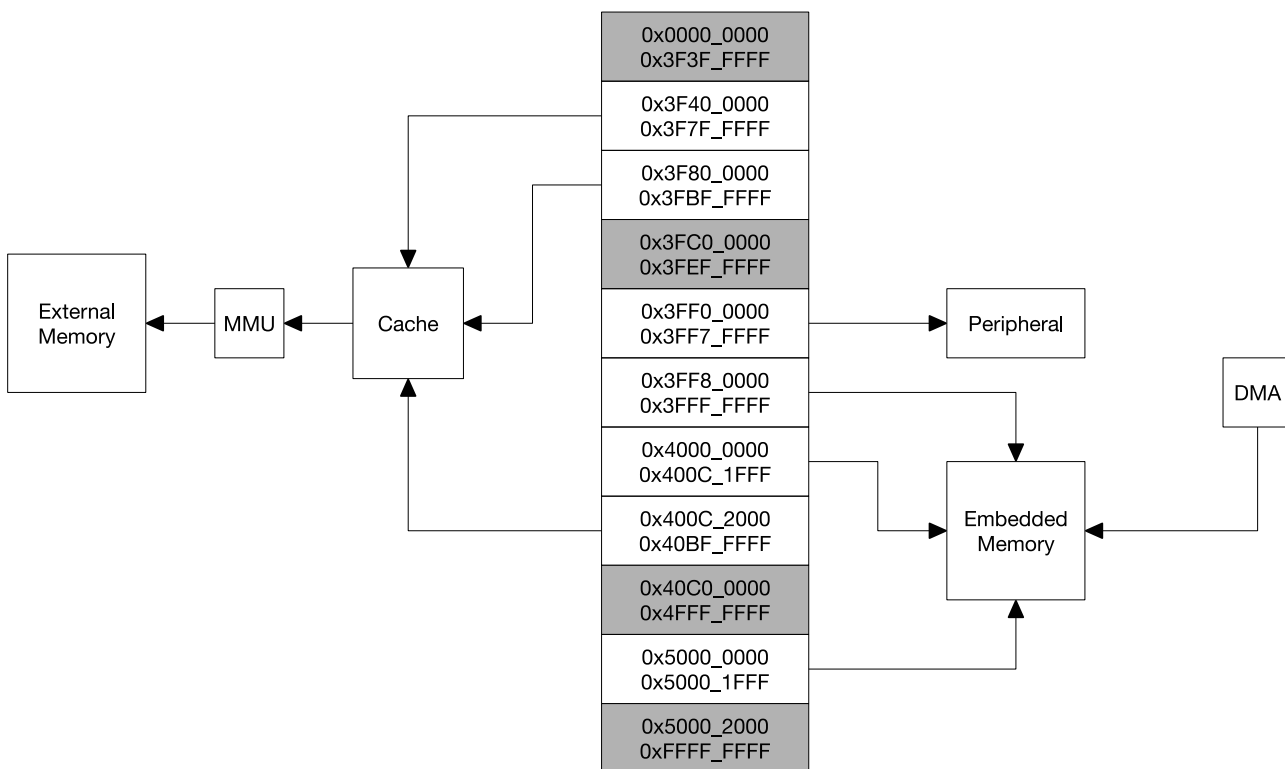


Figure 7: Address Mapping Structure

Table 5: Memory and Peripheral Mapping

Category	Target	Start Address	End Address	Size
Embedded Memory	Internal ROM 0	0x4000_0000	0x4005_FFFF	384 KB
	Internal ROM 1	0x3FF9_0000	0x3FF9_FFFF	64 KB
	Internal SRAM 0	0x4007_0000	0x4009_FFFF	192 KB
	Internal SRAM 1	0x3FFE_0000	0x3FFF_FFFF	128 KB
		0x400A_0000	0x400B_FFFF	
	Internal SRAM 2	0x3FFA_E000	0x3FFD_FFFF	200 KB
	RTC FAST Memory	0x3FF8_0000	0x3FF8_1FFF	8 KB
0x400C_0000		0x400C_1FFF		
RTC SLOW Memory	0x5000_0000	0x5000_1FFF	8 KB	
External Memory	External Flash	0x3F40_0000	0x3F7F_FFFF	4 MB
		0x400C_2000	0x40BF_FFFF	11 MB+248 KB
	External RAM	0x3F80_0000	0x3FBF_FFFF	4 MB
Peripheral	DPort Register	0x3FF0_0000	0x3FF0_0FFF	4 KB
	AES Accelerator	0x3FF0_1000	0x3FF0_1FFF	4 KB
	RSA Accelerator	0x3FF0_2000	0x3FF0_2FFF	4 KB
	SHA Accelerator	0x3FF0_3000	0x3FF0_3FFF	4 KB
	Secure Boot	0x3FF0_4000	0x3FF0_4FFF	4 KB
	Cache MMU Table	0x3FF1_0000	0x3FF1_3FFF	16 KB
	PID Controller	0x3FF1_F000	0x3FF1_FFFF	4 KB
	UART0	0x3FF4_0000	0x3FF4_0FFF	4 KB
	SPI1	0x3FF4_2000	0x3FF4_2FFF	4 KB
	SPI0	0x3FF4_3000	0x3FF4_3FFF	4 KB
	GPIO	0x3FF4_4000	0x3FF4_4FFF	4 KB
	RTC	0x3FF4_8000	0x3FF4_8FFF	4 KB
	IO MUX	0x3FF4_9000	0x3FF4_9FFF	4 KB
	SDIO Slave	0x3FF4_B000	0x3FF4_BFFF	4 KB
	UDMA1	0x3FF4_C000	0x3FF4_CFFF	4 KB
	I2S0	0x3FF4_F000	0x3FF4_FFFF	4 KB
	UART1	0x3FF5_0000	0x3FF5_0FFF	4 KB
	I2C0	0x3FF5_3000	0x3FF5_3FFF	4 KB
	UDMA0	0x3FF5_4000	0x3FF5_4FFF	4 KB
	SDIO Slave	0x3FF5_5000	0x3FF5_5FFF	4 KB
	RMT	0x3FF5_6000	0x3FF5_6FFF	4 KB
	PCNT	0x3FF5_7000	0x3FF5_7FFF	4 KB
	SDIO Slave	0x3FF5_8000	0x3FF5_8FFF	4 KB
	LED PWM	0x3FF5_9000	0x3FF5_9FFF	4 KB
	eFuse Controller	0x3FF5_A000	0x3FF5_AFFF	4 KB
	Flash Encryption	0x3FF5_B000	0x3FF5_BFFF	4 KB
	PWM0	0x3FF5_E000	0x3FF5_EFFF	4 KB
	TIMG0	0x3FF5_F000	0x3FF5_FFFF	4 KB
	TIMG1	0x3FF6_0000	0x3FF6_0FFF	4 KB
	SPI2	0x3FF6_4000	0x3FF6_4FFF	4 KB
SPI3	0x3FF6_5000	0x3FF6_5FFF	4 KB	

Category	Target	Start Address	End Address	Size
Peripheral	SYSCON	0x3FF6_6000	0x3FF6_6FFF	4 KB
	I2C1	0x3FF6_7000	0x3FF6_7FFF	4 KB
	SDMMC	0x3FF6_8000	0x3FF6_8FFF	4 KB
	EMAC	0x3FF6_9000	0x3FF6_AFFF	8 KB
	PWM1	0x3FF6_C000	0x3FF6_CFFF	4 KB
	I2S1	0x3FF6_D000	0x3FF6_DFFF	4 KB
	UART2	0x3FF6_E000	0x3FF6_EFFF	4 KB
	PWM2	0x3FF6_F000	0x3FF6_FFFF	4 KB
	PWM3	0x3FF7_0000	0x3FF7_0FFF	4 KB
	RNG	0x3FF7_5000	0x3FF7_5FFF	4 KB

## 3.2 Timers and Watchdogs

### 3.2.1 64-bit Timers

There are four general-purpose timers embedded in the chip. They are all 64-bit generic timers which are based on 16-bit prescalers and 64-bit auto-reload-capable up/down-timers.

The timers feature:

- A 16-bit clock prescaler, from 2 to 65536
- A 64-bit timer
- Configurable up/down timer: incrementing or decrementing
- Halt and resume of time-base counter
- Auto-reload at alarming
- Software-controlled instant reload
- Level and edge interrupt generation

### 3.2.2 Watchdog Timers

The chip has three watchdog timers: one in each of the two timer modules (called the Main Watchdog Timer, or MWDT) and one in the RTC module (called the RTC Watchdog Timer, or RWDT). These watchdog timers are intended to recover from an unforeseen fault causing the application program to abandon its normal sequence. A watchdog timer has four stages. Each stage may trigger one of three or four possible actions upon the expiry of its programmed time period, unless the watchdog is fed or disabled. The actions are: interrupt, CPU reset, core reset, and system reset. Only the RWDT can trigger the system reset, and is able to reset the entire chip, including the RTC itself. A timeout value can be set for each stage individually.

During flash boot the RWDT and the first MWDT start automatically in order to detect, and recover from, booting problems.

The watchdogs have the following features:

- Four stages, each of which can be configured or disabled separately
- A programmable time period for each stage

- One of three or four possible actions (interrupt, CPU reset, core reset, and system reset) upon the expiry of each stage
- 32-bit expiry counter
- Write protection that prevents the RWDT and MWDT configuration from being inadvertently altered
- SPI flash boot protection  
If the boot process from an SPI flash does not complete within a predetermined time period, the watchdog will reboot the entire system.

## 3.3 System Clocks

### 3.3.1 CPU Clock

Upon reset, an external crystal clock source is selected as the default CPU clock. The external crystal clock source also connects to a PLL to generate a high-frequency clock (typically 160 MHz).

In addition, ESP32 has an internal 8 MHz oscillator. The application can select the clock source from the external crystal clock source, the PLL clock or the internal 8 MHz oscillator. The selected clock source drives the CPU clock directly, or after division, depending on the application.

### 3.3.2 RTC Clock

The RTC clock has five possible sources:

- external low-speed (32 kHz) crystal clock
- external crystal clock divided by 4
- internal RC oscillator (typically about 150 kHz, and adjustable)
- internal 8 MHz oscillator
- internal 31.25 kHz clock (derived from the internal 8 MHz oscillator divided by 256)

When the chip is in the normal power mode and needs faster CPU accessing, the application can choose the external high-speed crystal clock divided by 4 or the internal 8 MHz oscillator. When the chip operates in the low-power mode, the application chooses the external low-speed (32 kHz) crystal clock, the internal RC clock or the internal 31.25 kHz clock.

### 3.3.3 Audio PLL Clock

The audio clock is generated by the ultra-low-noise fractional-N PLL. More details can be found in Chapter Reset and Clock in the [ESP32 Technical Reference Manual](#).

## 3.4 Radio

The radio module consists of the following blocks:

- 2.4 GHz receiver
- 2.4 GHz transmitter
- bias and regulators



- balun and transmit-receive switch
- clock generator

### 3.4.1 2.4 GHz Receiver

The 2.4 GHz receiver demodulates the 2.4 GHz RF signal to quadrature baseband signals and converts them to the digital domain with two high-resolution, high-speed ADCs. To adapt to varying signal channel conditions, RF filters, Automatic Gain Control (AGC), DC offset cancelation circuits and baseband filters are integrated in the chip.

### 3.4.2 2.4 GHz Transmitter

The 2.4 GHz transmitter modulates the quadrature baseband signals to the 2.4 GHz RF signal, and drives the antenna with a high-powered Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) power amplifier. The use of digital calibration further improves the linearity of the power amplifier, enabling state-of-the-art performance in delivering up to +20.5 dBm of power for an 802.11b transmission and +18 dBm for an 802.11n transmission.

Additional calibrations are integrated to cancel any radio imperfections, such as:

- Carrier leakage
- I/Q phase matching
- Baseband nonlinearities
- RF nonlinearities
- Antenna matching

These built-in calibration routines reduce the amount of time required for product testing, and render the testing equipment unnecessary.

### 3.4.3 Clock Generator

The clock generator produces quadrature clock signals of 2.4 GHz for both the receiver and the transmitter. All components of the clock generator are integrated into the chip, including all inductors, varactors, filters, regulators and dividers.

The clock generator has built-in calibration and self-test circuits. Quadrature clock phases and phase noise are optimized on-chip with patented calibration algorithms which ensure the best performance of the receiver and the transmitter.

## 3.5 Wi-Fi

ESP32 implements a TCP/IP and full 802.11 b/g/n Wi-Fi MAC protocol. It supports the Basic Service Set (BSS) STA and SoftAP operations under the Distributed Control Function (DCF). Power management is handled with minimal host interaction to minimize the active-duty period.

### 3.5.1 Wi-Fi Radio and Baseband

The ESP32 Wi-Fi Radio and Baseband support the following features:

- 802.11b/g/n
- 802.11n MCS0-7 in both 20 MHz and 40 MHz bandwidth
- 802.11n MCS32 (RX)
- 802.11n 0.4  $\mu$ s guard-interval
- up to 150 Mbps of data rate
- Receiving STBC 2x1
- Up to 20.5 dBm of transmitting power
- Adjustable transmitting power
- Antenna diversity

ESP32 supports antenna diversity with an external RF switch. One or more GPIOs control the RF switch and selects the best antenna to minimize the effects of channel fading.

### 3.5.2 Wi-Fi MAC

The ESP32 Wi-Fi MAC applies low-level protocol functions automatically. They are as follows:

- 4  $\times$  virtual Wi-Fi interfaces
- Simultaneous Infrastructure BSS Station mode/SoftAP mode/Promiscuous mode
- RTS protection, CTS protection, Immediate Block ACK
- Defragmentation
- TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU
- TXOP
- WMM
- CCMP (CBC-MAC, counter mode), TKIP (MIC, RC4), WAPI (SMS4), WEP (RC4) and CRC
- Automatic beacon monitoring (hardware TSF)

## 3.6 Bluetooth

The chip integrates a Bluetooth link controller and Bluetooth baseband, which carry out the baseband protocols and other low-level link routines, such as modulation/demodulation, packet processing, bit stream processing, frequency hopping, etc.

### 3.6.1 Bluetooth Radio and Baseband

The Bluetooth Radio and Baseband support the following features:

- Class-1, class-2 and class-3 transmit output powers, and a dynamic control range of up to 24 dB
- $\pi/4$  DQPSK and 8 DPSK modulation
- High performance in NZIF receiver sensitivity with over 94 dBm of dynamic range
- Class-1 operation without external PA
- Internal SRAM allows full-speed data-transfer, mixed voice and data, and full piconet operation

- Logic for forward error correction, header error control, access code correlation, CRC, demodulation, encryption bit stream generation, whitening and transmit pulse shaping
- ACL, SCO, eSCO and AFH
- A-law,  $\mu$ -law and CVSD digital audio CODEC in PCM interface
- SBC audio CODEC
- Power management for low-power applications
- SMP with 128-bit AES

### 3.6.2 Bluetooth Interface

- Provides UART HCI interface, up to 4 Mbps
- Provides SDIO / SPI HCI interface
- Provides PCM / I<sup>2</sup>S audio interface

### 3.6.3 Bluetooth Stack

The Bluetooth stack of the chip is compliant with the Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specifications.

### 3.6.4 Bluetooth Link Controller

The link controller operates in three major states: standby, connection and sniff. It enables multiple connections, and other operations, such as inquiry, page, and secure simple-pairing, and therefore enables Piconet and Scatternet. Below are the features:

- Classic Bluetooth
  - Device Discovery (inquiry, and inquiry scan)
  - Connection establishment (page, and page scan)
  - Multi-connections
  - Asynchronous data reception and transmission
  - Synchronous links (SCO/eSCO)
  - Master/Slave Switch
  - Adaptive Frequency Hopping and Channel assessment
  - Broadcast encryption
  - Authentication and encryption
  - Secure Simple-Pairing
  - Multi-point and scatternet management
  - Sniff mode
  - Connectionless Slave Broadcast (transmitter and receiver)
  - Enhanced power control

- Ping
- Bluetooth Low Energy
  - Advertising
  - Scanning
  - Simultaneous advertising and scanning
  - Multiple connections
  - Asynchronous data reception and transmission
  - Adaptive Frequency Hopping and Channel assessment
  - Connection parameter update
  - Data Length Extension
  - Link Layer Encryption
  - LE Ping

### 3.7 RTC and Low-Power Management

With the use of advanced power-management technologies, ESP32 can switch between different power modes.

- Power modes
  - **Active mode:** The chip radio is powered on. The chip can receive, transmit, or listen.
  - **Modem-sleep mode:** The CPU is operational and the clock is configurable. The Wi-Fi/Bluetooth baseband and radio are disabled.
  - **Light-sleep mode:** The CPU is paused. The RTC memory and RTC peripherals, as well as the ULP co-processor are running. Any wake-up events (MAC, host, RTC timer, or external interrupts) will wake up the chip.
  - **Deep-sleep mode:** Only the RTC memory and RTC peripherals are powered on. Wi-Fi and Bluetooth connection data are stored in the RTC memory. The ULP co-processor is functional.
  - **Hibernation mode:** The internal 8-MHz oscillator and ULP co-processor are disabled. The RTC recovery memory is powered down. Only one RTC timer on the slow clock and certain RTC GPIOs are active. The RTC timer or the RTC GPIOs can wake up the chip from the Hibernation mode.

**Table 6: Power Consumption by Power Modes**

Power mode	Description		Power consumption
Active (RF working)	Wi-Fi Tx packet		Please refer to Table 15 for details.
	Wi-Fi/BT Tx packet		
	Wi-Fi/BT Rx and listening		
Modem-sleep	The CPU is powered on.	240 MHz *	Dual-core chip(s) 30 mA ~ 68 mA
			Single-core chip(s) N/A
		160 MHz *	Dual-core chip(s) 27 mA ~ 44 mA
			Single-core chip(s) 27 mA ~ 34 mA

Power mode	Description		Power consumption
	Normal speed: 80 MHz	Dual-core chip(s)	20 mA ~ 31 mA
		Single-core chip(s)	20 mA ~ 25 mA
Light-sleep	-		0.8 mA
Deep-sleep	The ULP co-processor is powered on.		150 $\mu$ A
	ULP sensor-monitored pattern		100 $\mu$ A @1% duty
	RTC timer + RTC memory		10 $\mu$ A
Hibernation	RTC timer only		5 $\mu$ A
Power off	CHIP_PU is set to low level, the chip is powered off.		1 $\mu$ A

**Note:**

- \* Among the ESP32 series of SoCs, ESP32-D0WD-V3, ESP32-D0WDQ6-V3, ESP32-D0WD, and ESP32-D0WDQ6 have a maximum CPU frequency of 240 MHz, ESP32-D2WD, ESP32-S0WD, and ESP32-U4WDH have a maximum CPU frequency of 160 MHz.
- When Wi-Fi is enabled, the chip switches between Active and Modem-sleep modes. Therefore, power consumption changes accordingly.
- In Modem-sleep mode, the CPU frequency changes automatically. The frequency depends on the CPU load and the peripherals used.
- During Deep-sleep, when the ULP co-processor is powered on, peripherals such as GPIO and I<sup>2</sup>C are able to operate.
- When the system works in the ULP sensor-monitored pattern, the ULP co-processor works with the ULP sensor periodically and the ADC works with a duty cycle of 1%, so the power consumption is 100  $\mu$ A.

## 4 Peripherals and Sensors

### 4.1 Descriptions of Peripherals and Sensors

#### 4.1.1 General Purpose Input / Output Interface (GPIO)

ESP32 has 34 GPIO pins which can be assigned various functions by programming the appropriate registers. There are several kinds of GPIOs: digital-only, analog-enabled, capacitive-touch-enabled, etc. Analog-enabled GPIOs and Capacitive-touch-enabled GPIOs can be configured as digital GPIOs.

Most of the digital GPIOs can be configured as internal pull-up or pull-down, or set to high impedance. When configured as an input, the input value can be read through the register. The input can also be set to edge-trigger or level-trigger to generate CPU interrupts. Most of the digital IO pins are bi-directional, non-inverting and tristate, including input and output buffers with tristate control. These pins can be multiplexed with other functions, such as the SDIO, UART, SPI, etc. (More details can be found in the Appendix, Table [IO\\_MUX](#).) For low-power operations, the GPIOs can be set to hold their states.

#### 4.1.2 Analog-to-Digital Converter (ADC)

ESP32 integrates 12-bit SAR ADCs and supports measurements on 18 channels (analog-enabled pins). The ULP-coprocessor in ESP32 is also designed to measure voltage, while operating in the sleep mode, which enables low-power consumption. The CPU can be woken up by a threshold setting and/or via other triggers.

With appropriate settings, the ADCs can be configured to measure voltage on 18 pins maximum.

Table 7 describes the ADC characteristics.

**Table 7: ADC Characteristics**

Parameter	Description	Min	Max	Unit
DNL (Differential nonlinearity)	RTC controller; ADC connected to an external 100 nF capacitor; DC signal input;	-7	7	LSB
INL (Integral nonlinearity)	ambient temperature at 25 °C; Wi-Fi&BT off	-12	12	LSB
Sampling rate	RTC controller	-	200	ksps
	DIG controller	-	2	Msp/s

#### Notes:

- When  $atten=3$  and the measurement result is above 3000 (voltage at approx. 2450 mV), the ADC accuracy will be worse than described in the table above.
- To get better DNL results, users can take multiple sampling tests with a filter, or calculate the average value.
- The input voltage range of GPIO pins within VDD3P3\_RTC domain should strictly follow the DC characteristics provided in Table 13. Otherwise, measurement errors may be introduced, and chip performance may be affected.

By default, there are  $\pm 6\%$  differences in measured results between chips. ESP-IDF provides couple of [calibration methods](#) for ADC1. Results after calibration using eFuse Vref value are shown in Table 8. For higher accuracy, users may apply other calibration methods provided in ESP-IDF, or implement their own.

**Table 8: ADC Calibration Results**

Parameter	Description	Min	Max	Unit
Total error	Atten=0, effective measurement range of 100 ~ 950 mV	-23	23	mV
	Atten=1, effective measurement range of 100 ~ 1250 mV	-30	30	mV
	Atten=2, effective measurement range of 150 ~ 1750 mV	-40	40	mV
	Atten=3, effective measurement range of 150 ~ 2450 mV	-60	60	mV

### 4.1.3 Hall Sensor

ESP32 integrates a Hall sensor based on an N-carrier resistor. When the chip is in the magnetic field, the Hall sensor develops a small voltage laterally on the resistor, which can be directly measured by the ADC.

### 4.1.4 Digital-to-Analog Converter (DAC)

Two 8-bit DAC channels can be used to convert two digital signals into two analog voltage signal outputs. The design structure is composed of integrated resistor strings and a buffer. This dual DAC supports power supply as input voltage reference. The two DAC channels can also support independent conversions.

### 4.1.5 Touch Sensor

ESP32 has 10 capacitive-sensing GPIOs, which detect variations induced by touching or approaching the GPIOs with a finger or other objects. The low-noise nature of the design and the high sensitivity of the circuit allow relatively small pads to be used. Arrays of pads can also be used, so that a larger area or more points can be detected. The 10 capacitive-sensing GPIOs are listed in Table 9.

**Table 9: Capacitive-Sensing GPIOs Available on ESP32**

Capacitive-sensing signal name	Pin name
T0	GPIO4
T1	GPIO0
T2	GPIO2
T3	MTDO
T4	MTCK
T5	MTDI
T6	MTMS
T7	GPIO27
T8	32K_XN
T9	32K_XP

### 4.1.6 Ultra-Low-Power Co-processor

The ULP processor and RTC memory remain powered on during the Deep-sleep mode. Hence, the developer can store a program for the ULP processor in the RTC slow memory to access the peripheral devices, internal timers and internal sensors during the Deep-sleep mode. This is useful for designing applications where the CPU needs to be woken up by an external event, or a timer, or a combination of the two, while maintaining minimal power consumption.

### 4.1.7 Ethernet MAC Interface

An IEEE-802.3-2008-compliant Media Access Controller (MAC) is provided for Ethernet LAN communications. ESP32 requires an external physical interface device (PHY) to connect to the physical LAN bus (twisted-pair, fiber, etc.). The PHY is connected to ESP32 through 17 signals of MII or nine signals of RMI. The following features are supported on the Ethernet MAC (EMAC) interface:

- 10 Mbps and 100 Mbps rates
- Dedicated DMA controller allowing high-speed transfer between the dedicated SRAM and Ethernet MAC
- Tagged MAC frame (VLAN support)
- Half-duplex (CSMA/CD) and full-duplex operation
- MAC control sublayer (control frames)
- 32-bit CRC generation and removal
- Several address-filtering modes for physical and multicast address (multicast and group addresses)
- 32-bit status code for each transmitted or received frame
- Internal FIFOs to buffer transmit and receive frames. The transmit FIFO and the receive FIFO are both 512 words (32-bit)
- Hardware PTP (Precision Time Protocol) in accordance with IEEE 1588 2008 (PTP V2)
- 25 MHz/50 MHz clock output

### 4.1.8 SD/SDIO/MMC Host Controller

An SD/SDIO/MMC host controller is available on ESP32, which supports the following features:

- Secure Digital memory (SD mem Version 3.0 and Version 3.01)
- Secure Digital I/O (SDIO Version 3.0)
- Consumer Electronics Advanced Transport Architecture (CE-ATA Version 1.1)
- Multimedia Cards (MMC Version 4.41, eMMC Version 4.5 and Version 4.51)

The controller allows up to 80 MHz clock output in three different data-bus modes: 1-bit, 4-bit and 8-bit. It supports two SD/SDIO/MMC4.41 cards in a 4-bit data-bus mode. It also supports one SD card operating at 1.8 V.

### 4.1.9 SDIO/SPI Slave Controller

ESP32 integrates an SD device interface that conforms to the industry-standard SDIO Card Specification Version 2.0, and allows a host controller to access the SoC, using the SDIO bus interface and protocol. ESP32 acts as the slave on the SDIO bus. The host can access the SDIO-interface registers directly and can access shared memory via a DMA engine, thus maximizing performance without engaging the processor cores.

The SDIO/SPI slave controller supports the following features:

- SPI, 1-bit SDIO, and 4-bit SDIO transfer modes over the full clock range from 0 to 50 MHz
- Configurable sampling and driving clock edge
- Special registers for direct access by host



- Interrupts to host for initiating data transfer
- Automatic loading of SDIO bus data and automatic discarding of padding data
- Block size of up to 512 bytes
- Interrupt vectors between the host and the slave, allowing both to interrupt each other
- Supports DMA for data transfer

#### 4.1.10 Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

ESP32 has three UART interfaces, i.e., UART0, UART1 and UART2, which provide asynchronous communication (RS232 and RS485) and IrDA support, communicating at a speed of up to 5 Mbps. UART provides hardware management of the CTS and RTS signals and software flow control (XON and XOFF). All of the interfaces can be accessed by the DMA controller or directly by the CPU.

#### 4.1.11 I<sup>2</sup>C Interface

ESP32 has two I<sup>2</sup>C bus interfaces which can serve as I<sup>2</sup>C master or slave, depending on the user's configuration. The I<sup>2</sup>C interfaces support:

- Standard mode (100 Kbit/s)
- Fast mode (400 Kbit/s)
- Up to 5 MHz, yet constrained by SDA pull-up strength
- 7-bit/10-bit addressing mode
- Dual addressing mode

Users can program command registers to control I<sup>2</sup>C interfaces, so that they have more flexibility.

#### 4.1.12 I<sup>2</sup>S Interface

Two standard I<sup>2</sup>S interfaces are available in ESP32. They can be operated in master or slave mode, in full duplex and half-duplex communication modes, and can be configured to operate with an 8-/16-/32-/48-/64-bit resolution as input or output channels. BCK clock frequency, from 10 kHz up to 40 MHz, is supported. When one or both of the I<sup>2</sup>S interfaces are configured in the master mode, the master clock can be output to the external DAC/CODEC.

Both of the I<sup>2</sup>S interfaces have dedicated DMA controllers. PDM and BT PCM interfaces are supported.

#### 4.1.13 Infrared Remote Controller

The infrared remote controller supports eight channels of infrared remote transmission and receiving. By programming the pulse waveform, it supports various infrared protocols. Eight channels share a 512 x 32-bit block of memory to store the transmitting or receiving waveform.

#### 4.1.14 Pulse Counter

The pulse counter captures pulse and counts pulse edges through seven modes. It has eight channels, each of which captures four signals at a time. The four input signals include two pulse signals and two control signals. When the counter reaches a defined threshold, an interrupt is generated.

#### 4.1.15 Pulse Width Modulation (PWM)

The Pulse Width Modulation (PWM) controller can be used for driving digital motors and smart lights. The controller consists of PWM timers, the PWM operator and a dedicated capture sub-module. Each timer provides timing in synchronous or independent form, and each PWM operator generates a waveform for one PWM channel. The dedicated capture sub-module can accurately capture events with external timing.

#### 4.1.16 LED PWM

The LED PWM controller can generate 16 independent channels of digital waveforms with configurable periods and duties.

The 16 channels of digital waveforms operate with an APB clock of 80 MHz. Eight of these channels have the option of using the 8 MHz oscillator clock. Each channel can select a 20-bit timer with configurable counting range, while its accuracy of duty can be up to 16 bits within a 1 ms period.

The software can change the duty immediately. Moreover, each channel automatically supports step-by-step duty increase or decrease, which is useful for the LED RGB color-gradient generator.

#### 4.1.17 Serial Peripheral Interface (SPI)

ESP32 features three SPIs (SPI, HSPI and VSPI) in slave and master modes in 1-line full-duplex and 1/2/4-line half-duplex communication modes. These SPIs also support the following general-purpose SPI features:

- Four modes of SPI transfer format, which depend on the polarity (CPOL) and the phase (CPHA) of the SPI clock
- Up to 80 MHz (The actual speed it can reach depends on the selected pads, PCB tracing, peripheral characteristics, etc.)
- up to 64-byte FIFO

All SPIs can also be connected to the external flash/SRAM and LCD. Each SPI can be served by DMA controllers.

#### 4.1.18 Accelerator

ESP32 is equipped with hardware accelerators of general algorithms, such as AES (FIPS PUB 197), SHA (FIPS PUB 180-4), RSA, and ECC, which support independent arithmetic, such as Big Integer Multiplication and Big Integer Modular Multiplication. The maximum operation length for RSA, ECC, Big Integer Multiply and Big Integer Modular Multiplication is 4096 bits.

The hardware accelerators greatly improve operation speed and reduce software complexity. They also support code encryption and dynamic decryption, which ensures that code in the flash will not be hacked.

## 4.2 Peripheral Pin Configurations

**Table 10: Peripheral Pin Configurations**

Interface	Signal	Pin	Function
ADC	ADC1_CH0	SENSOR_VP	Two 12-bit SAR ADCs
	ADC1_CH1	SENSOR_CAPP	
	ADC1_CH2	SENSOR_CAPN	
	ADC1_CH3	SENSOR_VN	
	ADC1_CH4	32K_XP	
	ADC1_CH5	32K_XN	
	ADC1_CH6	VDET_1	
	ADC1_CH7	VDET_2	
	ADC2_CH0	GPIO4	
	ADC2_CH1	GPIO0	
	ADC2_CH2	GPIO2	
	ADC2_CH3	MTDO	
	ADC2_CH4	MTCK	
	ADC2_CH5	MTDI	
	ADC2_CH6	MTMS	
	ADC2_CH7	GPIO27	
	ADC2_CH8	GPIO25	
	ADC2_CH9	GPIO26	
DAC	DAC_1	GPIO25	Two 8-bit DACs
	DAC_2	GPIO26	
Touch Sensor	TOUCH0	GPIO4	Capacitive touch sensors
	TOUCH1	GPIO0	
	TOUCH2	GPIO2	
	TOUCH3	MTDO	
	TOUCH4	MTCK	
	TOUCH5	MTDI	
	TOUCH6	MTMS	
	TOUCH7	GPIO27	
	TOUCH8	32K_XN	
	TOUCH9	32K_XP	
JTAG	MTDI	MTDI	JTAG for software debugging
	MTCK	MTCK	
	MTMS	MTMS	
	MTDO	MTDO	

Interface	Signal	Pin	Function
SD/SDIO/MMC Host Controller	HS2_CLK	MTMS	Supports SD memory card V3.01 standard
	HS2_CMD	MTDO	
	HS2_DATA0	GPIO2	
	HS2_DATA1	GPIO4	
	HS2_DATA2	MTDI	
	HS2_DATA3	MTCK	
Motor PWM	PWM0_OUT0~2	Any GPIO Pins	Three channels of 16-bit timers generate PWM waveforms. Each channel has a pair of output signals, three fault detection signals, three event-capture signals, and three sync signals.
	PWM1_OUT_IN0~2		
	PWM0_FLT_IN0~2		
	PWM1_FLT_IN0~2		
	PWM0_CAP_IN0~2		
	PWM1_CAP_IN0~2		
	PWM0_SYNC_IN0~2		
	PWM1_SYNC_IN0~2		
SDIO/SPI Slave Controller	SD_CLK	MTMS	SDIO interface that conforms to the industry standard SDIO 2.0 card specification
	SD_CMD	MTDO	
	SD_DATA0	GPIO2	
	SD_DATA1	GPIO4	
	SD_DATA2	MTDI	
	SD_DATA3	MTCK	
UART	U0RXD_in	Any GPIO Pins	Two UART devices with hardware flow-control and DMA
	U0CTS_in		
	U0DSR_in		
	U0TXD_out		
	U0RTS_out		
	U0DTR_out		
	U1RXD_in		
	U1CTS_in		
	U1TXD_out		
	U1RTS_out		
	U2RXD_in		
	U2CTS_in		
	U2TXD_out		
	U2RTS_out		
I <sup>2</sup> C	I2CEXT0_SCL_in	Any GPIO Pins	Two I <sup>2</sup> C devices in slave or master mode
	I2CEXT0_SDA_in		
	I2CEXT1_SCL_in		
	I2CEXT1_SDA_in		
	I2CEXT0_SCL_out		
	I2CEXT0_SDA_out		
	I2CEXT1_SCL_out		
	I2CEXT1_SDA_out		

Interface	Signal	Pin	Function
LED PWM	ledc_hs_sig_out0~7	Any GPIO Pins	16 independent channels @80 MHz clock/RTC CLK. Duty accuracy: 16 bits.
	ledc_ls_sig_out0~7		
I2S	I2S0I_DATA_in0~15	Any GPIO Pins	Stereo input and output from/to the audio codec; parallel LCD data output; parallel camera data input
	I2S0O_BCK_in		
	I2S0O_WS_in		
	I2S0I_BCK_in		
	I2S0I_WS_in		
	I2S0I_H_SYNC		
	I2S0I_V_SYNC		
	I2S0I_H_ENABLE		
	I2S0O_BCK_out		
	I2S0O_WS_out		
	I2S0I_BCK_out		
	I2S0I_WS_out		
	I2S0O_DATA_out0~23		
	I2S1I_DATA_in0~15		
	I2S1O_BCK_in		
	I2S1O_WS_in		
	I2S1I_BCK_in		
	I2S1I_WS_in		
	I2S1I_H_SYNC		
	I2S1I_V_SYNC		
	I2S1I_H_ENABLE		
I2S1O_BCK_out			
I2S1O_WS_out			
I2S1I_BCK_out			
I2S1I_WS_out			
I2S1O_DATA_out0~23			
Infrared Remote Controller	RMT_SIG_IN0~7	Any GPIO Pins	Eight channels for an IR transmitter and receiver of various waveforms
	RMT_SIG_OUT0~7		
General Purpose SPI	HSPIQ_in/_out	Any GPIO Pins	Standard SPI consists of clock, chip-select, MOSI and MISO. These SPIs can be connected to LCD and other external devices. They support the following features: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Both master and slave modes;</li> <li>• Four sub-modes of the SPI transfer format;</li> <li>• Configurable SPI frequency;</li> <li>• Up to 64 bytes of FIFO and DMA.</li> </ul>
	HSPID_in/_out		
	HSPICLK_in/_out		
	HSPI_CS0_in/_out		
	HSPI_CS1_out		
	HSPI_CS2_out		
	VSPIQ_in/_out		
	VSPID_in/_out		
	VSPICLK_in/_out		
	VSPI_CS0_in/_out		
	VSPI_CS1_out		
	VSPI_CS2_out		

Interface	Signal	Pin	Function
Parallel QSPI	SPIHD	SD_DATA_2	Supports Standard SPI, Dual SPI, and Quad SPI that can be connected to the external flash and SRAM
	SPIWP	SD_DATA_3	
	SPICS0	SD_CMD	
	SPICLK	SD_CLK	
	SPIQ	SD_DATA_0	
	SPID	SD_DATA_1	
	HSPICLK	MTMS	
	HSPICS0	MTDO	
	HSPIQ	MTDI	
	HSPID	MTCK	
	HSPIHD	GPIO4	
	HSPIWP	GPIO2	
	VSPICLK	GPIO18	
	VSPICS0	GPIO5	
	VSPIQ	GPIO19	
	VSPID	GPIO23	
	VSPIHD	GPIO21	
VSPIWP	GPIO22		
EMAC	EMAC_TX_CLK	GPIO0	Ethernet MAC with MII/RMII interface
	EMAC_RX_CLK	GPIO5	
	EMAC_TX_EN	GPIO21	
	EMAC_TXD0	GPIO19	
	EMAC_TXD1	GPIO22	
	EMAC_TXD2	MTMS	
	EMAC_TXD3	MTDI	
	EMAC_RX_ER	MTCK	
	EMAC_RX_DV	GPIO27	
	EMAC_RXD0	GPIO25	
	EMAC_RXD1	GPIO26	
	EMAC_RXD2	U0TXD	
	EMAC_RXD3	MTDO	
	EMAC_CLK_OUT	GPIO16	
	EMAC_CLK_OUT_180	GPIO17	
	EMAC_TX_ER	GPIO4	
	EMAC_MDC_out	Any GPIO Pins	
	EMAC_MDI_in	Any GPIO Pins	
	EMAC_MDO_out	Any GPIO Pins	
	EMAC_CRS_out	Any GPIO Pins	
EMAC_COL_out	Any GPIO Pins		

Interface	Signal	Pin	Function
Pulse Counter	pcnt_sig_ch0_in0	Any GPIO Pins	Operating in seven different modes, the pulse counter captures pulse and counts pulse edges.
	pcnt_sig_ch1_in0		
	pcnt_ctrl_ch0_in0		
	pcnt_ctrl_ch1_in0		
	pcnt_sig_ch0_in1		
	pcnt_sig_ch1_in1		
	pcnt_ctrl_ch0_in1		
	pcnt_ctrl_ch1_in1		
	pcnt_sig_ch0_in2		
	pcnt_sig_ch1_in2		
	pcnt_ctrl_ch0_in2		
	pcnt_ctrl_ch1_in2		
	pcnt_sig_ch0_in3		
	pcnt_sig_ch1_in3		
	pcnt_ctrl_ch0_in3		
	pcnt_ctrl_ch1_in3		
	pcnt_sig_ch0_in4		
	pcnt_sig_ch1_in4		
	pcnt_ctrl_ch0_in4		
	pcnt_ctrl_ch1_in4		
	pcnt_sig_ch0_in5		
	pcnt_sig_ch1_in5		
	pcnt_ctrl_ch0_in5		
	pcnt_ctrl_ch1_in5		
	pcnt_sig_ch0_in6		
	pcnt_sig_ch1_in6		
	pcnt_ctrl_ch0_in6		
	pcnt_ctrl_ch1_in6		
pcnt_sig_ch0_in7			
pcnt_sig_ch1_in7			
pcnt_ctrl_ch0_in7			
pcnt_ctrl_ch1_in7			

## 5 Electrical Characteristics

### 5.1 Absolute Maximum Ratings

Stresses beyond the absolute maximum ratings listed in the table below may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and do not refer to the functional operation of the device that should follow the [recommended operating conditions](#).

**Table 11: Absolute Maximum Ratings**

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDDA, VDD3P3, VDD3P3_RTC, VDD3P3_CPU, VDD_SDIO	Voltage applied to power supply pins per power domain	-0.3	3.6	V
$I_{output}^*$	Cumulative IO output current	-	1200	mA
$T_{store}$	Storage temperature	-40	150	°C

\* The chip worked properly after a 24-hour test in ambient temperature at 25 °C, and the IOs in three domains (VDD3P3\_RTC, VDD3P3\_CPU, VDD\_SDIO) output high logic level to ground.

### 5.2 Recommended Operating Conditions

**Table 12: Recommended Operating Conditions**

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
VDDA, VDD3P3_RTC <sup>1</sup> VDD3P3, VDD_SDIO (3.3 V mode) <sup>2</sup>	Voltage applied to power supply pins per power domain	2.3	3.3	3.6	V
VDD3P3_CPU	Voltage applied to power supply pin	1.8	3.3	3.6	V
$I_{VDD}$	Current delivered by external power supply	0.5	-	-	A
$T^3$	Operating temperature	-40	-	125	°C

- When writing eFuse, VDD3P3\_RTC should be at least 3.3 V.
- VDD\_SDIO works as the power supply for the related IO, and also for an external device. Please refer to the Appendix [IO\\_MUX](#) of this datasheet for more details.
  - VDD\_SDIO can be sourced internally by the ESP32 from the VDD3P3\_RTC power domain:
    - When VDD\_SDIO operates at 3.3 V, it is driven directly by VDD3P3\_RTC through a 6 Ω resistor, therefore, there will be some voltage drop from VDD3P3\_RTC.
    - When VDD\_SDIO operates at 1.8 V, it can be generated from ESP32's internal LDO. The maximum current this LDO can offer is 40 mA, and the output voltage range is 1.65 V ~ 2.0 V.
  - VDD\_SDIO can also be driven by an external power supply.
  - Please refer to Power Scheme, section [2.3](#), for more information.
- The operating temperature of ESP32-D2WD and ESP32-U4WDH ranges from -40 °C to 105 °C, due to the flash embedded in them. The other chips in this series have no embedded flash, so their range of operating temperatures is -40 °C ~ 125 °C.



## 5.3 DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Table 13: DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	
$C_{IN}$	Pin capacitance	-	2	-	pF	
$V_{IH}$	High-level input voltage	$0.75 \times V_{DD}^1$	-	$V_{DD}^1 + 0.3$	V	
$V_{IL}$	Low-level input voltage	-0.3	-	$0.25 \times V_{DD}^1$	V	
$I_{IH}$	High-level input current	-	-	50	nA	
$I_{IL}$	Low-level input current	-	-	50	nA	
$V_{OH}$	High-level output voltage	$0.8 \times V_{DD}^1$	-	-	V	
$V_{OL}$	Low-level output voltage	-	-	$0.1 \times V_{DD}^1$	V	
$I_{OH}$	High-level source current ( $V_{DD}^1 = 3.3$ V, $V_{OH} \geq 2.64$ V, output drive strength set to the maximum)	VDD3P3_CPU power domain <sup>1, 2</sup>	-	40	-	mA
		VDD3P3_RTC power domain <sup>1, 2</sup>	-	40	-	mA
		VDD_SDIO power domain <sup>1, 3</sup>	-	20	-	mA
$I_{OL}$	Low-level sink current ( $V_{DD}^1 = 3.3$ V, $V_{OL} = 0.495$ V, output drive strength set to the maximum)	-	28	-	mA	
$R_{PU}$	Resistance of internal pull-up resistor	-	45	-	k $\Omega$	
$R_{PD}$	Resistance of internal pull-down resistor	-	45	-	k $\Omega$	
$V_{IL\_nRST}$	Low-level input voltage of CHIP_PU to power off the chip	-	-	0.6	V	

### Notes:

1. Please see Table IO\_MUX for IO's power domain. VDD is the I/O voltage for a particular power domain of pins.
2. For VDD3P3\_CPU and VDD3P3\_RTC power domain, per-pin current sourced in the same domain is gradually reduced from around 40 mA to around 29 mA,  $V_{OH} \geq 2.64$  V, as the number of current-source pins increases.
3. For VDD\_SDIO power domain, per-pin current sourced in the same domain is gradually reduced from around 30 mA to around 10 mA,  $V_{OH} \geq 2.64$  V, as the number of current-source pins increases.

## 5.4 Reliability Qualifications

Table 14: Reliability Qualifications

Reliability tests	Standards	Test conditions	Result
Electro-Static Discharge Sensitivity (ESD), Charge Device Mode (CDM) <sup>1</sup>	JEDEC EIA/JESD22-C101	$\pm 500$ V, all pins	Pass
Electro-Static Discharge Sensitivity (ESD), Human Body Mode (HBM) <sup>2</sup>	JEDEC EIA/JESD22-A114	$\pm 1500$ V, all pins	Pass
Latch-up (Over-current test)	JEDEC STANDARD NO.78	$\pm 50$ mA ~ $\pm 200$ mA, room temperature, test for IO	Pass
Latch-up (Over-voltage test)	JEDEC STANDARD NO.78	$1.5 \times V_{max}$ , room temperature, test for $V_{supply}$	Pass
Moisture Sensitivity Level (MSL)	J-STD-020, MSL 3	30 °C, 60% RH, 192 hours, IR $\times 3$ @260 °C	Pass

1. JEDEC document JEP157 states that 250 V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
2. JEDEC document JEP155 states that 500 V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

## 5.5 RF Power-Consumption Specifications

The power consumption measurements are taken with a 3.3 V supply at 25 °C of ambient temperature at the RF port. All transmitters' measurements are based on a 50% duty cycle.

**Table 15: RF Power-Consumption Specifications**

Mode	Min	Typ	Max	Unit
Transmit 802.11b, DSSS 1 Mbps, POUT = +19.5 dBm	-	240	-	mA
Transmit 802.11g, OFDM 54 Mbps, POUT = +16 dBm	-	190	-	mA
Transmit 802.11n, OFDM MCS7, POUT = +14 dBm	-	180	-	mA
Receive 802.11b/g/n	-	95 ~ 100	-	mA
Transmit BT/BLE, POUT = 0 dBm	-	130	-	mA
Receive BT/BLE	-	95 ~ 100	-	mA

## 5.6 Wi-Fi Radio

**Table 16: Wi-Fi Radio Characteristics**

Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating frequency range <sup>note1</sup>	-	2412	-	2484	MHz
Output impedance <sup>note2</sup>	-	-	<i>note 2</i>	-	Ω
TX power <sup>note3</sup>	11n, MCS7	12	13	14	dBm
	11b mode	18.5	19.5	20.5	dBm
Sensitivity	11b, 1 Mbps	-	-98	-	dBm
	11b, 11 Mbps	-	-88	-	dBm
	11g, 6 Mbps	-	-93	-	dBm
	11g, 54 Mbps	-	-75	-	dBm
	11n, HT20, MCS0	-	-93	-	dBm
	11n, HT20, MCS7	-	-73	-	dBm
	11n, HT40, MCS0	-	-90	-	dBm
11n, HT40, MCS7	-	-70	-	dBm	
Adjacent channel rejection	11g, 6 Mbps	-	27	-	dB
	11g, 54 Mbps	-	13	-	dB
	11n, HT20, MCS0	-	27	-	dB
	11n, HT20, MCS7	-	12	-	dB

1. Device should operate in the frequency range allocated by regional regulatory authorities. Target operating frequency range is configurable by software.
2. The typical value of ESP32's Wi-Fi radio output impedance is different between chips in different QFN packages. For ESP32 chips with a QFN 6×6 package, the value is 30+j10 Ω. For ESP32 chips with a QFN 5×5 package, the value is 35+j10 Ω.
3. Target TX power is configurable based on device or certification requirements.

## 5.7 Bluetooth Radio

### 5.7.1 Receiver – Basic Data Rate

Table 17: Receiver Characteristics – Basic Data Rate

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Sensitivity @0.1% BER	-	-90	-89	-88	dBm
Maximum received signal @0.1% BER	-	0	-	-	dBm
Co-channel C/I	-	-	+7	-	dB
Adjacent channel selectivity C/I	F = F0 + 1 MHz	-	-	-6	dB
	F = F0 - 1 MHz	-	-	-6	dB
	F = F0 + 2 MHz	-	-	-25	dB
	F = F0 - 2 MHz	-	-	-33	dB
	F = F0 + 3 MHz	-	-	-25	dB
	F = F0 - 3 MHz	-	-	-45	dB
Out-of-band blocking performance	30 MHz ~ 2000 MHz	-10	-	-	dBm
	2000 MHz ~ 2400 MHz	-27	-	-	dBm
	2500 MHz ~ 3000 MHz	-27	-	-	dBm
	3000 MHz ~ 12.5 GHz	-10	-	-	dBm
Intermodulation	-	-36	-	-	dBm

### 5.7.2 Transmitter – Basic Data Rate

Table 18: Transmitter Characteristics – Basic Data Rate

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RF transmit power (see note under Table 18)	-	-	0	-	dBm
Gain control step	-	-	3	-	dB
RF power control range	-	-12	-	+9	dBm
+20 dB bandwidth	-	-	0.9	-	MHz
Adjacent channel transmit power	F = F0 ± 2 MHz	-	-47	-	dBm
	F = F0 ± 3 MHz	-	-55	-	dBm
	F = F0 ± > 3 MHz	-	-60	-	dBm
$\Delta f_{1avg}$	-	-	-	155	kHz
$\Delta f_{2max}$	-	133.7	-	-	kHz
$\Delta f_{2avg}/\Delta f_{1avg}$	-	-	0.92	-	-
ICFT	-	-	-7	-	kHz
Drift rate	-	-	0.7	-	kHz/50 $\mu$ s
Drift (DH1)	-	-	6	-	kHz
Drift (DH5)	-	-	6	-	kHz

**Note:**

There are a total of eight power levels from 0 to 7, and the transmit power ranges from -12 dBm to 9 dBm. When the power level rises by 1, the transmit power increases by 3 dB. Power level 4 is used by default and the corresponding transmit power is 0 dBm.

### 5.7.3 Receiver – Enhanced Data Rate

**Table 19: Receiver Characteristics – Enhanced Data Rate**

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$\pi/4$ DQPSK					
Sensitivity @0.01% BER	-	-90	-89	-88	dBm
Maximum received signal @0.01% BER	-	-	0	-	dBm
Co-channel C/I	-	-	11	-	dB
Adjacent channel selectivity C/I	F = F0 + 1 MHz	-	-7	-	dB
	F = F0 - 1 MHz	-	-7	-	dB
	F = F0 + 2 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 - 2 MHz	-	-35	-	dB
	F = F0 + 3 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 - 3 MHz	-	-45	-	dB
8DPSK					
Sensitivity @0.01% BER	-	-84	-83	-82	dBm
Maximum received signal @0.01% BER	-	-	-5	-	dBm
C/I c-channel	-	-	18	-	dB
Adjacent channel selectivity C/I	F = F0 + 1 MHz	-	2	-	dB
	F = F0 - 1 MHz	-	2	-	dB
	F = F0 + 2 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 - 2 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 + 3 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 - 3 MHz	-	-38	-	dB

### 5.7.4 Transmitter – Enhanced Data Rate

**Table 20: Transmitter Characteristics – Enhanced Data Rate**

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RF transmit power (see note under Table 18)	-	-	0	-	dBm
Gain control step	-	-	3	-	dB
RF power control range	-	-12	-	+9	dBm
$\pi/4$ DQPSK max w0	-	-	-0.72	-	kHz
$\pi/4$ DQPSK max wi	-	-	-6	-	kHz
$\pi/4$ DQPSK max  wi + w0	-	-	-7.42	-	kHz
8DPSK max w0	-	-	0.7	-	kHz
8DPSK max wi	-	-	-9.6	-	kHz
8DPSK max  wi + w0	-	-	-10	-	kHz
$\pi/4$ DQPSK modulation accuracy	RMS DEVM	-	4.28	-	%
	99% DEVM	-	100	-	%
	Peak DEVM	-	13.3	-	%
8 DPSK modulation accuracy	RMS DEVM	-	5.8	-	%
	99% DEVM	-	100	-	%
	Peak DEVM	-	14	-	%

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
In-band spurious emissions	$F = F_0 \pm 1$ MHz	-	-46	-	dBm
	$F = F_0 \pm 2$ MHz	-	-40	-	dBm
	$F = F_0 \pm 3$ MHz	-	-46	-	dBm
	$F = F_0 \pm > 3$ MHz	-	-	-53	dBm
EDR differential phase coding	-	-	100	-	%

## 5.8 Bluetooth LE Radio

### 5.8.1 Receiver

Table 21: Receiver Characteristics – BLE

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Sensitivity @30.8% PER	-	-94	-93	-92	dBm
Maximum received signal @30.8% PER	-	0	-	-	dBm
Co-channel C/I	-	-	+10	-	dB
Adjacent channel selectivity C/I	$F = F_0 + 1$ MHz	-	-5	-	dB
	$F = F_0 - 1$ MHz	-	-5	-	dB
	$F = F_0 + 2$ MHz	-	-25	-	dB
	$F = F_0 - 2$ MHz	-	-35	-	dB
	$F = F_0 + 3$ MHz	-	-25	-	dB
	$F = F_0 - 3$ MHz	-	-45	-	dB
Out-of-band blocking performance	30 MHz ~ 2000 MHz	-10	-	-	dBm
	2000 MHz ~ 2400 MHz	-27	-	-	dBm
	2500 MHz ~ 3000 MHz	-27	-	-	dBm
	3000 MHz ~ 12.5 GHz	-10	-	-	dBm
Intermodulation	-	-36	-	-	dBm

### 5.8.2 Transmitter

Table 22: Transmitter Characteristics – BLE

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RF transmit power (see note under Table 18)	-	-	0	-	dBm
Gain control step	-	-	3	-	dB
RF power control range	-	-12	-	+9	dBm
Adjacent channel transmit power	$F = F_0 \pm 2$ MHz	-	-52	-	dBm
	$F = F_0 \pm 3$ MHz	-	-58	-	dBm
	$F = F_0 \pm > 3$ MHz	-	-60	-	dBm
$\Delta f_{1avg}$	-	-	-	265	kHz
$\Delta f_{2max}$	-	247	-	-	kHz
$\Delta f_{2avg}/\Delta f_{1avg}$	-	-	0.92	-	-
ICFT	-	-	-10	-	kHz
Drift rate	-	-	0.7	-	kHz/50 $\mu$ s
Drift	-	-	2	-	kHz

## 6 Package Information

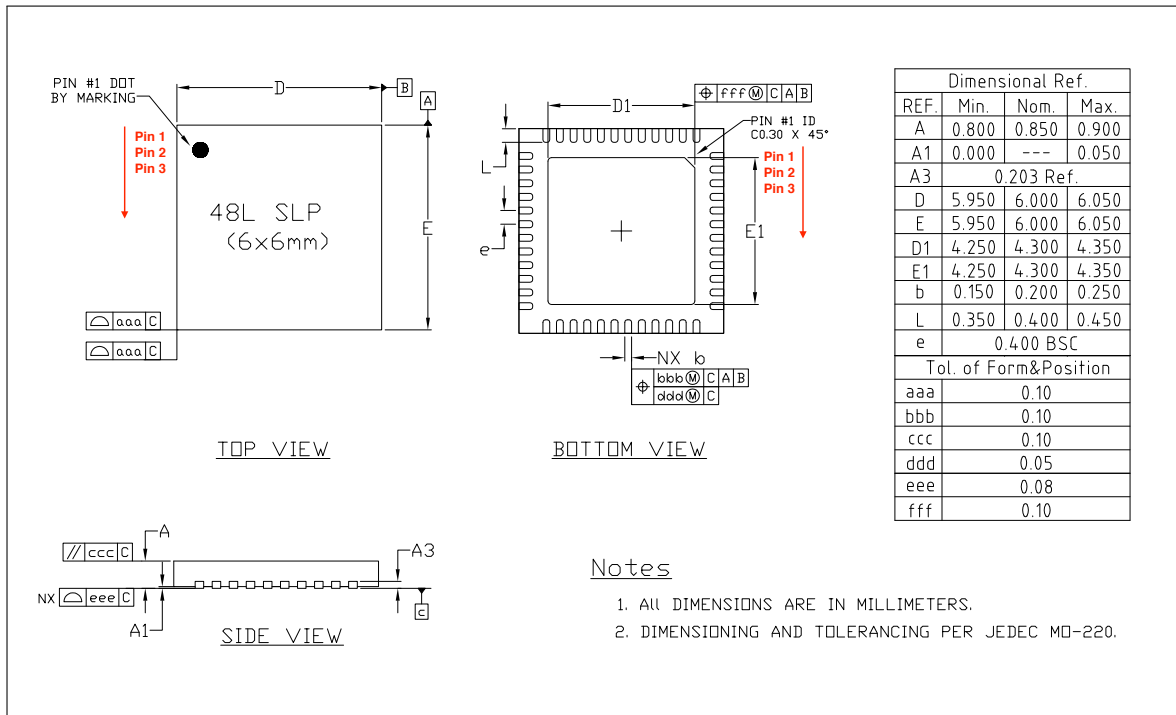


Figure 8: QFN48 (6x6 mm) Package

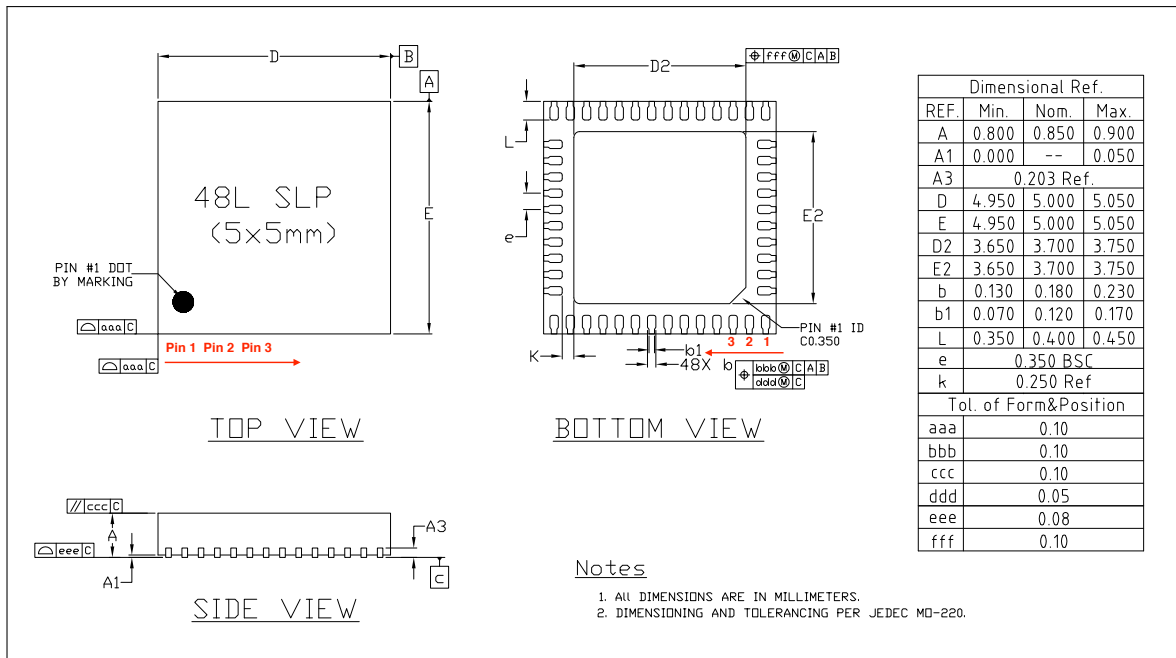
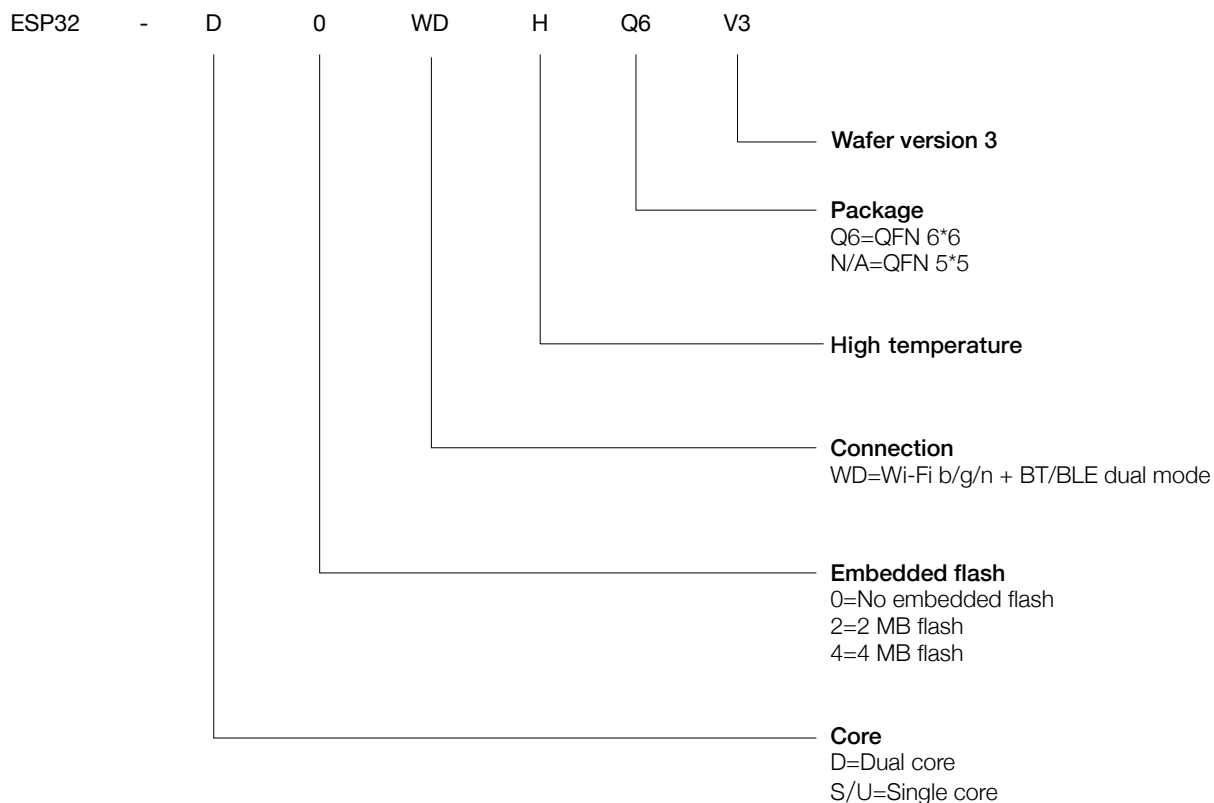


Figure 9: QFN48 (5x5 mm) Package

**Note:**

The pins of the chip are numbered in an anti-clockwise direction from Pin 1 in the top view.

## 7 Part Number and Ordering Information



**Figure 10: ESP32 Part Number**

The table below provides the ordering information of the ESP32 series of chips.

**Table 23: ESP32 Ordering Information**

Ordering code	Core	Embedded flash	Package
ESP32-D0WD-V3	Dual core	No embedded flash	QFN 5*5
ESP32-D0WDQ6-V3	Dual core	No embedded flash	QFN 6*6
ESP32-D0WD	Dual core	No embedded flash	QFN 5*5
ESP32-D0WDQ6	Dual core	No embedded flash	QFN 6*6
ESP32-D2WD	Dual core	2 MB embedded flash (40 MHz)	QFN 5*5
ESP32-S0WD	Single core	No embedded flash	QFN 5*5
ESP32-U4WDH	Single core	4 MB embedded flash (80 MHz)	QFN 5*5

Note: All above chips support Wi-Fi b/g/n + BT/BLE Dual Mode connection.

## 8 Learning Resources

### 8.1 Must-Read Documents

Click on the following links to access documents related to ESP32.

- [ESP32 ECO V3 User Guide](#)  
This document describes differences between V3 and previous ESP32 silicon wafer revisions.
- [ECO and Workarounds for Bugs in ESP32](#)  
This document details hardware errata and workarounds in the ESP32.
- [ESP-IDF Programming Guide](#)  
It hosts extensive documentation for ESP-IDF, ranging from hardware guides to API reference.
- [ESP32 Technical Reference Manual](#)  
The manual provides detailed information on how to use the ESP32 memory and peripherals.
- [ESP32 Hardware Resources](#)  
The zip files include schematics, PCB layout, Gerber and BOM list.
- [ESP32 Hardware Design Guidelines](#)  
The guidelines provide recommended design practices when developing standalone or add-on systems based on the ESP32 series of products, including the ESP32 chip, the ESP32 modules and development boards.
- [ESP32 AT Instruction Set and Examples](#)  
This document introduces the ESP32 AT commands, explains how to use them, and provides examples of several common AT commands.
- [Espressif Products Ordering Information](#)

### 8.2 Must-Have Resources

Here are the ESP32-related must-have resources.

- [ESP32 BBS](#)  
This is an Engineer-to-Engineer (E2E) Community for ESP32, where you can post questions, share knowledge, explore ideas, and solve problems together with fellow engineers.
- [ESP32 GitHub](#)  
ESP32 development projects are freely distributed under Espressif's MIT license on GitHub. This channel of communication has been established to help developers get started with ESP32 and encourage them to share their knowledge of ESP32-related hardware and software.
- [ESP32 Tools](#)  
This is a webpage where users can download ESP32 Flash Download Tools and the zip file "ESP32 Certification and Test".
- [ESP-IDF](#)  
This webpage links users to the official IoT development framework for ESP32.
- [ESP32 Resources](#)  
This webpage provides the links to all available ESP32 documents, SDK and tools.



## Appendix A – ESP32 Pin Lists

### A.1. Notes on ESP32 Pin Lists

Table 24: Notes on ESP32 Pin Lists

No.	Description
1	In Table <a href="#">IO_MUX</a> , the boxes highlighted in yellow indicate the GPIO pins that are input-only. Please see the following note for further details.
2	GPIO pins 34-39 are input-only. These pins do not feature an output driver or internal pull-up/pull-down circuitry. The pin names are: SENSOR_VP (GPIO36), SENSOR_CAPP (GPIO37), SENSOR_CAPN (GPIO38), SENSOR_VN (GPIO39), VDET_1 (GPIO34), VDET_2 (GPIO35).
3	The pins are grouped into four power domains: VDDA (analog power supply), VDD3P3_RTC (RTC power supply), VDD3P3_CPU (power supply of digital IOs and CPU cores), VDD_SDIO (power supply of SDIO IOs). VDD_SDIO is the output of the internal SDIO-LDO. The voltage of SDIO-LDO can be configured at 1.8 V or be the same as that of VDD3P3_RTC. The strapping pin and eFuse bits determine the default voltage of the SDIO-LDO. Software can change the voltage of the SDIO-LDO by configuring register bits. For details, please see the column “Power Domain” in Table <a href="#">IO_MUX</a> .
4	The functional pins in the VDD3P3_RTC domain are those with analog functions, including the 32 kHz crystal oscillator, ADC, DAC, and the capacitive touch sensor. Please see columns “Analog Function 1~3” in Table <a href="#">IO_MUX</a> .
5	These VDD3P3_RTC pins support the RTC function, and can work during Deep-sleep. For example, an RTC-GPIO can be used for waking up the chip from Deep-sleep.
6	The GPIO pins support up to six digital functions, as shown in columns “Function 1~6” In Table <a href="#">IO_MUX</a> . The function selection registers will be set as “N-1”, where N is the function number. Below are some definitions: <ul style="list-style-type: none"> <li>• SD_* is for signals of the SDIO slave.</li> <li>• HS1_* is for Port 1 signals of the SDIO host.</li> <li>• HS2_* is for Port 2 signals of the SDIO host.</li> <li>• MT* is for signals of the JTAG.</li> <li>• U0* is for signals of the UART0 module.</li> <li>• U1* is for signals of the UART1 module.</li> <li>• U2* is for signals of the UART2 module.</li> <li>• SPI* is for signals of the SPI01 module.</li> <li>• HSPI* is for signals of the SPI2 module.</li> <li>• VSPI* is for signals of the SPI3 module.</li> </ul>

No.	Description
7	<p>Each column about digital “Function” is accompanied by a column about “Type”. Please see the following explanations for the meanings of “type” with respect to each “function” they are associated with. For each “Function-<i>N</i>”, “type” signifies:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• I: input only. If a function other than “Function-<i>N</i>” is assigned, the input signal of “Function-<i>N</i>” is still from this pin.</li> <li>• I1: input only. If a function other than “Function-<i>N</i>” is assigned, the input signal of “Function-<i>N</i>” is always “1”.</li> <li>• IO: input only. If a function other than “Function-<i>N</i>” is assigned, the input signal of “Function-<i>N</i>” is always “0”.</li> <li>• O: output only.</li> <li>• T: high-impedance.</li> <li>• I/O/T: combinations of input, output, and high-impedance according to the function signal.</li> <li>• I1/O/T: combinations of input, output, and high-impedance, according to the function signal. If a function is not selected, the input signal of the function is “1”.</li> </ul> <p>For example, pin 30 can function as HS1_CMD or SD_CMD, where HS1_CMD is of an “I1/O/T” type. If pin 30 is selected as HS1_CMD, this pin’s input and output are controlled by the SDIO host. If pin 30 is not selected as HS1_CMD, the input signal of the SDIO host is always “1”.</p>
8	<p>Each digital output pin is associated with its configurable drive strength. Column “Drive Strength” in Table <a href="#">IO_MUX</a> lists the default values. The drive strength of the digital output pins can be configured into one of the following four options:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0: ~5 mA</li> <li>• 1: ~10 mA</li> <li>• 2: ~20 mA</li> <li>• 3: ~40 mA</li> </ul> <p>The default value is 2. The drive strength of the internal pull-up (wpu) and pull-down (wpd) is ~75 <math>\mu</math>A.</p>
9	<p>Column “At Reset” in Table <a href="#">IO_MUX</a> lists the status of each pin during reset, including input-enable (ie=1), internal pull-up (wpu) and internal pull-down (wpd). During reset, all pins are output-disabled.</p>
10	<p>Column “After Reset” in Table <a href="#">IO_MUX</a> lists the status of each pin immediately after reset, including input-enable (ie=1), internal pull-up (wpu) and internal pull-down (wpd). After reset, each pin is set to “Function 1”. The output-enable is controlled by digital Function 1.</p>
11	<p>Table <a href="#">Ethernet_MAC</a> is about the signal mapping inside Ethernet MAC. The Ethernet MAC supports MII and RMII interfaces, and supports both the internal PLL clock and the external clock source. For the MII interface, the Ethernet MAC is with/without the TX_ERR signal. MDC, MDIO, CRS and COL are slow signals, and can be mapped onto any GPIO pin through the GPIO-Matrix.</p>
12	<p>Table <a href="#">GPIO Matrix</a> is for the GPIO-Matrix. The signals of the on-chip functional modules can be mapped onto any GPIO pin. Some signals can be mapped onto a pin by both IO-MUX and GPIO-Matrix, as shown in the column tagged as “Same input signal from IO_MUX core” in Table <a href="#">GPIO Matrix</a>.</p>

No.	Description
13	*In Table <a href="#">GPIO_Matrix</a> the column “Default Value if unassigned” records the default value of the an input signal if no GPIO is assigned to it. The actual value is determined by register GPIO_FUNC <i>m</i> _IN_INV_SEL and GPIO_FUNC <i>m</i> _IN_SEL. (The value of <i>m</i> ranges from 1 to 255.)

## A.2. GPIO\_Matrix

Table 25: GPIO\_Matrix

Signal No.	Input signals	Default value if unassigned*	Same input signal from IO_MUX core	Output signals	Output enable of output signals
0	SPICLK_in	0	yes	SPICLK_out	SPICLK_oe
1	SPIQ_in	0	yes	SPIQ_out	SPIQ_oe
2	SPID_in	0	yes	SPID_out	SPID_oe
3	SPIHD_in	0	yes	SPIHD_out	SPIHD_oe
4	SPIWP_in	0	yes	SPIWP_out	SPIWP_oe
5	SPICS0_in	0	yes	SPICS0_out	SPICS0_oe
6	SPICS1_in	0	no	SPICS1_out	SPICS1_oe
7	SPICS2_in	0	no	SPICS2_out	SPICS2_oe
8	HSPICLK_in	0	yes	HSPICLK_out	HSPICLK_oe
9	HSPIQ_in	0	yes	HSPIQ_out	HSPIQ_oe
10	HSPID_in	0	yes	HSPID_out	HSPID_oe
11	HSPICS0_in	0	yes	HSPICS0_out	HSPICS0_oe
12	HSPIHD_in	0	yes	HSPIHD_out	HSPIHD_oe
13	HSPIWP_in	0	yes	HSPIWP_out	HSPIWP_oe
14	U0RXD_in	0	yes	U0TXD_out	1'd1
15	U0CTS_in	0	yes	U0RTS_out	1'd1
16	U0DSR_in	0	no	U0DTR_out	1'd1
17	U1RXD_in	0	yes	U1TXD_out	1'd1
18	U1CTS_in	0	yes	U1RTS_out	1'd1
23	I2S0O_BCK_in	0	no	I2S0O_BCK_out	1'd1
24	I2S1O_BCK_in	0	no	I2S1O_BCK_out	1'd1
25	I2S0O_WS_in	0	no	I2S0O_WS_out	1'd1
26	I2S1O_WS_in	0	no	I2S1O_WS_out	1'd1
27	I2S0I_BCK_in	0	no	I2S0I_BCK_out	1'd1
28	I2S0I_WS_in	0	no	I2S0I_WS_out	1'd1
29	I2CEXT0_SCL_in	1	no	I2CEXT0_SCL_out	1'd1
30	I2CEXT0_SDA_in	1	no	I2CEXT0_SDA_out	1'd1
31	pwm0_sync0_in	0	no	sdio_tohost_int_out	1'd1
32	pwm0_sync1_in	0	no	pwm0_out0a	1'd1
33	pwm0_sync2_in	0	no	pwm0_out0b	1'd1
34	pwm0_f0_in	0	no	pwm0_out1a	1'd1

Signal No.	Input signals	Default value if unassigned*	Same input signal from IO_MUX core	Output signals	Output enable of output signals
35	pwm0_f1_in	0	no	pwm0_out1b	1'd1
36	pwm0_f2_in	0	no	pwm0_out2a	1'd1
37	-	0	no	pwm0_out2b	1'd1
39	pcnt_sig_ch0_in0	0	no	-	1'd1
40	pcnt_sig_ch1_in0	0	no	-	1'd1
41	pcnt_ctrl_ch0_in0	0	no	-	1'd1
42	pcnt_ctrl_ch1_in0	0	no	-	1'd1
43	pcnt_sig_ch0_in1	0	no	-	1'd1
44	pcnt_sig_ch1_in1	0	no	-	1'd1
45	pcnt_ctrl_ch0_in1	0	no	-	1'd1
46	pcnt_ctrl_ch1_in1	0	no	-	1'd1
47	pcnt_sig_ch0_in2	0	no	-	1'd1
48	pcnt_sig_ch1_in2	0	no	-	1'd1
49	pcnt_ctrl_ch0_in2	0	no	-	1'd1
50	pcnt_ctrl_ch1_in2	0	no	-	1'd1
51	pcnt_sig_ch0_in3	0	no	-	1'd1
52	pcnt_sig_ch1_in3	0	no	-	1'd1
53	pcnt_ctrl_ch0_in3	0	no	-	1'd1
54	pcnt_ctrl_ch1_in3	0	no	-	1'd1
55	pcnt_sig_ch0_in4	0	no	-	1'd1
56	pcnt_sig_ch1_in4	0	no	-	1'd1
57	pcnt_ctrl_ch0_in4	0	no	-	1'd1
58	pcnt_ctrl_ch1_in4	0	no	-	1'd1
61	HSPICS1_in	0	no	HSPICS1_out	HSPICS1_oe
62	HSPICS2_in	0	no	HSPICS2_out	HSPICS2_oe
63	VSPICLK_in	0	yes	VSPICLK_out_mux	VSPICLK_oe
64	VSPIQ_in	0	yes	VSPIQ_out	VSPIQ_oe
65	VSPID_in	0	yes	VSPID_out	VSPID_oe
66	VSPIHD_in	0	yes	VSPIHD_out	VSPIHD_oe
67	VSPIWP_in	0	yes	VSPIWP_out	VSPIWP_oe
68	VSPICS0_in	0	yes	VSPICS0_out	VSPICS0_oe
69	VSPICS1_in	0	no	VSPICS1_out	VSPICS1_oe
70	VSPICS2_in	0	no	VSPICS2_out	VSPICS2_oe
71	pcnt_sig_ch0_in5	0	no	ledc_hs_sig_out0	1'd1
72	pcnt_sig_ch1_in5	0	no	ledc_hs_sig_out1	1'd1
73	pcnt_ctrl_ch0_in5	0	no	ledc_hs_sig_out2	1'd1
74	pcnt_ctrl_ch1_in5	0	no	ledc_hs_sig_out3	1'd1
75	pcnt_sig_ch0_in6	0	no	ledc_hs_sig_out4	1'd1
76	pcnt_sig_ch1_in6	0	no	ledc_hs_sig_out5	1'd1
77	pcnt_ctrl_ch0_in6	0	no	ledc_hs_sig_out6	1'd1
78	pcnt_ctrl_ch1_in6	0	no	ledc_hs_sig_out7	1'd1

Signal No.	Input signals	Default value if unassigned*	Same input signal from IO_MUX core	Output signals	Output enable of output signals
79	pcnt_sig_ch0_in7	0	no	ledc_ls_sig_out0	1'd1
80	pcnt_sig_ch1_in7	0	no	ledc_ls_sig_out1	1'd1
81	pcnt_ctrl_ch0_in7	0	no	ledc_ls_sig_out2	1'd1
82	pcnt_ctrl_ch1_in7	0	no	ledc_ls_sig_out3	1'd1
83	rmt_sig_in0	0	no	ledc_ls_sig_out4	1'd1
84	rmt_sig_in1	0	no	ledc_ls_sig_out5	1'd1
85	rmt_sig_in2	0	no	ledc_ls_sig_out6	1'd1
86	rmt_sig_in3	0	no	ledc_ls_sig_out7	1'd1
87	rmt_sig_in4	0	no	rmt_sig_out0	1'd1
88	rmt_sig_in5	0	no	rmt_sig_out1	1'd1
89	rmt_sig_in6	0	no	rmt_sig_out2	1'd1
90	rmt_sig_in7	0	no	rmt_sig_out3	1'd1
91	-	-	-	rmt_sig_out4	1'd1
92	-	-	-	rmt_sig_out6	1'd1
94	-	-	-	rmt_sig_out7	1'd1
95	I2CEXT1_SCL_in	1	no	I2CEXT1_SCL_out	1'd1
96	I2CEXT1_SDA_in	1	no	I2CEXT1_SDA_out	1'd1
97	host_card_detect_n_1	0	no	host_ccmd_od_pullup_en_n	1'd1
98	host_card_detect_n_2	0	no	host_rst_n_1	1'd1
99	host_card_write_prt_1	0	no	host_rst_n_2	1'd1
100	host_card_write_prt_2	0	no	gpio_sd0_out	1'd1
101	host_card_int_n_1	0	no	gpio_sd1_out	1'd1
102	host_card_int_n_2	0	no	gpio_sd2_out	1'd1
103	pwm1_sync0_in	0	no	gpio_sd3_out	1'd1
104	pwm1_sync1_in	0	no	gpio_sd4_out	1'd1
105	pwm1_sync2_in	0	no	gpio_sd5_out	1'd1
106	pwm1_f0_in	0	no	gpio_sd6_out	1'd1
107	pwm1_f1_in	0	no	gpio_sd7_out	1'd1
108	pwm1_f2_in	0	no	pwm1_out0a	1'd1
109	pwm0_cap0_in	0	no	pwm1_out0b	1'd1
110	pwm0_cap1_in	0	no	pwm1_out1a	1'd1
111	pwm0_cap2_in	0	no	pwm1_out1b	1'd1
112	pwm1_cap0_in	0	no	pwm1_out2a	1'd1
113	pwm1_cap1_in	0	no	pwm1_out2b	1'd1
114	pwm1_cap2_in	0	no	pwm2_out1h	1'd1
115	pwm2_fta	1	no	pwm2_out1l	1'd1
116	pwm2_ftb	1	no	pwm2_out2h	1'd1
117	pwm2_cap1_in	0	no	pwm2_out2l	1'd1
118	pwm2_cap2_in	0	no	pwm2_out3h	1'd1
119	pwm2_cap3_in	0	no	pwm2_out3l	1'd1
120	pwm3_fta	1	no	pwm2_out4h	1'd1

Signal No.	Input signals	Default value if unassigned*	Same input signal from IO_MUX core	Output signals	Output enable of output signals
121	pwm3_fltb	1	no	pwm2_out4l	1'd1
122	pwm3_cap1_in	0	no	-	1'd1
123	pwm3_cap2_in	0	no	-	1'd1
124	pwm3_cap3_in	0	no	-	1'd1
140	I2S0I_DATA_in0	0	no	I2S0O_DATA_out0	1'd1
141	I2S0I_DATA_in1	0	no	I2S0O_DATA_out1	1'd1
142	I2S0I_DATA_in2	0	no	I2S0O_DATA_out2	1'd1
143	I2S0I_DATA_in3	0	no	I2S0O_DATA_out3	1'd1
144	I2S0I_DATA_in4	0	no	I2S0O_DATA_out4	1'd1
145	I2S0I_DATA_in5	0	no	I2S0O_DATA_out5	1'd1
146	I2S0I_DATA_in6	0	no	I2S0O_DATA_out6	1'd1
147	I2S0I_DATA_in7	0	no	I2S0O_DATA_out7	1'd1
148	I2S0I_DATA_in8	0	no	I2S0O_DATA_out8	1'd1
149	I2S0I_DATA_in9	0	no	I2S0O_DATA_out9	1'd1
150	I2S0I_DATA_in10	0	no	I2S0O_DATA_out10	1'd1
151	I2S0I_DATA_in11	0	no	I2S0O_DATA_out11	1'd1
152	I2S0I_DATA_in12	0	no	I2S0O_DATA_out12	1'd1
153	I2S0I_DATA_in13	0	no	I2S0O_DATA_out13	1'd1
154	I2S0I_DATA_in14	0	no	I2S0O_DATA_out14	1'd1
155	I2S0I_DATA_in15	0	no	I2S0O_DATA_out15	1'd1
156	-	-	-	I2S0O_DATA_out16	1'd1
157	-	-	-	I2S0O_DATA_out17	1'd1
158	-	-	-	I2S0O_DATA_out18	1'd1
159	-	-	-	I2S0O_DATA_out19	1'd1
160	-	-	-	I2S0O_DATA_out20	1'd1
161	-	-	-	I2S0O_DATA_out21	1'd1
162	-	-	-	I2S0O_DATA_out22	1'd1
163	-	-	-	I2S0O_DATA_out23	1'd1
164	I2S1I_BCK_in	0	no	I2S1I_BCK_out	1'd1
165	I2S1I_WS_in	0	no	I2S1I_WS_out	1'd1
166	I2S1I_DATA_in0	0	no	I2S1O_DATA_out0	1'd1
167	I2S1I_DATA_in1	0	no	I2S1O_DATA_out1	1'd1
168	I2S1I_DATA_in2	0	no	I2S1O_DATA_out2	1'd1
169	I2S1I_DATA_in3	0	no	I2S1O_DATA_out3	1'd1
170	I2S1I_DATA_in4	0	no	I2S1O_DATA_out4	1'd1
171	I2S1I_DATA_in5	0	no	I2S1O_DATA_out5	1'd1
172	I2S1I_DATA_in6	0	no	I2S1O_DATA_out6	1'd1
173	I2S1I_DATA_in7	0	no	I2S1O_DATA_out7	1'd1
174	I2S1I_DATA_in8	0	no	I2S1O_DATA_out8	1'd1
175	I2S1I_DATA_in9	0	no	I2S1O_DATA_out9	1'd1
176	I2S1I_DATA_in10	0	no	I2S1O_DATA_out10	1'd1

Signal No.	Input signals	Default value if unassigned*	Same input signal from IO_MUX core	Output signals	Output enable of output signals
177	I2S1I_DATA_in11	0	no	I2S1O_DATA_out11	1'd1
178	I2S1I_DATA_in12	0	no	I2S1O_DATA_out12	1'd1
179	I2S1I_DATA_in13	0	no	I2S1O_DATA_out13	1'd1
180	I2S1I_DATA_in14	0	no	I2S1O_DATA_out14	1'd1
181	I2S1I_DATA_in15	0	no	I2S1O_DATA_out15	1'd1
182	-	-	-	I2S1O_DATA_out16	1'd1
183	-	-	-	I2S1O_DATA_out17	1'd1
184	-	-	-	I2S1O_DATA_out18	1'd1
185	-	-	-	I2S1O_DATA_out19	1'd1
186	-	-	-	I2S1O_DATA_out20	1'd1
187	-	-	-	I2S1O_DATA_out21	1'd1
188	-	-	-	I2S1O_DATA_out22	1'd1
189	-	-	-	I2S1O_DATA_out23	1'd1
190	I2S0I_H_SYNC	0	no	pwm3_out1h	1'd1
191	I2S0I_V_SYNC	0	no	pwm3_out1l	1'd1
192	I2S0I_H_ENABLE	0	no	pwm3_out2h	1'd1
193	I2S1I_H_SYNC	0	no	pwm3_out2l	1'd1
194	I2S1I_V_SYNC	0	no	pwm3_out3h	1'd1
195	I2S1I_H_ENABLE	0	no	pwm3_out3l	1'd1
196	-	-	-	pwm3_out4h	1'd1
197	-	-	-	pwm3_out4l	1'd1
198	U2RXD_in	0	yes	U2TXD_out	1'd1
199	U2CTS_in	0	yes	U2RTS_out	1'd1
200	<a href="#">emac_mdc_i</a>	0	no	<a href="#">emac_mdc_o</a>	<a href="#">emac_mdc_oe</a>
201	<a href="#">emac_mdi_i</a>	0	no	<a href="#">emac_mdo_o</a>	<a href="#">emac_mdo_o_e</a>
202	<a href="#">emac_crs_i</a>	0	no	<a href="#">emac_crs_o</a>	<a href="#">emac_crs_oe</a>
203	<a href="#">emac_col_i</a>	0	no	<a href="#">emac_col_o</a>	<a href="#">emac_col_oe</a>
204	pcmfsync_in	0	no	bt_audio0_irq	1'd1
205	pcmclk_in	0	no	bt_audio1_irq	1'd1
206	pcmdin	0	no	bt_audio2_irq	1'd1
207	-	-	-	ble_audio0_irq	1'd1
208	-	-	-	ble_audio1_irq	1'd1
209	-	-	-	ble_audio2_irq	1'd1
210	-	-	-	pcmfsync_out	pcmfsync_en
211	-	-	-	pcmclk_out	pcmclk_en
212	-	-	-	pcmdout	pcmdout_en
213	-	-	-	ble_audio_sync0_p	1'd1
214	-	-	-	ble_audio_sync1_p	1'd1
215	-	-	-	ble_audio_sync2_p	1'd1
224	-	-	-	sig_in_func224	1'd1
225	-	-	-	sig_in_func225	1'd1

Signal No.	Input signals	Default value if unassigned*	Same input signal from IO_MUX core	Output signals	Output enable of output signals
226	-	-	-	sig_in_func226	1'd1
227	-	-	-	sig_in_func227	1'd1
228	-	-	-	sig_in_func228	1'd1

### A.3. Ethernet\_MAC

Table 26: Ethernet\_MAC

PIN Name	Function6	MII (int_osc)	MII (ext_osc)	RMII (int_osc)	RMII (ext_osc)
GPIO0	EMAC_TX_CLK	TX_CLK (I)	TX_CLK (I)	CLK_OUT(O)	EXT_OSC_CLK(I)
GPIO5	EMAC_RX_CLK	RX_CLK (I)	RX_CLK (I)	-	-
GPIO21	EMAC_TX_EN	TX_EN(O)	TX_EN(O)	TX_EN(O)	TX_EN(O)
GPIO19	EMAC_TXD0	TXD[0](O)	TXD[0](O)	TXD[0](O)	TXD[0](O)
GPIO22	EMAC_TXD1	TXD[1](O)	TXD[1](O)	TXD[1](O)	TXD[1](O)
MTMS	EMAC_TXD2	TXD[2](O)	TXD[2](O)	-	-
MTDI	EMAC_TXD3	TXD[3](O)	TXD[3](O)	-	-
MTCK	EMAC_RX_ER	RX_ER(I)	RX_ER(I)	-	-
GPIO27	EMAC_RX_DV	RX_DV(I)	RX_DV(I)	CRS_DV(I)	CRS_DV(I)
GPIO25	EMAC_RXD0	RXD[0](I)	RXD[0](I)	RXD[0](I)	RXD[0](I)
GPIO26	EMAC_RXD1	RXD[1](I)	RXD[1](I)	RXD[1](I)	RXD[1](I)
U0TXD	EMAC_RXD2	RXD[2](I)	RXD[2](I)	-	-
MTDO	EMAC_RXD3	RXD[3](I)	RXD[3](I)	-	-
GPIO16	EMAC_CLK_OUT	CLK_OUT(O)	-	CLK_OUT(O)	-
GPIO17	EMAC_CLK_OUT_180	CLK_OUT_180(O)	-	CLK_OUT_180(O)	-
GPIO4	EMAC_TX_ER	TX_ERR(O)*	TX_ERR(O)*	-	-
In GPIO Matrix*	-	MDC(O)	MDC(O)	MDC(O)	MDC(O)
In GPIO Matrix*	-	MDIO(IO)	MDIO(IO)	MDIO(IO)	MDIO(IO)
In GPIO Matrix*	-	CRS(I)	CRS(I)	-	-
In GPIO Matrix*	-	COL(I)	COL(I)	-	-

\*Notes: 1. The GPIO Matrix can be any GPIO. 2. The TX\_ERR (O) is optional.

### A.4. IO\_MUX

For the list of IO\_MUX pins, please see the next page.



IO\_MUX

Pin No.	Power Supply Pin	Analog Pin	Digital Pin	Power Domain	Analog Function1	Analog Function2	Analog Function3	RTC Function1	RTC Function2	Function1	Type	Function2	Type	Function3	Type	Function4	Type	Function5	Type	Function6	Type	Drive Strength (2'd2: 20 mA)	At Reset	After Reset	
1	VDDA			VDDA supply in																					
2		LNA_IN		VDD3P3																					
3	VDD3P3			VDD3P3 supply in																					
4	VDD3P3			VDD3P3 supply in																					
5		SENSOR_VP		VDD3P3_RTC	ADC_H	ADC1_CH0		RTC_GPIO0		GPIO36	I			GPIO36	I								oe=0, ie=0	oe=0, ie=0	
6		SENSOR_CAPP		VDD3P3_RTC	ADC_H	ADC1_CH1		RTC_GPIO1		GPIO37	I			GPIO37	I								oe=0, ie=0	oe=0, ie=0	
7		SENSOR_CAPN		VDD3P3_RTC	ADC_H	ADC1_CH2		RTC_GPIO2		GPIO38	I			GPIO38	I								oe=0, ie=0	oe=0, ie=0	
8		SENSOR_VN		VDD3P3_RTC	ADC_H	ADC1_CH3		RTC_GPIO3		GPIO39	I			GPIO39	I								oe=0, ie=0	oe=0, ie=0	
9		CHIP_PU		VDD3P3_RTC																					
10		VDET_1		VDD3P3_RTC		ADC1_CH6		RTC_GPIO4		GPIO34	I			GPIO34	I								oe=0, ie=0	oe=0, ie=0	
11		VDET_2		VDD3P3_RTC		ADC1_CH7		RTC_GPIO5		GPIO35	I			GPIO35	I								oe=0, ie=0	oe=0, ie=0	
12		32K_XP		VDD3P3_RTC	XTAL_32K_P	ADC1_CH4	TOUCH9	RTC_GPIO9		GPIO32	I/O/T			GPIO32	I/O/T							2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=0	
13		32K_XN		VDD3P3_RTC	XTAL_32K_N	ADC1_CH5	TOUCH8	RTC_GPIO8		GPIO33	I/O/T			GPIO33	I/O/T							2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=0	
14			GPIO25	VDD3P3_RTC	DAC_1	ADC2_CH8		RTC_GPIO6		GPIO25	I/O/T			GPIO25	I/O/T						EMAC_RXD0	I	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=0
15			GPIO26	VDD3P3_RTC	DAC_2	ADC2_CH9		RTC_GPIO7		GPIO26	I/O/T			GPIO26	I/O/T						EMAC_RXD1	I	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=0
16			GPIO27	VDD3P3_RTC		ADC2_CH7	TOUCH7	RTC_GPIO17		GPIO27	I/O/T			GPIO27	I/O/T						EMAC_RX_DV	I	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=0
17			MTMS	VDD3P3_RTC		ADC2_CH6	TOUCH6	RTC_GPIO16		MTMS	I0	HSPICLK	I/O/T	GPIO14	I/O/T	HS2_CLK	O	SD_CLK	I0	EMAC_TXD2	O	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1, wpu	
18			MTDI	VDD3P3_RTC		ADC2_CH5	TOUCH5	RTC_GPIO15		MTDI	I1	HSPIQ	I/O/T	GPIO12	I/O/T	HS2_DATA2	I1/O/T	SD_DATA2	I1/O/T	EMAC_TXD3	O	2'd2	oe=0, ie=1, wpd	oe=0, ie=1, wpd	
19	VDD3P3_RTC			VDD3P3_RTC supply in																					
20			MTCK	VDD3P3_RTC		ADC2_CH4	TOUCH4	RTC_GPIO14		MTCK	I1	HSPID	I/O/T	GPIO13	I/O/T	HS2_DATA3	I1/O/T	SD_DATA3	I1/O/T	EMAC_RX_ER	I	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1, wpd	
21			MTDO	VDD3P3_RTC		ADC2_CH3	TOUCH3	RTC_GPIO13	I2C_SDA	MTDO	O/T	HSPICS0	I/O/T	GPIO15	I/O/T	HS2_CMD	I1/O/T	SD_CMD	I1/O/T	EMAC_RXD3	I	2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
22			GPIO2	VDD3P3_RTC		ADC2_CH2	TOUCH2	RTC_GPIO12	I2C_SCL	GPIO2	I/O/T	HSPIWP	I/O/T	GPIO2	I/O/T	HS2_DATA0	I1/O/T	SD_DATA0	I1/O/T			2'd2	oe=0, ie=1, wpd	oe=0, ie=1, wpd	
23			GPIO0	VDD3P3_RTC		ADC2_CH1	TOUCH1	RTC_GPIO11	I2C_SDA	GPIO0	I/O/T	CLK_OUT1	O	GPIO0	I/O/T					EMAC_TX_CLK	I	2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
24			GPIO4	VDD3P3_RTC		ADC2_CH0	TOUCH0	RTC_GPIO10	I2C_SCL	GPIO4	I/O/T	HSPIHD	I/O/T	GPIO4	I/O/T	HS2_DATA1	I1/O/T	SD_DATA1	I1/O/T	EMAC_TX_ER	O	2'd2	oe=0, ie=1, wpd	oe=0, ie=1, wpd	
25			GPIO16	VDD_SDIO						GPIO16	I/O/T			GPIO16	I/O/T	HS1_DATA4	I1/O/T	U2RXD	I1	EMAC_CLK_OUT	O	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1	
26	VDD_SDIO			VDD_SDIO supply out/in																					
27			GPIO17	VDD_SDIO						GPIO17	I/O/T			GPIO17	I/O/T	HS1_DATA5	I1/O/T	U2TXD	O	EMAC_CLK_OUT_180	O	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1	
28			SD_DATA_2	VDD_SDIO						SD_DATA2	I1/O/T	SPHD	I/O/T	GPIO9	I/O/T	HS1_DATA2	I1/O/T	U1RXD	I1			2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
29			SD_DATA_3	VDD_SDIO						SD_DATA3	I0/O/T	SPWP	I/O/T	GPIO10	I/O/T	HS1_DATA3	I1/O/T	U1TXD	O			2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
30			SD_CMD	VDD_SDIO						SD_CMD	I1/O/T	SPICS0	I/O/T	GPIO11	I/O/T	HS1_CMD	I1/O/T	U1RTS	O			2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
31			SD_CLK	VDD_SDIO						SD_CLK	I0	SPICLK	I/O/T	GPIO6	I/O/T	HS1_CLK	O	U1CTS	I1			2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
32			SD_DATA_0	VDD_SDIO						SD_DATA0	I1/O/T	SPIQ	I/O/T	GPIO7	I/O/T	HS1_DATA0	I1/O/T	U2RTS	O			2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
33			SD_DATA_1	VDD_SDIO						SD_DATA1	I1/O/T	SPID	I/O/T	GPIO8	I/O/T	HS1_DATA1	I1/O/T	U2CTS	I1			2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
34			GPIO5	VDD3P3_CPU						GPIO5	I/O/T	VSPICS0	I/O/T	GPIO5	I/O/T	HS1_DATA6	I1/O/T			EMAC_RX_CLK	I	2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
35			GPIO18	VDD3P3_CPU						GPIO18	I/O/T	VSPICLK	I/O/T	GPIO18	I/O/T	HS1_DATA7	I1/O/T					2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1	
36			GPIO23	VDD3P3_CPU						GPIO23	I/O/T	VSPID	I/O/T	GPIO23	I/O/T	HS1_STROBE	I0					2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1	
37	VDD3P3_CPU			VDD3P3_CPU supply in																					
38			GPIO19	VDD3P3_CPU						GPIO19	I/O/T	VSPIQ	I/O/T	GPIO19	I/O/T	U0CTS	I1			EMAC_TXD0	O	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1	
39			GPIO22	VDD3P3_CPU						GPIO22	I/O/T	VSPWP	I/O/T	GPIO22	I/O/T	U0RTS	O			EMAC_TXD1	O	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1	
40			U0RXD	VDD3P3_CPU						U0RXD	I1	CLK_OUT2	O	GPIO3	I/O/T							2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
41			U0TXD	VDD3P3_CPU						U0TXD	O	CLK_OUT3	O	GPIO1	I/O/T					EMAC_RXD2	I	2'd2	oe=0, ie=1, wpu	oe=0, ie=1, wpu	
42			GPIO21	VDD3P3_CPU						GPIO21	I/O/T	VSPICLK	I/O/T	GPIO21	I/O/T					EMAC_TX_EN	O	2'd2	oe=0, ie=0	oe=0, ie=1	
43	VDDA			VDDA supply in																					
44		XTAL_N		VDDA																					
45		XTAL_P		VDDA																					
46	VDDA			VDDA supply in																					
47		CAP2		VDDA																					
48		CAP1		VDDA																					
<b>Total Number</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>26</b>																						

**Notes:**

- wpu: weak pull-up;
- wpd: weak pull-down;
- ie: input enable;
- oe: output enable;
- Please see Table: Notes on ESP32 Pin Lists for more information. (请参考表：管脚清单说明。)

## Revision History

Date	Version	Release notes
2021-01-22	V3.5	Updated the description for CAP2 from 3 nF to 3.3 nF Added TWAI® in Section 1.4.3: <i>Advanced Peripheral Interfaces</i> Updated Figure 1: <i>Functional Block Diagram</i> Updated the reset values for MTCK, MTMS, GPIO27 in Appendix IO_MUX
2020-04-27	V3.4	Added one chip variant: ESP32-U4WDH Updated some figures in Table 6, 16, 17, 19, 21, 22 Added a note under Table 18
2020.01	V3.3	Added two chip variants: ESP32-D0WD-V3 and ESP32-D0WDQ6-V3. Added a note under Table 7.
2019.10	V3.2	Updated Figure 5: <i>ESP32 Power-up and Reset Timing</i> .
2019.07	V3.1	Added pin-pin mapping between ESP32-D2WD and the embedded flash under Table 1 <i>Pin Description</i> ; Updated Figure 10 <i>ESP32 Part Number</i> .
2019.04	V3.0	Added information about the setup and hold times for the strapping pins in Section 2.4: <i>Strapping Pins</i> .
2019.02	V2.9	Applied new formatting to Table 1: <i>Pin Description</i> ; Fixed typos with respect to the ADC1 channel mappings in Table 10: <i>Peripheral Pin Configurations</i> .
2019.01	V2.8	Changed the RF power control range in Table 18, Table 20 and Table 22 from -12 ~ +12 to -12 ~ +9 dBm; Small text changes.
2018.11	V2.7	Updated Section 1.5; Updated pin statuses at reset and after reset in Table IO_MUX.
2018.10	V2.6	Updated QFN package drawings in Chapter 6: <i>Package Information</i> .
2018.08	V2.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Added "Cumulative IO output current" entry to Table 11: <i>Absolute Maximum Ratings</i>;</li> <li>Added more parameters to Table 13: <i>DC Characteristics</i>;</li> <li>Changed the power domain names in Table IO_MUX to be consistent with the pin names.</li> </ul>
2018.07	V2.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deleted information on Packet Traffic Arbitration (PTA);</li> <li>Added Figure 5: <i>ESP32 Power-up and Reset Timing</i> in Section 2.3: <i>Power Scheme</i>;</li> <li>Added the power consumption of dual-core SoCs in Table 6: <i>Power Consumption by Power Modes</i>;</li> <li>Updated section 4.1.2: <i>Analog-to-Digital Converter (ADC)</i>.</li> </ul>
2018.06	V2.3	Added the power consumption at CPU frequency of 160 MHz in Table 6: <i>Power Consumption by Power Modes</i> .

Date	Version	Release notes
2018.05	V2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changed the voltage range of VDD3P3_RTC from 1.8-3.6V to 2.3-3.6V in Table 1: Pin Description;</li> <li>• Updated Section 2.3: Power Scheme;</li> <li>• Updated Section 3.1.3: External Flash and SRAM;</li> <li>• Updated Table 6: Power Consumption by Power Modes;</li> <li>• Deleted content about temperature sensor;</li> </ul> Changes to electrical characteristics: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Updated Table 11: Absolute Maximum Ratings;</li> <li>• Added Table 12: Recommended Operating Conditions;</li> <li>• Added Table 13: DC Characteristics;</li> <li>• Added Table 14: Reliability Qualifications;</li> <li>• Updated the values of "Gain control step" and "Adjacent channel transmit power" in Table 18: Transmitter Characteristics - Basic Data Rate;</li> <li>• Updated the values of "Gain control step", "<math>\pi/4</math> DQPSK modulation accuracy", "8 DPSK modulation accuracy" and "In-band spurious emissions" in Table 20: Transmitter Characteristics – Enhanced Data Rate;</li> <li>• Updated the values of "Gain control step", "Adjacent channel transmit power" in Table 22: Transmitter Characteristics - BLE.</li> </ul>
2018.01	V2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deleted software-specific features;</li> <li>• Deleted information on LNA pre-amplifier;</li> <li>• Specified the CPU speed and flash speed of ESP32-D2WD;</li> <li>• Added notes to Section 2.3: Power Scheme.</li> </ul>
2017.12	V2.0	Added a note on the sequence of pin number in Chapter 6.
2017.10	V1.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Updated the description of the pin CHIP_PU in Table 1;</li> <li>• Added a note to Section 2.3: Power Scheme;</li> <li>• Updated the description of the chip's system reset in Section 2.4: Strapping Pins;</li> <li>• Added a description of antenna diversity and selection to Section 3.5.1;</li> <li>• Deleted "Association sleep pattern" in Table 6 and added notes to Active sleep and Modem-sleep.</li> </ul>
2017.08	V1.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Added Table 4.2 in Section 4;</li> <li>• Corrected a typo in Figure 1.</li> </ul>

Date	Version	Release notes
2017.08	V1.7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changed the transmitting power to +12 dBm; the sensitivity of NZIF receiver to -97 dBm in Section 1.3;</li> <li>• Added a note to Table 1 Pin Description;</li> <li>• Added 160 MHz clock frequency in section 3.1.1;</li> <li>• Changed the transmitting power from 21 dBm to 20.5 dBm in Section 3.5.1;</li> <li>• Changed the dynamic control range of class-1, class-2 and class-3 transmit output powers to "up to 24 dBm"; and changed the dynamic range of NZIF receiver sensitivity to "over 97 dB" in Section 3.6.1;</li> <li>• Updated Table 6: Power Consumption by Power Modes, and added two notes to it;</li> <li>• Updated sections 4.1.1, 4.1.9;</li> <li>• Updated Table 11: Absolute Maximum Ratings;</li> <li>• Updated Table 15: RF Power Consumption Specifications, and changed the duty cycle on which the transmitters' measurements are based by 50%.</li> <li>• Updated Table 16: Wi-Fi Radio Characteristics and added a note on "Output impedance" to it;</li> <li>• Updated parameter "Sensitivity" in Table 17, 19, 21;</li> <li>• Updated parameters "RF transmit power" and "RF power control range", and added parameter "Gain control step" in Table 18, 20, 22;</li> <li>• Deleted Chapters: "Touch Sensor" and "Code Examples";</li> <li>• Added a link to <a href="#">certification download</a>.</li> </ul>
2017.06	V1.6	<p>Corrected two typos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Changed the number of external components to 20 in Section 1.1.2;</li> <li>• Changed the number of GPIO pins to 34 in Section 4.1.1.</li> </ul>
2017.06	V1.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changed the power supply range in Section: 1.4.1 CPU and Memory;</li> <li>• Updated the note in Section 2.3: Power Scheme;</li> <li>• Updated Table 11: Absolute Maximum Ratings;</li> <li>• Changed the drive strength values of the digital output pins in Note 8, in Table 24: Notes on ESP32 Pin Lists;</li> <li>• Added the option to subscribe for notifications of documentation changes.</li> </ul>
2017.05	V1.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Added a note to the frequency of the external crystal oscillator in Section 1.4.2: Clocks and Timers;</li> <li>• Added a note to Section 2.4: Strapping Pins;</li> <li>• Updated Section 3.7: RTC and Low-Power Management;</li> <li>• Changed the maximum driving capability from 12 mA to 80 mA, in Table 11: Absolute Maximum Ratings;</li> <li>• Changed the input impedance value of 50Ω, in Table 16: Wi-Fi Radio Characteristics, to output impedance value of 30+j10 Ω;</li> <li>• Added a note to No.8 in Table 24: Notes on ESP32 Pin Lists;</li> <li>• Deleted GPIO20 in Table IO_MUX.</li> </ul>
2017.04	V1.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Added Appendix: <a href="#">ESP32 Pin Lists</a>;</li> <li>• Updated Table: <a href="#">Wi-Fi Radio Characteristics</a>;</li> <li>• Updated Figure: <a href="#">ESP32 Pin Layout (for QFN 5*5)</a>.</li> </ul>

Date	Version	Release notes
2017.03	V1.2	<ul style="list-style-type: none"><li>• Added a note to Table: <a href="#">Pin Description</a>;</li><li>• Updated the note in Section: <a href="#">Internal Memory</a>.</li></ul>
2017.02	V1.1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Added Chapter: <a href="#">Part Number and Ordering Information</a>;</li><li>• Updated Section: <a href="#">MCU and Advanced Features</a>;</li><li>• Updated Section: <a href="#">Block Diagram</a>;</li><li>• Updated Chapter: <a href="#">Pin Definitions</a>;</li><li>• Updated Section: <a href="#">CPU and Memory</a>;</li><li>• Updated Section: <a href="#">Audio PLL Clock</a>;</li><li>• Updated Section: <a href="#">Absolute Maximum Ratings</a>;</li><li>• Updated Chapter: <a href="#">Package Information</a>;</li><li>• Updated Chapter: <a href="#">Learning Resources</a>.</li></ul>
2016.08	V1.0	First release.



[www.espressif.com](http://www.espressif.com)

## Disclaimer and Copyright Notice

Information in this document, including URL references, is subject to change without notice.

ALL THIRD PARTY'S INFORMATION IN THIS DOCUMENT IS PROVIDED AS IS WITH NO WARRANTIES TO ITS AUTHENTICITY AND ACCURACY.

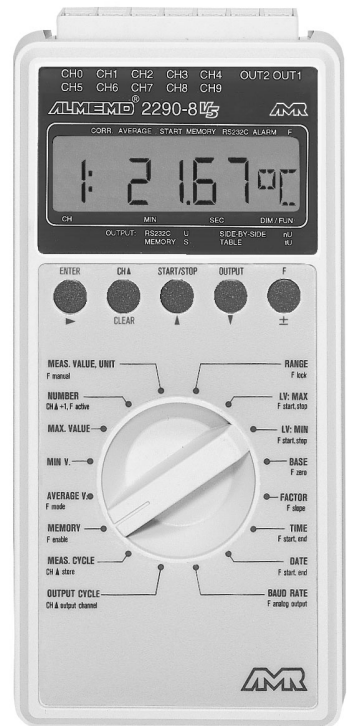
NO WARRANTY IS PROVIDED TO THIS DOCUMENT FOR ITS MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE, NOR DOES ANY WARRANTY OTHERWISE ARISING OUT OF ANY PROPOSAL, SPECIFICATION OR SAMPLE.

All liability, including liability for infringement of any proprietary rights, relating to use of information in this document is disclaimed. No licenses express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights are granted herein.

The Wi-Fi Alliance Member logo is a trademark of the Wi-Fi Alliance. The Bluetooth logo is a registered trademark of Bluetooth SIG.

All trade names, trademarks and registered trademarks mentioned in this document are property of their respective owners, and are hereby acknowledged.

**Copyright © 2021 Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd. All rights reserved.**



## Operating Instructions

# Data Logger ALMEMO<sup>®</sup> 2290-8

V2.1  
04.12.2003

# Operating Instructions

## Data Logger

# ALMEMO<sup>®</sup> 2290-8

For reference with the ALMEMO<sup>®</sup> Manual

## Table of Contents

	Page	
<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
1.1	Function Range	4
1.2	Operating Controls	9
<b>2</b>	<b>INITIAL OPERATION</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>POWER SUPPLY</b>	<b>12</b>
3.1	Operation with Battery and Rechargeable Battery	12
3.2	External Voltage Supply	13
3.3	Switch On/Off, Reinitialisation	14
3.4	Battery Buffer	14
<b>4.</b>	<b>CONNECTION OF THE TRANSDUCERS</b>	<b>15</b>
4.1	Transducers	15
4.2	Measuring Inputs and Additional Channels	15
<b>5</b>	<b>DISPLAY AND KEYBOARD</b>	<b>17</b>
5.1	Display and Function Selection	17
5.2	Keyboard	18
5.3	Data Entry	19
5.4	Keyboard Lock	19
<b>6</b>	<b>SENSOR PROGRAMMING</b>	<b>20</b>
6.1	Selecting the Input Channel	20
6.2	Selecting the Measuring Range	21
6.3	Changing the Dimension	24
6.4	Limit Values	24



	Page	
6.5	Correction Values	25
6.6	Scaling, Decimal Point Setting	26
6.7	Locking the Programming of the Sensor	27
<b>7</b>	<b>MEASUREMENT</b>	<b>27</b>
<b>7.1</b>	<b>Continuous Measurement of a Measuring Point</b>	<b>28</b>
7.1.1	Selecting the Measuring Point	28
7.1.2	Memory for Peak Values	29
7.1.3	Averaging	29
7.1.4	Setting the Measured Value to Zero, Zero Point Correction	31
7.1.5	Atmospheric Pressure Compensation	32
<b>7.2</b>	<b>Single Measuring Point Scan</b>	<b>33</b>
<b>7.3</b>	<b>Cyclic Measuring Point Scan</b>	<b>33</b>
7.3.1	Print Cycle, Output Channel, Output Format	34
7.3.2	Measuring Cycle and Memory Activation	35
7.3.3	Conversion Rate, Continuous Measuring Point Scan	35
7.3.4	Time and Date	36
7.3.5	Time and Date of Start, Time and Date of End	36
7.3.6	Start and Stop by Limit Values	37
<b>7.4</b>	<b>Data Memory</b>	<b>38</b>
7.4.1	Data Acquisition	38
7.4.2	Memory Connector	39
7.4.3	Output of Measuring Data	40
<b>7.5</b>	<b>Numbering Measurements</b>	<b>41</b>
<b>7.6</b>	<b>Sleep Mode</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>DIGITAL DATA OUTPUT</b>	<b>43</b>
8.1	Baud Rate, Data Format	43
8.2	Device Address and Networking	44
8.3	Manual Data Output	44
<b>9</b>	<b>ANALOGUE OUTPUT</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>TROUBLESHOOTING</b>	<b>47</b>
<b>11</b>	<b>ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY</b>	<b>48</b>
	<b>APPENDIX</b>	<b>49</b>
	Technical Data	49
	Product Overview	49

# 1. INTRODUCTION

The new data logger ALMEMO® 2290-8 *Version 5* is an instrument from the unique product range of measuring devices that are all equipped with the ALMEMO® connector system, which has been patented by Ahlborn GmbH. The intelligent ALMEMO® connector provides important advantages with regard to the connection of sensors and peripherals as all parameters are stored in an EEPROM within the connector. As a result, the programming that usually has to be performed for the connection is not required.

All sensors and output modules can be connected to all ALMEMO® measuring devices in the same way. The operation and programming is identical with all units. Therefore, all of the ALMEMO® measuring system items listed below are described, in detail, in a separate ALMEMO® manual that is supplied with every device:

- Detailed description of the ALMEMO® system (manual section 1)
- Overview of the device functions and measuring ranges (manual section 2)
- All sensors with basic principles, operation, technical data (man. section 3)
- The options for connecting existing sensors (manual section 4)
- All analogue and digital output modules (manual section 5.1)
- The interface module RS232, fiber optics, Centronics (manual section 5.2)
- The entire ALMEMO® networking system (manual section 5.3)
- All functions and their control via the interface (manual section 6)
- A complete interface command list with all print outputs (manual section 7)

These operating instructions only cover features and controls that are specific for a certain device. As a result, the sections dealing with the system control via keyboard will only often provide a note referring to a more detailed description within the manual (manual section x.x.x).

## 1.1 Function Range

The ALMEMO® 2290-8 data logger has five electrically isolated measuring inputs with up to 20 measuring channels for more than 70 measuring ranges, a real time clock and a 500kB memory for approximately 100,000 measured values. Two output sockets allow for connecting any ALMEMO® output modules, for example, the analogue output, digital interface, trigger input or alarm contacts. Several devices can be networked by a simple connection between the devices. For easy operation it is equipped with a rotary switch, keyboard and an 8½ digit LCD display.

### SENSOR PROGRAMMING

The measuring channels are automatically programmed by the ALMEMO® connectors of the sensors. However, the user can easily complete or modify the programming via keyboard or via interface.

## Measuring Ranges

There are corresponding measuring ranges for sensors with a non-linear characteristic such as 10 thermocouple types, Ntc and Pt100 sensors, infrared sensors, and flow sensors (rotating vanes, thermoanemometers, pitot tubes). Humidity sensors are available with function channels that also calculate humidity data such as dew point, mixture ratio, vapour pressure and enthalpy. Even complex chemical sensors can be used. The acquisition of measured data from other sensors is easily possible by using voltage, current and resistance ranges with individual scaling in the connector. Existing sensors can be used without problems. Only the corresponding ALMEMO® connector has to be connected using its terminals. Furthermore, there are adapter connectors with an own microcontroller for digital signals and for measuring frequencies and pulses. This way, nearly all sensors can be connected to any ALMEMO® measuring instrument and are interchangeable without requiring any settings.

## Function Channels

Maximum, minimum, average values and differences of certain measuring junctions can be programmed as function channels and can be processed and printed like normal measuring junctions. Furthermore, function channels for special measuring tasks are provided to determine temperature coefficient  $Q/\Delta t$  and wet bulb globe temperatures.

## Dimension

The 2 digit dimension can be altered for each measuring channel so that the display and the printout will always indicate the correct dimension, for example when a transmitter is connected. The conversion from °C to °F is automatically performed according to the dimension.

## Name of Measured Values

Sensors can be identified by a 10 digit alphanumeric designation. It is entered via the interface and appears on the printout or display if the evaluation is done via PC.

## Correction of Measured Values

For correcting measured values a zero point and slope (gain) correction can be applied to the measured value of each measuring channel. This also allows for sensors to be interchanged that usually, at first, require an adjustment (expansion, force, pH). The zero point and the slope (gain) correction are virtually performed by the push of a button.

## Scaling

The base value and the factor allow for a further scaling of the corrected measured value of each measuring channel for zero point and slope (gain). The decimal point position can be set by the exponent. By setting to zero and entering the nominal value the scaling values can be automatically calculated.

**Limit Values and Alarm**

Two limit values (1 max and 1 min) can be set for each measuring channel. An alarm value printout can be performed if a limit value is exceeded and, by means of relay output modules, alarm contacts are provided that can be individually allocated to limit values. As a standard, the hysteresis is set to 10 digits, however, it can also be adjusted. Furthermore, limit value exceeding can also be used to start or stop a data logging.

**Sensor Locking**

All sensor data stored in the EEPROM of the connector can be protected against undesired access by means of a graded locking function.

**MEASUREMENT**

A total of up to 20 measuring channels are available for 5 transducers, i.e. it is also possible to evaluate double sensors, individually scaled sensors, or sensors with function channels. The measuring channels can be successively selected forwards or backwards via keyboard. The selected measuring point can be scanned with a conversion rate of 2.5 or 10 measurements/second. The measured value is calculated and indicated on the display or, if available, provided on the analogue output.

**Measured Value**

A continuous presentation of measuring data from the selected measuring point is provided and also includes automatic zero point correction and optional correction of the measured value or new scaling.

A sensor breakage condition is, with most sensors, automatically detected (exception: connectors with shunts, dividers or additional electronics).

**Analogue Output and Scaling**

By means of analogue start and analogue end the indicated measured value can be scaled so that the resulting measuring range covers the full analogue output range (2V, 10V or 20mA).

**Measuring Functions**

Special measuring functions are required for some sensors in order to achieve an optimal acquisition of measuring data. The cold junction compensation is available for thermocouples, a temperature compensation for dynamic pressure and pH and conductivity probes, and an atmospheric air pressure compensation for humidity sensors, dynamic pressure sensors and O<sub>2</sub> sensors. With infrared sensors the parameters zero point and slope correction are used for background temperature and emissivity factor.

**Maximum and Minimum Value**

Each measurement involves an acquisition and storing of the maximum and minimum value. These values can be displayed, printed or cleared.

**Average Value of a Channel**

A manual averaging over a particular period or over single measurements is available for the selected channel.

**PROCESS FLOW PROGRAMMING**

A cyclic measuring point scan with a time-based process flow control is required to register the measuring data of all connected sensors. For this purpose, the real time clock, the print cycle and the measuring cycle are available and, if fast processing is required, the conversion rate is available. The measurement can be started and stopped by using the keyboard, the interface, an external trigger signal, the real time clock or an exceeding of limit values.

**Time and Date**

The real time clock with date function or the pure measuring time are used for an accurate recording of any measurement. Start and end time/date can be programmed in order to start or stop a measurement.

**Print Cycle**

The print cycle is programmable between 1s and 59h/59min/59s and provides a cyclic output of measured values to the interfaces or memories and also provides a cyclic averaging.

**Print Cycle Factor**

If necessary, the print cycle factor allows for limiting the data output of particular channels so that an excessive data flow can be limited, especially during data storage.

**Measuring Cycle**

The measuring cycle, also programmable between 1s and 59h/59min/59s, is for a cyclic scanning with a display of all measured values, limit value monitoring including alarm message and output of alarm values, averaging and, if necessary, a storage of measured values.

**Average Value over Measuring Point Scans**

The measured values that result from scanning the measuring junctions can be averaged as desired either over the total measuring time or over the print cycle time. Function channels are provided for a cyclic output of average values.

**Conversion Rate**

With ALMEMO® V5 devices, all measuring points can be continuously scanned with the conversion rate (2.5 or 10 meas./s). It is possible to store all measured values in the memory and/or to perform an output via the interface.

### **Storage of Measured Values**

During the measuring or print cycle, all measured values or alarm values can be manually or automatically stored in a buffered RAM. The memory capacity is, as standard, 500kB, which allows up to 100,000 measured values. The memory organisation can be configured as linear or ring memory. Deductible ALMEMO® memory connectors are alternative usable. The output can be optionally performed via interface, analogue output or display. It is possible to select a certain time interval, number or alarm value.

### **Numbering of Measurements**

Single scans or entire series of measurements can be identified and selectively read out from the memory.

### **Control Outputs**

The interface allows to individually trigger up to four output relays and one analogue output.

### **Keyboard Lock**

The keyboard operation can be locked with a password.

### **Output**

All measuring and programming data is accessible by means of the LCD display. RS232, RS422, Ethernet and a Centronics interface are available by using different interface cables. All data logs, measured values and programmed parameters can be provided as output to any peripheral equipment. The output of measuring data can be selected in list format, columns or spreadsheet format. Files in spreadsheet format can be processed by each spreadsheet software. The print header can be programmed specifically to the company or application.

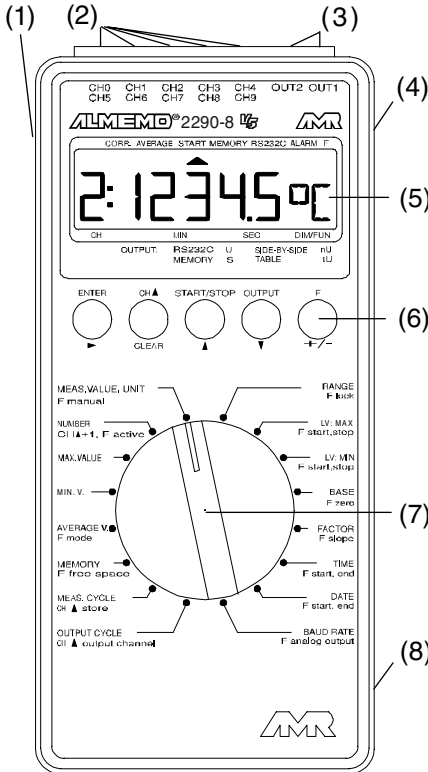
### **Networking**

All ALMEMO® devices can be addressed and can be easily networked by a simple connection with network cables or network junctions for longer distances.

### **Software**

The AMR-Control software, which allows for the entire programming of the sensors, the configuration of the measuring instrument and the read-out of the data memory is supplied with each ALMEMO® manual. The integrated terminal also allows for online measurements. The WINDOWS® software packages, Win-Control and DATA-Control, are available for data acquisition of networked devices, graphical presentation and complex data processing.

## 1.2 Operating Controls



**(1) ON/OFF switch**

- up SLEEP
- centre ON
- down OFF

**(2) Measuring Inputs CH0 to CH4**

- CH0 to CH4 for all ALMEMO® sensor
- CH5 to CH19 additional channels

**(3) Output Sockets OUT1, OUT2**

- OUT1 Interface RS232 (ZA 1909-DK5)
- Fiber Optics RS232 (ZA 1909-DKL)
- Ethernet (ZA 1945-DK)
- Centronics (ZA 1936-DK)
- RS 422 (ZA 5099-NVB)
- Analogue Output 1 (ZA 1601-RK)
- OUT2 Network Cable (ZA1999-NK5)
- Memory connector (ZA1904-SS)
- Trigger Input (ZA 1000-ET/EK)
- Relay Outputs (ZA 1000-EGK)
- Analogue Output 2 (ZA 1601-RK)

**(4) DC Socket**

- Mains Adapter (ZB 2290-NA, 12V, 200mA)
- Cable, electr. isol. (ZB 2290-UK, 10-30V)

**(5) LCD Display**

**(6) Function Keys**

**(7) Function Selector Switch**

**(8) Battery Box (back of unit)**

- Alkaline mangan. battery 9V (6F22)
- Space for spare battery

**(5) LCD Display**

**(a) Symbols for operating modes**

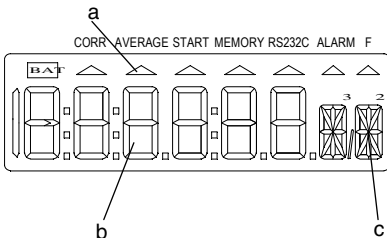
- |            |                           |
|------------|---------------------------|
| <b>BAT</b> | U battery < 7 V           |
| ▲ CORR     | Correction of meas. value |
| ▲ AVERAGE  | Averaging                 |
| ▲ START    | Measuring point scan      |
| ▲ MEMORY   | Memory receive, output    |
| ▲ RS232C   | Output of meas. value     |
| ▲ ALARM    | Exceeding of limit value  |
| ▲ F        | Additional function       |

**(b) 6½ x 7 segment display for:**

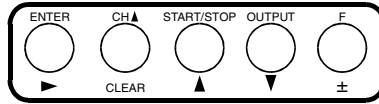
- Meas. point, meas. value, meas. range, meas. and progr. values, cycles, time, date

**(c) 2 x 16 segment display for:**

- Dimension of the measured value, Abbrev. for additional functions



(2) FUNCTION KEYS



- ENTER, ±, ▲▼, ▶ for entering programming values
- ENTER, CLEAR clear data, set meas. value to zero
- ENTER, ± calibrate measured value
- M ▲ select measuring point
- START/STOP cyclic measuring point scan
- OUTPUT data output to interface
- F single measuring point scan
- select additional functions

(3) FUNCTION SELECTOR SWITCH



Function	Key	Additional functions	Abbrev.
MEAS. VALUE, UNIT NUMBER	F	single measuring point scan	
	F	deactivate	(A)
	CH▲	increase	(A)
MAX VALUE	F	analogue output-end	(AE)
MIN VALUE	F	analogue output-start	(AS)
AVERAGE V	F	averaging mode	(AM)
	F,F	number of aver. values	C
RANGE	F	locking mode	LM
	F,F	locking code	LC
LV MAX	F	action Hi start/stop	AH
LV MIN	F	action Lo start/stop	AL
BASE	F	zero point correction	ZC
	F	ambient temperature	AT *
FACTOR, ± Exponent	F	slope (gain) correction	SC
	F	emissivity factor	EF *
MEMORY	F	free memory	FR
MEAS CYCLE	CH▲	store on/off	S
	F	conversion rate	CR
PRINT CYCLE	CH▲	output channel / format	U
	F	device address	A
TIME	F	start time	S
	F,F	end time	E
DATE	F	start date	S
	F,F	end date	E
BAUD RATE	F	atmospheric pressure	mb

\* infrared sensors only



## 2. INITIAL OPERATION

1. Connect **transducers** in the correct order to the sockets CH0 to CH4, see 4.
2. Ensure **power supply** with 9V battery or mains adapter, see 3.1, 3.2.
3. **For switching on** move the slide switch (1) on the left side of the unit to the centre position, see 3.3.
4. **For displaying** the measured values, select function MEAS. VALUE by using the rotary switch (7), use key **CH▲** to select the measuring channels, read meas. values, see 7.1.
5. **For storing** the measured values, see 7.4.  
Use function MEMORY and keys **ENTER**, **CLEAR** to clear the memory.  
Use MEAS. CYCLE and key **CH▲** to activate the memory 'S', see 7.3.2.  
Single measuring point scan by key **F** within function MEAS.VALUE, see 7.2.  
Enter measuring cycle for cyclic storing, see 7.3.2.  
Enter time and date, as required, see 7.3.4.  
Enter time and date of start or end of a measurement as required, see 7.3.5.  
Use key **START/STOP** to start and stop a cyclic storing, see 7.3.  
**Output of memory data to printer or computer**  
Connect peripheral device via interface cable to socket A1, see manual 5.2.  
Set 9600 bd, 8 data bits, 1 stop bit, no parity at peripheral device, see 8.1.  
Use key **CH▲** within function OUTPUT CYCLE to set the output channel 'U' and, possibly, the format columns 'nU' or spreadsheet/table 'tU', see 7.3.1.  
Use key **OUTPUT** within function MEMORY to output meas.values, see 7.4.2.
6. **Cyclic output of measured values** to printer or computer  
Connect peripheral device via interface cable to socket A1, see manual 5.2.  
Set 9600 bd, 8 data bits, 1 stop bit, no parity at peripheral device, see 8.1.  
Enter time and date, as required, see 7.3.4.  
Program the print cycle within function OUTPUT CYCLE, use key **CH▲** to set the output channel 'U' and, if required, the output format columns 'nU' or spreadsheet/table 'tU', see 7.3.1.  
Use key **START/STOP** to start and stop the cyclic meas. point scan, see 7.3.
7. **Monitoring of limit values**  
Enter limit values, see 6.4.  
Program measuring cycle, see 7.3.2.  
Connect alarm device with alarm module to socket OUT2, see man. 5.1.2/5.1.3.  
For an alarm print use key **CH▲** within function OUTPUT CYCLE to activate the output channel 'U', see 7.3.1.  
Use key **START/STOP** to start and stop the cyclic meas. point scan, see 7.3.
8. **Evaluation of the measurement**  
Display max and min values within function MAX or MIN VALUE, see 7.1.2.

### 3. POWER SUPPLY

The following options are available for the power supply of the instrument:

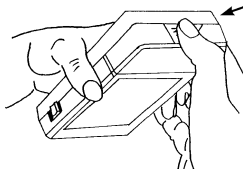
- 9V battery IEC 6 F22 ZB 2000-B9
- 9V rechargeable battery,  
as above with charger unit integrated in plug ZB 2000-A9, ZB 2000-LS
- Mains adapter 12V/200mA ZB 2290-NA
- External power supply, connecting cable ZB 2290-UK

Our product line includes corresponding accessories.

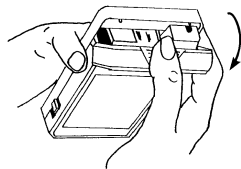
#### 3.1 Operation with Battery and Rechargeable Battery

Only use type IEC 6 F22 alkaline manganese batteries. At a current consumption of approximately 10mA, they last for an operating time of 35 hours. The operating time will be shortened if sensors or modules are connected that consume additional current.

##### Inserting Batteries:



The battery box (8) is located at the underside of the instrument.



1. Press the area that is marked with the arrow and, at the same time, pull as marked by the arrow, as illustrated left.
2. Use the connector clip to connect the battery. The connector shape prevents from confusing the poles.
3. Use the second battery box to store a spare battery.

##### Battery Control:



If the battery warning symbol is illuminated in the display the battery will still operate for approx. 5 hours (supply voltage <7V).



If the battery voltage drops below 6 volts 'LoBat' will be indicated on the display.

The battery should be immediately removed. Leakage of the battery and damage to the instrument can then be avoided.



The actual battery voltage can be accurately monitored with an own measuring channel *U<sub>bat</sub>* and the remaining battery life can be estimated accordingly.

Tips regarding correct handling of batteries:

- Do not leave used batteries in the instrument!
- Remove batteries from the instrument if it is not used for a long period.
- Risk to health and instrument failure can result from leaking batteries! Therefore, only use leak-proof batteries.
- Used batteries are hazardous waste and must be disposed in an environmentally friendly way! Return them to the dealer or dispose of them in a battery storage container.

### Operation with rechargeable batteries:

Rechargeable batteries can be used instead of normal batteries. Due to their smaller capacity of 110mAh they only reach an operating time of 11 hours. The operating time will be shortened if sensors or modules are connected that consume additional current. It is recommended to use the 9V rechargeable battery with plug-integrated charger unit ZB 2000 LS, which is included in the range of accessories.

Tips regarding correct handling of rechargeable batteries:

- The rechargeable batteries supplied are not charged when delivered!
- If NiCD cells are only partly discharged, the full capacity cannot be reached by a normal recharging.
- Therefore, use the instrument until the rechargeable batteries are completely discharged.
- Completely recharge the rechargeable batteries afterwards.
- As a result, the life of the rechargeable batteries is significantly increased.
- Completely recharged batteries will slowly discharge during storage.

## 3.2 External Voltage Supply

For an external voltage supply the connector socket (4) is located at the right side of the device. The range of accessories includes the mains adapter ZB 2290-NA (12V/200mA). However, any other DC voltage source (7 to 13V) can also be used. The connection is performed by a low-voltage connector (NES1 according to DIN 42323, centre pin to negative).

The electrically isolated supply cable ZB 2290-UK must be used if an **electrical isolation** between power supply and transducers is required or if a larger input voltage range 10...30V is required. It allows to operate the measuring instrument with 12V or 24V mains supply.



If a battery is used in addition it will take over the power supply if the voltage drops under 9V.

### 3.3 Switch On/Off, Reinitialisation

The ON/OFF switch (1) on the left side of the device has three positions:

- up: ON sleep mode
- centre: ON normal mode
- down: OFF

To **switch-on** the active measuring mode the slide switch (1) on the left side must be moved one step upwards (centre position).

The second, top position is meant for a power-saving operation when the device is temporarily switched off and afterwards by the real time clock is regularly, in cycles, switched on again for measuring point scans. An automatic query cycle (for at least 2 minutes) must be started (see 7.6) for switching to the sleep mode for long term monitoring.

The device is **switched off** when the slide switch is moved to the lower position. However, the real time clock continues its operation and all stored values will be maintained (see 3.4).

If the device shows an irregular behaviour due to interference influences (e.g. electrostatical charging or wrong connection of peripheral devices) or if incorrect programming must be avoided, the device can be completely reinitialised.

The **reset** can be achieved if the key **CLEAR** is pressed during switch-on. All internal data such as max, min and average values, and the data memory will be cleared. Furthermore, cycles, time, date and device address are set to zero and the conversion rate and atmospheric pressure will be set to the standard values. However, the device configuration and the sensor programming within the ALMEMO® connectors will not be affected by the reset.

### 3.4 Battery Buffer

A lithium battery (3V) is integrated in the device and ensures an uninterrupted power supply for the real time clock and memory. As a result, the time and date and all stored data will be maintained if the 9V battery is replaced or if the power fails during operation with mains supply.

## 4. CONNECTION OF THE TRANSDUCERS

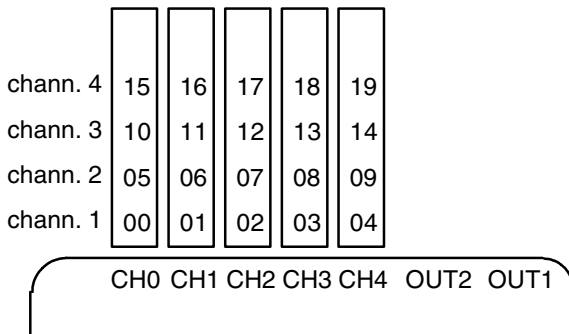
Any ALMEMO® sensors can be connected to the ALMEMO® input sockets CH0 to CH4 of the measuring instrument (2). For connecting existing sensors it is only necessary to connect a corresponding ALMEMO® connector.

### 4.1 Transducers

A detailed description of the comprehensive ALMEMO® sensor range (see manual section 3) and the connection of existing sensors (see manual section 4) to the ALMEMO® instruments are provided in the ALMEMO® manual. All standard sensors with ALMEMO® connector usually have the measuring range and dimension already programmed and can be immediately connected to any input socket. A mechanical coding ensures that sensor and output modules can only be connected to the correct sockets. Furthermore, each ALMEMO® connector has two locking levers that snap in when the insertion into the socket is established and that prevent a disconnection caused by pulling the cable. Both levers must be pressed on the sides for disconnecting the connector.

### 4.2 Measuring Inputs and Additional Channels

The measuring instrument ALMEMO® 2290-8 has 5 input sockets (2) that the measuring channels CH0 to CH4 are initially allocated to. However, ALMEMO® sensors can, if required, provide up to 4 channels so that 20 channels are available with 5 input sockets. The additional channels can be especially used with humidity sensors with 4 measuring variables (temperature/humidity/dew point/mixture ratio) or used for function channels. If required, the sensor can also be programmed with several ranges or scalings or, depending on the pin assignment, 2 or 3 sensors can be combined in one connector (e.g. rH/Ntc, mV/V, mA/V etc.). The additional measuring channels of a connector are increased in steps of 5 (e.g. the first sensor has the channels CH0, CH5, CH10, CH15, the second sensor has the channels CH1, CH6, CH11, CH16 etc.).





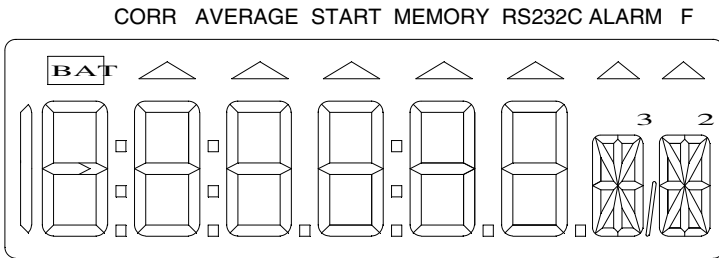
The 5 analogue inputs are electrically isolated by using photovoltaic relays and a potential difference of 50V DC or 60V AC, at maximum, is permissible between them. However, sensors combined within one connector and sensors with an own power supply are electrically connected to each other and must, therefore, be operated in isolation. The voltage applied to the measuring inputs must not exceed  $\pm 5V$  (between B,C,D and A or - respectively).

The cold junction compensation for thermocouple measurement is integrated in socket CH0 of the device.

## 5. DISPLAY AND KEYBOARD

### 5.1 Display and Function Selection

The display (5) of the measuring device ALMEMO® 2290-8 consists of an LCD module with six and a half 7-segment digits, two 16-segment digits, and a battery symbol and seven arrows for indicating the operating status.



The basic functions are set by the function selector switch (7). If required, the additional functions can be selected by the key F. The presentation of the functions on the display is as follows:

<b>Meas. Val.:</b>	chann.	-	meas. value	dimension	19:2.1 2 3 4 mv
<b>Range:</b>	chann.		short name	dimension	1: N i C r °C
<b>Parameter:</b>	chann.	-	value	dimension	
	chann.	-	factor	exponent	
<b>Number:</b>			value	-/active	N 1 2 - 0 1 A
<b>Cycles:</b>	hours	minutes	seconds	output chann.	1 2:3 4:5 6 TM
<b>Times:</b>	hours	minutes	seconds	function	- - - - - S
<b>Start:</b>			not activated	function	1 8:3 0:0 0 E
<b>End:</b>	hours	minutes	seconds	function	0 1.0 1.9 6 DA
<b>Date:</b>	day	month	year	function	9 6 0 0 BR
<b>Baud Rate:</b>			baud	BR	

### Special Operating Conditions

Segment test of the display

Supply voltage: lower than 7V:  
lower than 6V:

automatically after switch-on.

**BAT** symbol illuminated

1: L o b A t

Sensors that are not connected,  
deactivated measuring points,  
cleared programming values.

1: - - - -

Memory output

S O u t u

Sensor correction or scaling  
Measuring point scan in progress  
Measuring point scan with storing  
Measuring point scan with output  
Additional function selected

arrow **CORR** illuminated.  
arrow **START** illuminated.  
arrow **MEMORY** illuminated.  
arrow **RS232C** illuminated.  
arrow **F** illuminated.

### Alarm Conditions

are displayed as follows and cause an alarm (see manual 6.3.9):

Sensor breakage:

1: N i C r °C abbr. flashes

Overshooting of measuring range:

maximum value flashes

Undershooting of measuring range:

minimum value flashes

Exceeding of limit value:

arrow **ALARM** illuminated

Undershoot. of meas. range CJ compens.

1: C J (cold junction) flashes

Measuring without ext. CJC or CJC break.:

1: 6 5 0 0 0

Exceeding of range of values (>65000):

flashes

## 5.2 Keyboard

The keyboard (6) has the following functions that are displayed above the keys:

Function	Normal	Enter
Programming of Parameters	ENTER	▶
Selecting Measuring Points	CH ▲	CLEAR
Start and Stop of Meas. Point Scans	START/STOP	▲
Data Output	OUTPUT	▼
Selecting Additional Functions	F	±

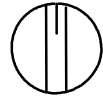
After operating the key **ENTER** a digit or abbreviation is flashes in the display, i.e. the instrument is in edit mode and the red designations below the keys are valid. The keys  $\pm$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\blacktriangledown$  are then available for altering the input figure, the key  $\blacktriangleright$  operates as cursor key and **CLEAR** is available for clearing parameter data. The input is complete when the last digit has been confirmed with operating the key  $\blacktriangleright$ .



### 5.3 Data Entry

The programming of numeric parameters is performed as follows:

The desired function can be selected using the rotary switch (7).



Additional functions, if required, are selected using the key F.



**The programming is started** by the key ENTER.

ENTER

The first digit flashes and can be altered.



The digit can be **increased** using the key ▲.



After exceeding the maximum value the cycle restarts from zero.

The digit can be **decreased** using the key ▼.



After falling below zero the maximum value follows (9 or 5).

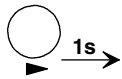
**The sign can be changed** using the key ±.



**A switch to the next digit is performed** using the key ►.



**To switch back to the previous digit** press and hold the key ►.

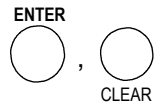


**The programming process is complete**

after setting the last digit and again operating the key ►.




**Programming and measured values can be cleared** using





**The programming process** can be cancelled by operating the rotary switch.

### 5.4 Keyboard Lock

To protect all settings during a measurement against unauthorised alteration the keyboard can, in addition to the sensor locking (see. 6.7), be locked by using a locking code (password).

Locking Code (LC):  RANGE

Keys:  , 

If the **locking is switched off**, the display indicates:

O P E N LC

To **lock the access** a four digit number is entered (see 5.3) and the display indicates:

C L O S E d LC


The functions **ENTER**, **START/STOP** and **OUTPUT** are no longer available in this operating stage. However, a reading of all parameters on all channels is still possible. The locking can only be released by re-entering the same locking code. The locking is also cleared when a reinitialisation is performed (see 3.3).


## 6. SENSOR PROGRAMMING

As all ALMEMO® instruments contain the whole sensor programming stored in the ALMEMO® connector plug, the user does not usually need to perform any programming. Only if, for example, sensor errors must be corrected or existing sensors must be scaled or limit values need to be specified the comprehensive programming options have to be used. It must be considered that standard sensors are, by a locking mode, protected against unintentional modification and that the locking level must first be reduced before desired changes can be performed (see 6.7). All parameters can easily be entered or changed via keyboard when the corresponding sensor connector is connected.

### 6.1 Selecting the Input Channel

To query or to program the parameters of a sensor the corresponding input channel must be selected within the desired function using the key CH▲. If this is performed within any programming function, i.e. not with the rotary switch moved to MEAS. VALUE, only the input channel will be changed but not the selected measuring channel, i.e. the measurement is not being interrupted.

Increase the input channel by:  (programmed channels only)

Decrease the input channel by:  **1s** → press and hold (approx. 1 sec)

## 6.2 Selecting the Measuring Range

If users want to program the connectors on their own or frequently change the measuring range, it is necessary that the locking is cleared (see 6.7) and special connectors may be required for some transducers (e.g. thermo, shunt, divider etc., see table).

The selection of the measuring range is performed within the function RANGE. For activating a channel that has not yet been programmed the locking of the 1st channel must be cleared for the corresponding sensor. After selecting the input channel and pressing the key **ENTER** the abbreviation for the measuring range flashes in the display. The keys ▲ and ▼ allow to select all available ranges in the sequence given below. If the key **ENTER** is pressed and held it is possible to jump from group to group (group ranges bolded in table). If the desired range is displayed the programming can be completed by pressing **ENTER** once again and the data is transmitted to the connector. All programming values of the input channel are then cleared.

Function Selection:

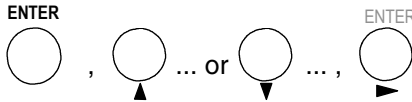


RANGE

1: NiCr °C

Example: channel CH1, range NiCr, dimension °C

Meas. Range Selection:



Transducer	Connector / Cable / Sensor	Meas. Range	Dim.	Display
<b>Pt100-1</b>	ZA 9000-FS	-200.0... +850.0	°C	P104
Pt100-2	ZA 9000-FS	-200.00...+200.00	°C	P204
Ni100	ZA 9000-FS	-60.0... +240.0	°C	N104
<b>NiCr-Ni (K)</b>	ZA 9020-FS	-200.0...+1370.0	°C	<b>NiCr</b>
NiCroSil-NiSil (N)	ZA 9020-FS	-200.0...+1300.0	°C	NiSi
Fe-CuNi (L)	ZA 9000-FS	-200.0... +900.0	°C	FECO
Fe-CuNi (J)	ZA 9000-FS	-200.0...+1000.0	°C	IrCo
Cu-CuNi (U)	ZA 9000-FS	-200.0... +600.0	°C	CUCO
Cu-CuNi (T)	ZA 9000-FS	-200.0... +400.0	°C	CoCo
PtRh10-Pt (S)	ZA 9000-FS	0.0...+1760.0	°C	Pt10
PtRh13-Pt (R)	ZA 9000-FS	0.0...+1760.0	°C	Pt13
PtRh30-PtRh6 (B)	ZA 9000-FS	+400.0...+1800.0	°C	EL18
Au-FeCr	ZA 9000-FS	-270.0... +60.0	°C	AUFE
<b>Ntc type N</b>	ZA 9000-FS	-30.00...+125.00	°C	<b>Ntc</b>
<b>Millivolt 1</b>	<b>ZA 9000-FS</b>	<b>-26.000...+26.000</b>	<b>mV</b>	<b>U 26</b>
Millivolt	ZA 9000-FS	-10.000...+55.000	mV	U 55

Transducer	Conn. / Cable	Meas. Range	Dim.	Display
Millivolt 2	ZA 9000-FS	-260.00...+260.00	mV	U260
Volt	ZA 9000-FS	-2.6000...+2.6000	V	U2.60
Differential-Millivolt 1	ZA 9050-FS	-26.000...+26.000	mV	d 26
Differential-Millivolt	ZA 9050-FS	-10.000...+55.000	mV	d 55
Differential-Millivolt 2	ZA 9050-FS	-260.00...+260.00	mV	d260
Differential-Volt	ZA 9050-FS	-2.6000...+2.6000	V	d2.60
Sensor Voltage	ZA 9000-FS	0.00...20.00	V	UbAt
<b>Milliampere</b>	ZA 9601-FS	-32.000...+32.000	mA	I032
Percent (4-20mA)	ZA 9000-FS	0.00... 100.00	%	P420
Ohm	ZA 9000-FS	0.00... 400.00	Ω	Ohn
Frequency	ZA 9909-AK	0... 25000	Hz	FrEq
Pulses	ZA 9909-AK	0... 65000		PULS
Digital input	ZA 9000-EK2	0.0... 100.0	%	Inp
Digital interface	ZA 9919-AKxx	-65000... +65000		diGi
<b>Infrared 1</b>	ZA 9000-FS	0.0... +200.0	°C	Ir 1
Infrared 2	ZA 9000-FS	0.0... +800.0	°C	Ir 2
Infrared 3	ZA 9000-FS	-30.0... +70.0	°C	Ir 3
Infrared 4	ZA 9000-FS	-30.0... +100.0	°C	Ir 4
Infrared 6	ZA 9000-FS	0.0... +500.0	°C	Ir 6
<b>Snap-on head Normal 20</b>	FV A915-S120	0.30... 20.00	m/s	S120
Snap-on head Normal 40	FV A915-S140	0.40... 40.00	m/s	S140
Snap-on head Micro 20	FV A915-S220	0.50... 20.00	m/s	S220
Snap-on head Micro 40	FV A915-S240	0.60... 40.00	m/s	S240
Macro	FV A915-MA1	0.10... 20.00	m/s	L420
Water-Micro	FV A915-WM1	0.00... 5.00	m/s	L605
Dyn.press. 40m/s w. TC a. PC	FD A612-M1	0.50... 40.00	m/s	L840
Dyn.press. 90m/s w. TC a. PC	FD A612-M6	1.00... 90.00	m/s	L890
<b>Relative air humidity cap.</b>	FH A646	0.0... 100.0	%H	°orH
Relat. air humidity cap. w. TC	FH A646-R	0.0... 100.0	%H	H rH
Mixture ratio w. PC	FH A646	0.0 ... 500.0	g/kg	H AH
Dew point temperature	FH A646	-25.0... 100.0	°C	H dt
Partial vapour pressure	FH A646	0.0 ...1050.0	mbar	H UP
Enthalpy w. PC	FH A646	0.0 ... 400.0	kJ/kg	H En
Humid temperature	FN A846	-30.00 ... +125.00	°C	P Ht
Rel. humidity psychr. w. PC	FN A846	0.0 ... 100.0	%H	P RH
Mixture ratio w. PC	FN A846	0.0 ... 500.0	g/kg	P AH
Dew point temperature w. PC	FN A846	-25.0 ... +100.0	°C	P dt
Partial vapour pressure w. PC	FN A846	0.0 ...1050.0	mbar	P UP
Enthalpy w. PC	FN A846	0.0 ... 400.0	kJ/kg	P En
<b>Conductivity probe w. TC</b>	FY A641-LF	0.0 ... 20.000	mS	LF
CO <sub>2</sub> sensor	FY A600-CO2	0.0 ... 2.500	%	CO2
O <sub>2</sub> saturation w. TC a. PC	FY A640-O2	0 ... 260	%	O2-S
O <sub>2</sub> concentration w. TC	FY A640-O2	0 ... 40.0	mg/l	O2-C

Transducer	Conn. / Cable	Meas. Range	Dim.	Display
<b>Function Channels</b>				
<b>Difference</b>	any			diFF
Maximum value	any			Hi
Minimum value	any			Lo
Average value over time	any			A[t]
Averag. val. over junctions	any			A[n]
Sum over junctions	any			S[n]
Total number of pulses	ZA 9909-AK2	0 ... 65000		S[t]
Pulses/print cycle	ZA 9909-AK2	0 ... 65000		S[P]
Alarm value	any			Alrm
Thermal coefficient	ZA 9000-FS		W/m <sup>2</sup> K	q:dt
Wet bulb globe temp.	ZA 9000-FS		°C	UbGt

TC Temperature Compensation, PC Atmospheric Pressure Compensation

The **use of the function channels** for the output of measuring and calculated variables with the corresponding reference channels is described in the manual section 6.3.4.

### Switch-off, i.e. deactivation of a programmed measuring channel

**Function:**  RANGE **Keys:**  ,  CLEAR

After switch-off the measured value is no longer indicated, queried, or provided as output. However, the programming is still maintained.

### Re-activation of the measuring channel:

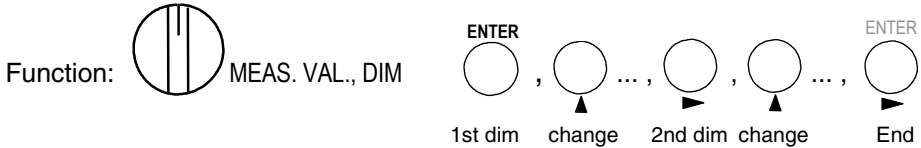
**Function:**  RANGE **Keys:**  , 

If the channel was previously activated, the channel will be re-activated with all programming values. However, if the channel is already active, all programming values will be cleared by operating the above key combination (corresponds to selecting a measuring range).

### 6.3 Changing the Dimension

Each measuring channel allows to replace the standard dimension of the measuring range by any other dimension that has two digits (see manual 6.3.5). In addition to all capital and normal letters, the characters □, ◻, Ω, %, [, ], \*, -, =, ~ and spaces ( ) are available. The dimension is indicated by two 16-segment characters that are indicated following the measuring and programming values.

The **change of the dimension** can be performed within the function MEAS. VALUE, DIM by pressing the key **ENTER**. The first character of the dimension will flash in the display. It can then be changed by using the keys ▲ and ▼. When the first character is selected the key ► should be pressed and the same procedure will be performed for the second character. When the desired dimension has been set the programming can be completed by the key **ENTER**.



When the dimension °F is entered a temperature value in degrees Celsius will be converted into degrees Fahrenheit.  
 The cold junction compensation can be switched off by using the character ◻ .  
 The dimension ms is indicated on the display as m/s, and mh as m³/h.

### 6.4 Limit Values

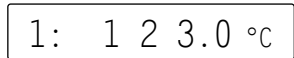
Two limit values (MAX and MIN) can be programmed for each measuring channel. The exceeding of the limit values is handled as a fault, similar to the exceeding of the measuring range limits and sensor breakage. The arrow ALARM will appear in the display and the alarm relays will respond and the alarm values will be provided as output during the measuring cycle (see manual 6.3.9).

**Function:**

Limit value Max  
 Limit value Min



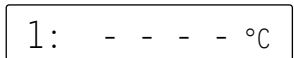
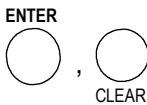
LV MAX  
 LV MIN



**Programming:**

Input according to 5.3

**Switch-off:**



### 6.5 Correction Values

The correction values ZERO POINT and SLOPE allow for correcting sensors with regard to zero point and slope (gain) (see manual 6.3.10).

**Corrected Meas. Value** = (Meas. Value - ZERO POINT) x SLOPE.

**Function:**

Zero point correct.  
(ZC)



BASE

Key:



1: 0 0 3.2 ZC

Programming:

Input according to 5.3

Clear:

Keys:

ENTER



,



CLEAR

1: - - - - ZC

**Function:**

Slope correction  
(SC)



FACTOR

Key:



1:1.5 0 0 0 SC

Programming:

Input according to 5.3

If correction values are programmed and, as a result, the measured value is corrected, the arrow CORR will be indicated in the display.

### Sensor Adjustment

To simplify the correction of sensors for the zero point and, possibly, also the slope (gain), a key combination for an automatic adjustment is available in the function **MEAS. VALUE** (see 7.1.4). The corrected measured value is stored as zero point correction and will be set to zero. However, the base value will be maintained.

**Function:**



MEAS. VALUE Adjustment with keys:

ENTER





## 6.6 Scaling, Decimal Point Setting

For indicating the electrical signal of a sensor as a measured value of a physical variable it is, in most cases, necessary to set a zero point shift and to perform a multiplication with a certain factor. The functions BASE and FACTOR are available for this. A detailed description of the scaling, including an example, can be found in the manual section 6.3.11.

**Indicated value** = (corrected measured value - BASE) x FACTOR.

The FACTOR can be programmed in the range -2.0000 to +2.0000. For factors over 2.0 or under 0.2 a corresponding decimal point setting must be considered by entering the EXPONENT.

**Function:**  BASE      input see 5.3      1: - 7.0 0 pH







**Function:**  FACTOR      input see 5.3      1:1.0 3 5 0 +2

The arrow **CORR** will be indicated in the display if scaling values are programmed and if the measured value is actually modified.

### Decimal Point Setting

The EXPONENT allows to shift the decimal point to the left (-) or right (+) as far as it can be indicated on the display and printer. An exponential representation of measured values is not possible.

For **entering the exponent** within the function FACTOR the keys **ENTER**,  $\pm$  must be pressed so that the exponent is flashing. The sign can then be changed by using the key  $\pm$ . The numerical value is set by using the keys  $\blacktriangle$  and  $\blacktriangledown$  and the programming can be completed by using the key **ENTER**.

Input exponent:  ,  , (  ) ,  ... or  ... , 



## Two-Point Adjustment

The scaling values can be automatically determined by using a two-point adjustment. First, the measured value is, at its 'zero state' (ice water, unpressurized etc.), set to zero within the function MEAS. VALUE by using the keys **ENTER**, **CLEAR** (see 7.1.4).

The sensor is then brought to a defined nominal value (boiling water, known weight etc.) and the nominal value is entered. For this purpose the key **ENTER** must be pressed and held (approx. 1s) within the function MEAS. VALUE until the first digit of the measured value flashes. Then, by entering the nominal value (see 5.3), the scaling value is calculated and the measured value is indicated accordingly.

## 6.7 Locking the Programming of the Sensor (man. 6.3.12)

The function parameters of each measuring point are protected by the locking mode up to an adjustable locking level. Before any programming is performed the locking mode must be correspondingly lowered. If a dot is indicated following the locking mode on the display then a modification is not possible.

### Locking Level

0  
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7

### Locked Functions

none  
measuring range + element flags  
measuring range + zero point and slope correction  
measuring range + dimension  
+ zero point and slope correction  
+ base value, factor, exponent  
+ analogue output, start and end  
+ limit values, max and min

### Function:

Locking mode  
(LM)



RANGE

Key:



1:0 0 0 5 LM

Programming:

Input according to 5.3

If programmed, the element flags and the multiplexer settings are indicated on the display next to the locking mode (see manual 6.10.2/3).

Keyboard locking and a locking code can be used to protect against unauthorised modification (see 5.4) during a measurement and to protect the programming and the process control .




## 7. MEASUREMENT

The instrument ALMEMO® 2290-8 provides the following options for the acquisition of measuring data:

1. Continuous measurement of a selectable measuring point, see manual 6.4.  
Output of measuring data to the analogue output see manual 5.1.1.
2. Single measuring point scan, see manual 6.5.1.1.
3. Cyclic measuring point scan, see manual 6.5.1.2.
4. Continuous measuring point scan, see manual 6.5.1.3.

### Total Clearing of all Measured Values

Previous measuring data should be cleared before a measurement. Max, min, and average values of all channels and the memory can be cleared with the rotary switch in position MEMORY, by using the keys **ENTER**, **±**, **CLEAR**.

Key:		flashing	<input type="text" value="S C l r"/>	(clear memory)
		flashing	<input type="text" value="A C l r"/>	(clear memory and meas. values)
			<input type="text" value="1: - - - - °C"/>	cleared (not with other key)



For automatic clearing on each START, see manual 6.10.13.2.

## 7.1 Continuous Measurement of a Measuring Point

As long as no cycle and no continuous measuring point scan have been programmed (e.g. after a reinitialisation, see 3.3) only the measured value of a selected measuring point, which is at first CH0, is continuously acquired with the specified conversion rate (see 7.3.3) (optimal for analogue output).

### 7.1.1 Selecting the Measuring Point

With the rotary switch moved to position MEAS. VALUE, the key **CH▲** allows to successively select all measuring points and indicate the actual measured value. If the key **CH▲** is pressed and held (approx. 1s) the previous channel is again indicated. By selecting the measuring channel the input channel is, at the same time, also selected (see 6.1). If the measuring range changes when switching over, the abbreviation of the measuring range is indicated first.

Increase measuring channel with key:		<input type="text" value="2: 1 2 3.4 °C"/>
Decrease measuring channel with key:		<b>1s</b> → press and <u>held</u> (approx. 1s)

### 7.1.2 Memory for Peak Values

From the acquired measured values of each measuring point the highest and lowest value is determined and stored. For indicating the peak values the function MAX. VALUE or MIN. V. must be selected with the rotary switch and the desired channel must be set by using the key CH▲.

**Function:**

Peak values:



MAX. VALUE  
MIN. V.

1: 1 8 7.5 °C

Clear:

Using the keys **ENTER**, **CLEAR**

The peak values are cleared if a total clearing (see 7) or change of the range (see 6.2) is carried out. If the cleared channel is the selected measuring channel, the measured value will be indicated immediately after the clearing.

### 7.1.3 Averaging

The **average value** of the measured value is required for various applications:

- e.g. - the average flow velocity in a ventilating channel
- smoothing of a largely varying measured value (wind, pressure etc.)
- hourly or daily average values of weather data (temp., wind etc.)
- as above, of consumption values (current, water, gas etc.)

The average value of a measured value,  $\bar{A}$ , results when a number of measured values  $A_i$  are added together and then divided by the number N of the measured values:

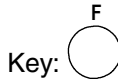
$$\text{Average Value } \bar{A} = (\sum_i A_i) / N$$

**Indication and programming of an average value** is performed by setting the rotary switch to AVERAGE V. **The type of averaging** is determined through the averaging mode. This function (AM) is activated by key F.

**Averaging Mode:**



AVERAGE V.



Key:

1: S t S t P AM

The following modes can be set with the keys **ENTER**, **▲ ▼**, **ENTER**, if a sensor with an ALMEMO® connector is connected:

**Function**

**Display**

No averaging:

- - - -

Averaging over Measuring Point Scans:

Continuous averaging over all cycles:

C o n t

Averaging over all measuring cycles of a print cycle:

C Y C L

Manual Averaging over Measured Values of a Channel:

Continuous average value from start to stop via keyboard

S t S t P

Aver. val. over single measurements that are captured via 'hold'

S i n g L

## Manual Averaging

In this section manual averaging over measured values of the selected channel will be described. The averaging over measuring point scans can be found in the manual section 6.7.4.

### Averaging over Time

To obtain the average value of all measured values of a measuring channel over a specified time period, the averaging mode 'StStP' must be set for the selected measuring channel. For example, by uniformly scanning an area, this mode also allows to determine the average flow velocity in a ventilating channel (see manual 3.5.5). For distinguishing between the manual and the cyclic averaging the following requirements must be met:

- averaging mode of the selected channel 'StStP'
- no cyclic measuring point scan (cycles stopped)
- no continuous measuring point scan (no C in conversion rate)

1. Move rotary switch to the function AVERAGE V.
2. Clear the average value by the keys **ENTER**, **CLEAR**.

1: - - - - m/s

3. Start the averaging with the key **START/STOP**, the arrow 'AVERAGE' will be illuminated in the display.
4. Stop the averaging by operating the same key. **START/STOP**, the arrow 'AVERAGE' disappears and the average value can be read.

1: 1 2.3 4 m/s




### Averaging over a Number of Single Measurements

For an averaging of isolated measurements at certain points or times (e.g. net measurements according to VDI/VDE 2640, see manual 3.5.5) the averaging mode 'SinGL' must be used. In this case corresponding requirements must also be met:

- averaging mode of the selected channel 'SinGL'
- no cyclic measuring point scan (cycles stopped)
- no continuous measuring point scan (no C in conversion rate)

1. Before each measurement the average value must be cleared in the function AVERAGE V. by using the keys **ENTER**, **CLEAR**.
2. In the function MEAS. VALUE the single values are captured in the memory for instant values by pressing the key **START/STOP**. The arrow 'MEMORY' appears in the display.
3. If the value is correct, it can be transferred into the memory for average values by operating the key **ENTER**. The arrow 'MEMORY' disappears and the arrow 'AVERAGE' is now indicated.

4. If the value is not correct, it can be rejected by operating the key **START/STOP** once again, i.e. the arrow 'MEMORY' disappears and the instantaneous value is indicated again.
5. To acquire more values, the steps 2 to 4 can be repeated.
6. To **indicate the average value** the function AVERAGE V. must be selected.
7. By operating the key F twice, the **count C of averaged values** can be obtained within the function 'C'.




**Count N:**  AVERAGE V. Keys: ,  1: 0 1 2 3 c

The key OUTPUT allows for a printout of average values, at any time, either as single values or as a list, including the count and max/min values (see 8.3).

### 7.1.4 Setting Measured Value to Zero, Zero Point Correction

#### Setting the Measured Value to Zero

The user can zero the measured value at certain locations or at certain times in order to check the deviation from this reference value. The indicated measured value is, by the following key combination, stored as base value and, as a result, set to zero.

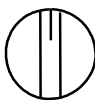


Function:  AVERAGE V. Zero setting by keys: , 



Please note that this function is only available if the locking code is set below 5 (see 6.7).




The arrow **CORR.** appears in the display as long as the deviation from the base value is indicated, but not the actual measured value.

The base value must be cleared in order to obtain the actual measured value (see 6.6). For this purpose the rotary switch must be set to the function BASE and the base value must be cleared with the keys **ENTER, CLEAR.**

Function:  BASE Clear base value: , 

## Zero Point Adjustment

Many sensors must be adjusted at least once or at regular intervals to compensate for instabilities. For this purpose, a specific **zero point adjustment** is available, in addition to the 'Set Measured Value to Zero' mentioned above, as some sensors require an additional scaling (e.g. pH probes). In this function the zero point error is not stored as base value but as zero point correction (special cases and slope correction, see 6.5). In this case, the locking mode must be set below 4 (see 6.7). The zero point correction is performed using the following keys:

Function:  MEAS. VALUE      Zero point adjustment:  , 



If a base value is programmed the measured value is not indicated as zero but as the negative base value after the adjustment.

For some sensors **special functions** are available in this context:

1. With pH probes, if the two keys **ENTER** and **F** are pressed during switch-on, the locking is only temporary, i.e. until the device is switched off and set to 3. An undesired adjustment can then be avoided.
2. **Dynamic pressure probes** are very delicate and should be adjusted in an unpressurized state before each use (i.e. disconnected hoses or Pitot tube out of flow). The correction value must be entered before the conversion 'pressure-to-velocity' is performed. For the ranges L840 and L890 an adjustment is possible even if the channel is locked.

The zero point error is temporarily being written into the calibration offset until the switch-off is performed.

3. With the following sensors, a **slope adjustment** is performed in the same way for the corresponding calibration value:

pH-probe:	ZA 9610-AKY:	pH4 or pH10
Conductivity:	FY A641-LF:	2.77 mS/cm,
	FY A641-LF2:	147 uS/cm
	FY A641-LF3:	111.8 mS/cm
O <sub>2</sub> saturation:	FY A640-O2:	101 %

## 7.1.5 Atmospheric Pressure Compensation



Some measuring variables depend on the environmental atmospheric pressure (see 6.2 measuring range list 'w. PC'). As a result, higher deviations from the normal pressure of 1013mbar can cause corresponding measuring errors:

### e.g. error per 100 mbar:

Rel. humidity psychrometer	approx. 2%	500 to 1500 mbar
Mixture ratio, capacitive	approx. 10 %	Vapor pressure VP up to 8 bar
Dynamic pressure	approx. 5%	800 to 1250 mbar (error < 2%)
O2 saturation	approx. 10%	500 to 1500 mbar

### Compensation range:



Therefore, the atmospheric pressure should be considered (approx. -11mb/100m over mean sea level, MSL) especially during use in a corresponding height above sea level. It can either be programmed or measured with a sensor (see manual 6.7.2). The atmospheric pressure is indicated in the function 'mb'.

**Atm. Press:**  BAUD RATE Key:  1 0 1 3 m b

With each reset the atmospheric pressure is set to 1013mb. It can be set to the actual value by the usual data entry (see 5.3).

## 7.2 Single Measuring Point Scan (see manual 6.5.1.1)



Measuring point scans can be used to acquire, indicate and, in most cases, to document data from the selected measuring point and also from other measuring points. Single measuring point scans for acquiring the momentary measuring values of all active measuring points are triggered by the key F in the function MEAS. VALUE.

**Single Meas. Point Scan:** Key:   MEAS. VALUE


The measured values are sequentially indicated on the display for approx. 1.5 seconds.(not by continuous measuring point scan) During this process the arrow 'START' is displayed and then disappears. The time is started if it has been previously cleared. If a peripheral device is connected (e.g. printer) the measured values are provided one time as an output via interface and, in addition, the arrow 'RS232C' is indicated (print output, see manual 6.6.1). The output format can be set in the function OUTPUT CYCLE (see 7.3.1). If all measured values also need to be stored, the memory must be activated (see 7.4.1). If this is the case, the arrow 'MEMORY' also appears during the scan. With each press of the key the measured values are equally processed with the corresponding measuring time. If true time has to be indicated, it must first be set (see 7.3.4).

### 7.3 Cyclic Measuring Point Scan (see manual 6.5.1.2)

For cyclic measuring point scans the measuring or print cycle (see 7.3.1/2) must be programmed. The measurement is started with the key **START/STOP** and the arrow 'START' is continuously indicated. If the memory is active (see 7.4.1) the measured values are stored and the arrow 'MEMORY' is indicated. If a peripheral device is connected, the measured values are provided as a cyclic output and, in addition, the arrow 'RS232C' is indicated. Different output formats are available (see 7.3.1). The measurement must be started in the function RANGE if the programming is to be indicated before the measured values. The corresponding print outputs can be found in manual section 6.6.1.

**Start Cyclic Meas. Point Scan:** Key:   ALL

**Stopping of the automatic measuring point scan** can be achieved by operating the key **START/STOP** once again. The indications 'START', 'RS232C' and 'MEMORY' will disappear.

**Stop Cyclic Meas. Point Scan:** Key: 

#### 7.3.1 Print Cycle, Output Channel, Output Format

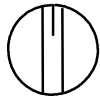
The print cycle, the output channel and the output format can be set in the function OUTPUT CYCLE for cyclic measuring point scans and outputs.

**Function:**

Print cycle

Output channel

Output format



OUTPUT CYCLE

0 0 : 3 0 : 0 0 n U

*Example:* print cycle 30 min, output channel 'U', column format 'n'

The print cycle is programmed with 6 digits in the format hh:mm:ss (see 5.3).

Clear print cycle: Keys:  ,   

0 0 : 0 0 : 0 0 n U

A running cyclic scan is terminated by this.

The **output channel** allows to select whether the measured values are provided as output to the interface or to the memory. However, for storing all measuring point scans the memory activation in the measuring cycle can also be used (see 7.3.2).



**Output formats (see manual 6.6.1)**


The output format determines the print output at measuring point scans and at the memory output. Apart from the standard list format, with all measured values given in a list, the column output format allows for a clear and space-saving printout in **columns**. For this purpose, a printer will automatically switch to the condensed character mode. Alarm lists during the measuring cycle are not available for this format. The **spreadsheet format** is available to further process measuring data by means of spreadsheet applications (see manual 6.1).

**Output channel and output format** are displayed in the dimension field. By using the key **CH▲** the following options can be successively selected. By pressing **CH▲** and holding (approx. 1s) a back switch is possible.

<b>Ab. Designation</b>	<b>Output Format</b>
U Measured values interface	in a list
n U Measured values interface	in columns
t U Measured values interface	in spreadsheet format
a U Alarms out memory to interface	in a list
S Meas. values interface and memory	in a list
Meas. values one channel from memory	to analog output
n S Meas. values interface and memory	in columns
t S Meas. values interface and memory	in spreadsheet format

**7.3.2 Measuring Cycle and Memory Activation**



The measuring cycle is used for storing measured values, for cyclic averaging (see manual 6.7.4) or for monitoring the measured values including alarm list output in case of limiting values being exceeded. The display of the measuring cycle has 6 digits (hh:mm:ss) in the function MEAS. CYCLE.

**Function Meas. Cycle:**  MEAS. CYCLE 0 0:0 1:0 0 S

*Example:* meas. cycle 1 min, memory activated 'S'

The **input** of the measuring cycle has 6 digits and format hh:mm:ss according to 5.3. The **clearing** of the measuring cycle and, as a result, the switch-off of the automatic scan can be achieved by using the keys **ENTER**, **CLEAR**.

The **memory activation** for all manual and cyclic measuring point scans (see 7.4.1) can be performed with the key **CH▲**. An 'S' is indicated on the display following the measuring cycle.

**Memory Activation:**  MEAS. CYCLE **With key:** 

### 7.3.3 Conversion Rate, Continuous Measuring Point Scan

If required the conversion rate can be increased from 2.5 to 10M/sec (see manual 6.5, 6.5.4). The rotary switch must be moved to position MEAS. CYCLE and the additional function CONVERSION RATE 'CR' must be selected by using the key F and must be set by using the keys ENTER, ▲ ▼, ENTER.

At the same time, the **continuous measuring point scan** (see man. 6.5.1.3) can be set with coding 'C', i.e. not only the selected measuring point but all active measuring channels are scanned successively without interruption. The storage with the conversion rate (coding 'S') can be activated with key CH▲, the output of the measured values 'U' can only be activated via the interface.

**Function:**

Conversion Rate (CR)

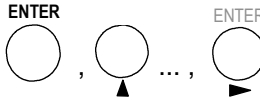


MEAS. CYCLE Key:



*Example: 10M/s, continuous, with saving*

Change conversion rate:



Memory on/off:

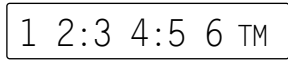
### 7.3.4 Time and Date

The ALMEMO® 2290-8 is equipped with a real time clock with date function for recording the measuring time. It has a lithium battery so the time and date are maintained after a switch-off.

**Function Time:**



TIME



The time is programmed in the format hh:mm:ss (see 5.3).

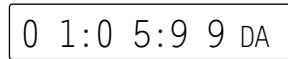
Stopping the clock and setting it to zero can be performed by using the keys ENTER, CLEAR.

The clock can be started in any switch position by using the key START/STOP.

**Function Date:**



DATE





*Example: date 1st May 1999*




Enter the date in the format dd.mm.yy (see 5.3). The year number can also be provided with 4 digits via interface (see manual 6.10.13).

Clear the date by using the keys ENTER, CLEAR.

### 7.3.5 Time and Date of Start, Time and Date of End

A sequence of measurements can, at certain points in time, be automatically started and stopped. For this purpose, the time and date of the start and the time and date of the end can be programmed. If no date has been specified the measurement is performed on a daily basis at the specified time interval. The actual time must be programmed before.

**Start Time:**  TIME 

**End Time:**  TIME  , 

Input of time data in the format hh:mm:ss (see 5.3):

**Start date** 'S' and **end date** 'E' are programmed in the same way in the format dd:mm:yy and with the switch positioned on DATE (see 5.3).

Clearing of the values is performed by using the keys **ENTER**, **CLEAR**.

### 7.3.6 Start and Stop by Limit Values

Another possibility for starting or stopping a data logging automatically is the triggering by the exceeding of limit values (see manual 6.6.3). The **allocation of the start or stop command** to a limit value is performed with the switch in position LV: MAX or LV: MIN. The key F allows for running the additional function 'AH' or 'AL' (action Hi, Lo).

When the action is cleared the display shows:

1: - - - - AH

The **activation** of the functions 'Start' or 'Stop' is performed by pressing the key **ENTER** and selecting with the keys ▲ and ▼.

The symbol 'S t A r t' or 'S t o P' flashes on the display.

The programming can be terminated by the key **ENTER**.

Display action measurement START at LV: MAX:

1:S t A r t AH

## 7.4 Data Memory

The basic information with regard to data storage in ALMEMO® devices is given in the manual section 6.9. The memory organisation can be reconfigured from linear to ring memory (see manual 6.10.13.2).

### 7.4.1 Data Acquisition

#### Switch-on and Switch-off of the Storage within the Measuring Cycle

If the memory has been activated in position MEAS. CYCLE by using the key CH▲ (see 7.3.2) each measuring point scan (exception: continuous) is stored. This is applicable for each scan in the measuring cycle, print cycle and a manually started scan (even when the measuring cycle is zero). Outputs to the selected interface will still be performed.

#### Switch-on of the Storage within the Print Cycle

If the output channel has been set to 'S' by using the key CH▲ while in OUTPUT CYCLE (see 7.3.1) all outputs that are normally transmitted to the interface will be stored in the memory, i.e. measuring point scans in the print cycle or manually started scans and also alarm outputs (e.g. exceeding of limit values) in the measuring cycle.

For **starting a cyclic storing** the key START/STOP must be operated. If measured values are stored the arrow 'MEMORY' is indicated for control purposes, e.g. continuously during automatic scans and only during the scan if the scan has been manually started.

**Stopping the storing** is performed by pressing the key START/STOP again.

#### Displaying the Data Memory:

The display shows the last stored measured value of the input channel.

Change of the indicated channel with key CH▲.

On **sensor breakage** the abbreviation of the range:

When the **memory is cleared** the display indicates:

If the **memory is full** the display indicates:  
Further measured values will no longer be stored when in the linear memory. Old values will be overwritten when in the ring memory.

**The free memory space** is displayed in kB in function 'FR' by pressing the key F:



1: 1 2 3.4 °C

1: N i C r °C

S - - - -

S F U L L

0 0 2 3 4.5 FR

## 7.4.2 Memory Connector

The ALMEMO® 2290-8 is the device that allows connecting external ALMEMO® EEPROM Memory Connectors ZA 1904-SS with capacities of 128kB or 256kB (25,000 or 50,000 measured values). These memories do not require a battery to keep stored data available. They can be removed, sent away and, independent from the device they can be evaluated on a computer by means of a readout interface (ZA 1409-SLK). The baud rate for the readout of data using the readout interface can be set via the measuring instrument (see 9.1).

The function ring memory will not be supported when storing data on the memory connectors.

The memory connector is plugged into socket A2 and will be automatically identified and, as long as it is connected, will be used in place of the internal memory. This will also be visible at the display of the memory capacity. Left of the memory space a 2-digit connector number will be indicated. For identification of the connector it can be programmed from 00 to 99 with keys ENTER, ▲▼, ▶, ▲▼, ▶.



Memory number: 03

Memory free: 128.5 kB



If the internal data memory contains data when connecting the memory connector the message 'SCLr' will flash in the display and prompt the user to delete the memory by using the key CLEAR (see 7.4.3). If the data needs to be rescued the connector must be removed again and the data must first be read out. You must not, in the course of a measuring operation, either plug or unplug the connector; the change will not be considered until the measuring operation stops; i.e. if a connector is unplugged during a measuring operation, all subsequent data for that operation will be lost.

### 7.4.3 Measured values Output

The content of the data memory can, using measuring points, be provided as output to the display and the analogue output or, using cycles, be provided as output to the serial interface. The output channel is relevant in this context.

#### Output to the Display and to the Analogue Output



**OUTPUT CYCLE**

Select output channel: Display: output channel ' - '

Analogue output: output channel ' S '



Output to the display and to the analogue output is only possible, if the data cable not connected.



**MEMORY**

Select desired measuring point, obtain first meas. value on the display, recall individual measured values, start automatic output

display ( ' - ' ): 1 value/s

recorder output ( ' S ' ): 2 values/s

stop automatic output

recall individual measured values

re-start automatic output

cancel automatic output

**CH▲**  
**OUTPUT**  
**F**  
**OUTPUT**

**START/STOP**  
**F**  
**OUTPUT**  
**CLEAR**

During the memory output the arrow 'MEMORY' is indicated for control purposes, similar to when recording. At the end a  $\pm 20$  digit notch is written on a recording device. The output can be repeated for each further measuring point.

#### Output to the Serial Interface



**OUTPUT CYCLE**

Select output channel:

(No longer required as of version 5.71)

Set output format: e.g.

' U '

' nU '



**MEMORY**

Start automatic output:

stop automatic output

recall individual measured values

re-start automatic output

cancel automatic output

**OUTPUT**  
**START/STOP**  
**F**  
**OUTPUT**  
**CLEAR**

During the memory output the display indicates ' S Out ' and the arrow 'MEMORY' is indicated. The memory content is provided as output with the same print output as used for an output via printer and, if necessary, several times and in different formats (see manual 6.6.1).

**Print Output:** MEMORY:  
 NUMBER: 12-001 (if activated)  
 DATE: 12.03.90  
 list format 12:30:00 01: +0012.0 °C NiCr designation  
 02: !+0008.8 °C NiCr water  
 03: >+125.00 °C Ntc motor oil

### Clear Memory



MEMORY

Clear with keys:

ENTER



CLEAR

To completely clear all measured values use **ENTER**, **±**, **CLEAR** (see 7.).

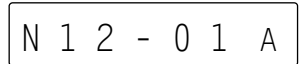
## 7.5 Numbering of Measurements

For an identification of measurements or sequences of measurements a number can be entered that will be printed or stored with the next measuring point scan. As a result, individually stored measurements can be allocated to certain measuring locations or measuring points (see manual 6.7).

### Displaying the Number



NUMBER



*Example:* Room No.: 12, Meas. Point 1, active

Programming of the 6 digit number (see 5.3). In addition to the figures 0 to 9 the characters A,F,N,P,- or \_ (space) can be used. The characters can be accessed either above 9 or below 0. The numbering output is activated after the input and 'A' is indicated in the dimension field.

**Increasing** the number by 1 and activating by using the key:



**Activating** and deactivating of the number output by using the key:  
 (identified by 'A' or ' ')



**Setting to zero** and deactivating the number with the keys:

ENTER



CLEAR

## 7.6 Sleep Mode

For long term monitoring with larger measuring cycles it is possible to operate the measuring device in sleep mode. Within this power saving mode the device will be switched off after each measuring point scan and will be automatically switched on for the next measuring point scan after the cycle time has expired. This procedure allows for one battery to perform approximately 7,000 measuring point scans. At 15 minutes for one cycle this results in a total measuring time of more than 70 days.

The following steps must be performed for an **operation in sleep mode**:

1. Enter a measuring or print cycle of a minimum of 2 minutes.  
If both are programmed the measuring cycle will be ignored.
2. Start measuring point scan using the key **START/STOP**.



The starting and stopping by the start and end time, and also by the limit values, is generally not possible in sleep mode and must, therefore, be switched off!

3. **Switch over to sleep mode**

Move the slide switch (1) to the upper position, 'SLEEP ON' will be displayed for a short period, and the instrument will be practically switched off.

S	L	E	E	P		O	N
---	---	---	---	---	--	---	---

4. Within the set cycle the instrument will automatically switch on, perform a measuring point scan, display 'SLEEP ON' and the measured values, and then switch off again.
5. **Switch over to active normal operation:**  
Move the slide switch (1) to the centre position.
6. Terminate the measurement by pressing the key **START/STOP**.



## 8. DIGITAL DATA OUTPUT

The entire programming of the sensors and the instrument, as well as all measured values, can be provided as output to a printer or computer via serial interface. The different interface modules can be connected to socket OUT1 (3). The connection to the instruments is described in the manual section 5.2. Other modules for networking the instruments follow in the manual section 5.3.

### 8.1 Baud Rate, Data Format

All interface modules are factory-set and programmed to 9600 baud. To avoid unnecessary problems when networking several devices the baud rate should not be modified but the computer or printer should be set up accordingly. If this is not possible, the values 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 or 57600bd can be entered via keyboard if the rotary switch is in position BAUD RATE. The input is started with the key **ENTER**. The display will start to flash and can be modified by using the keys **▲** and **▼**. When the desired transmission rate has been selected the programming can be terminated by operating the key **ENTER** once again. The baud rate setting will be stored in the EEPROM of the interface module and will then be valid for use with all other ALMEMO® devices.

Function:  BAUD RATE

9 6 0 0 BR

*Example:* 9600 bd

**Data format:** unchangeable 8 data bits, no parity, 1 stop bit

### 8.2 Device Address and Networking

All ALMEMO® instruments can be very easily networked to centrally acquire the measured values of several instruments that are located at different places (see manual 5.3). For communicating with networked devices it is mandatory that each device has its own address as only one device is allowed to respond to each command. Therefore, before any network operation it is necessary that all connected devices are set to different device numbers. This is performed with the rotary switch in position OUTPUT CYCLE. The key **F** is used to select the function DEVICE ADDRESS 'A' and the currently set device number is displayed, which is usually factory-set to 00. It can then be modified by the normal data entry (see 5.3).



OUTPUT CYCLE

Key:



0 1 A

*Example:* address 01

Only successive numbers between 01 and 99 should be entered for network operation so that the device 00 cannot be falsely addressed in case of a power supply failure.

### 8.3 Manual Data Output

For the output of data to a printer the output channel must be set to 'U' by using the key **CH▲** within the function OUTPUT CYCLE (see 7.3.1). The output format is not relevant for the manual data output, with the exception of the read-out of the memory. All function values that have been selected by using the rotary switch and, possibly, with the key F, can be printed out with the next print output by using the key OUTPUT.

OUTPUT



Manual data output within each function with key:

Switch	Func	Key	Print Output
MEAS. VAL.			12:34:00 01: +0023.5 °C
MAX VALUE			MAXIMUM: 01: +0020.0 °C
MIN VALUE			MINIMUM: 01: -0010.0 °C
AVERAGE V.			AVEARGE VAL: 01: +0017.8 °C
AVERAGE V.	AM	F	CH MEAS.VAL MAXIMUM MINIMUM AVG. COUNT
all meas. values	N	F, F	01: +0023.0 +0025.0 +0019.0 +0022.0 99999 s. man. 6.4.4
NUMBER			NUMBER: 00-123
MEMORY			MEMORY: - - - - see 7.4.2
MEMORY	FR	F	MEMORY: S0501.3 F0324.6 A
RANGE			01: NiCr +0123.4 -0012.0 +0000.0 °C 1.0000 E+0 - - -
RANGE	LM	F	CH ZERO SLOPE LM P FUNC CALOFS CALFA A-START A-END B1 MX EF AH AL CF UMIN
ext. programm.			01:+0000.0 +1.0000 5. 1 MESS +00000 32000 +0000.0 +1000.0-01 M1 -- S- E2 05 12.0 see manual 6.10.1
LV MAX			LIM-MAX: 01: -0100.0 °C
LV MIN			LIM-MIN: 01: +0020.0 °C
BASE			BASE: 01: -0273.0 °C
FACTOR			FACTOR: 01: +1.0350E-1
BASE	ZC	F	ZERO CORR: 01: -0000.7 °C
FACTOR	SC	F	SLOPE CORR: 01: +1.0013
TIME	TM		TIME: 12:34:00
TIME	S	F	START TIME: 07:00:00

<b>Switch</b>	<b>Func</b>	<b>Key</b>	<b>Print Output</b>	
<b>TIME</b>	E	F, F	END TIME	17:00:00
<b>DATE</b>	DA		DATE:	01.02.99
<b>DATE</b>	S	F	START DATE:	01.02.99
<b>DATE</b>	E	F, F	END DATE:	02.02.99
<b>PRINT CYCLE</b>			PRINT CYCLE:	00:06:00
<b>MEAS. CYCL.</b>			MEAS. CYCLE:	00:01:30
<b>BAUD RATE</b>	BR		AMR ALMEMO 2290-8	
Sensor			CH RANGE LIM-MAX LIM-MIN OFFSET D FACTOR EXP AVG COMMENT	
Programming			01: NiCr +0123.4 - - - - - °C 1.0350 E+0 - - - Designation	
			02: NiCr - - - +0012.0 - - - °C - - - E+0 CONT Water	
			MEAS. CYCLE: 00:00:30 S S0501.9 F0304.7 A W010 C-SU-	
			PRINT CYCLE: 00:10:00 U 9600 bd	
if programmed			START TIME: 00:07:00	
			START DATE: 02.01.99	
			END TIME: 18:30:00	
			END DATE: 03.01.99	
				see manual 6.2.3
<b>BAUD RATE</b>	mb	F	DEVICE: G00 M20 A08 P05/20/00	
Device			A.PRESSURE: +01013. mb	
Programming			CJ-TEMP: +0023.5 °C	
			U-SENSOR: ! 12.5 V	
			HYSTERESIS: 10	
			CONFIG: FCRDAS-- -L--	
			ALARM: -1-3	
			A1: DK0 Un	
			A2: AK1	see manual 6.2.5

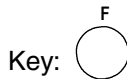
## 9. ANALOGUE OUTPUT

For analogue acquisition of the selected measuring point either an analogue output cable ZA 1601-RK (see manual 5.1.1) without electrical isolation or a relay trigger analogue adapter ZA 8000-RTA (see manual 5.1.3) with electrically isolated analogue output can be connected to the sockets A1(OUT1) or A2(OUT2).

### Scaling

It is possible to spread any partial range to the standard output signal of the three available options 0-2V, 0-10V, 0/4-20mA if the partial range covers at least 100 digits (e.g. 0-20mA for +200.0 to +1000.0°C). To achieve this the **analogue output-start** and the **analogue output-end** of the desired measuring range must be entered within the functions AS and AE (see manual 6.10.7). If the initial value is zero it will remain cleared.

#### Function ANALOGUE OUTPUT-START:

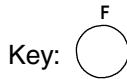


1: - 1 0.0 A S

Programming:

Input see 5.4

#### Function ANALOGUE OUTPUT-END:



1: 0 5 0.0 A E

*Example:*

Meas. Range -10.0 to 50.0 °C

These two parameters, analogue output-start and analogue output-end, are also stored in the EEPROM of the sensor and can, therefore, be individually programmed for each channel, i.e. during a manual switch through the channels an individual scaling is available for each measuring variable.

## 10. TROUBLESHOOTING

The data logger ALMEMO® 2290-8 can be configured and programmed in many different ways. It allows for a connection of many different sensors, additional measuring instruments, alarm signalisers and peripheral devices. Due to the large variety of options it is possible that, under certain conditions, it does not perform as the user would expect. In most cases this will not be related to a defective device but to operating errors such as wrong settings or an inadmissible wiring. The following tests should be performed to correct or to correctly identify the error.

**Error:** No display data or all display segments are permanently illuminated.

**Remedy:** Check power supply, recharge battery, switch off and on again, reinitialise (see 3.3)

**Error:** False measured values.

**Remedy:** Thoroughly check the programming of the channel (especially base and zero point), query the entire programming by means of the software AMR-Control or the terminal and command P15 (see manual 6.2.3) and f1 P15 (see manual 6.10.1)

**Error:** Varying meas. values, segment test or blockage during operation.

**Remedy:** Check cabling for inadmissible electrical connection, disconnect all suspicious sensors, hold hand-held sensors in air or connect dummies and check (short circuit AB at thermocouples, 100Ω at Pt100 sensors), then reconnect sensors successively and check. If an error occurs with one sensor, check the wiring, isolate the sensor if necessary, prevent influences from disturbances by shielding or twisting.

**Error:** Data transmission via interface does not function.

**Remedy:** Check interface module, connections and settings:

Are both devices set to the same baud rate and transmission mode (see 8.1)?

Is the correct COM interface addressed at the computer?

Is the output channel set to 'U' (see 7.3.1)?

Is the printer set to ONLINE mode?

Are the handshake lines DTR and DSR active?



A small interface tester with LEDs is very useful for checking the data flow and the handshake lines (during standby mode the data lines TXD and RXD are on a negative potential of approximately -9V and the diodes are illuminated green. The handshake lines DSR, DTR, RTS and CTS have a positive voltage of approximately +9V and the LEDs are illuminated red. During the data transmission the data lines must flash red).

Test the data transmission by using a terminal (AMR-Control, WIN-Control, DATA-Control, WINDOWS Terminal):

Address the device with its device number  $G_{xy}$  (see manual 6.2.1), query the programming by  $P_{15}$  (see manual 6.2.3),

only check the sending line by cycle input via command Z123456 and control in the display.

Test the receiving line by using the key OUTPUT and monitor control.

**Error:** Data transmission within network does not function

**Remedy:** Check that all devices are set to different addresses,

address devices individually via terminal and command  $G_{xy}$ , addressed device is OK when the feedback is at least  $y$  CR LF.

If data transmission is still not possible, disconnect networked devices, check devices separately at data cable of the computer (see above),

check the wiring regarding short circuit or twisting.

Are all network distributors supplied with power?

Network and check the devices successively again (see above).

If the device is, after the above inspections, still not performing as specified in the operating instructions, it must be sent to the factory in Holzkirchen, Germany, including a short report and possibly control printouts. The software AMR-Control allows to print the monitor pages including the programming and also to save the terminal operation and to print it out.

## 11. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

The data logger ALMEMO® 2290-8 meets the electromagnetic compatibility (EMC) safety requirements specified in the relevant CE directive issued by the council for the alignment of legal regulations of the member states (89/336/EWG).

The following standards have been applied for the evaluation of the product:

EMC:	IEC 61326:1997+A1:1998+A2:2000	
	IEC 61000-6-1:1997	IEC 61000-6-3:1996
	IEC 61000-4-2: 1995+A1:1998+A2:2000 8kV	IEC 61000-4-4: 1995+A1:2000 2kV
	IEC 61000-4-3: 1995+A1:1998+A2:2000 3V/m	

The following notes must be observed when operating the instrument:

1. If the standard sensor cables (1.5m) are extended it must be considered that the measuring lines are not guided together with power mains and that they are appropriately shielded to protect against any coupling of disturbance signals.
2. If the instrument is operated within strong electromagnetic fields an additional measuring error must be expected ( $<50\mu\text{V}$  at 3V/m and 1.5m thermocouple transducers). After the irradiation the device operates again within the specified technical data.

**Technical Data** (see also Section 2.2 in Manual)

<b>Measuring Inputs:</b>	5 ALMEMO® sockets for ALMEMO® connector
Meas. channels:	5 primary chann. electr. isol., max. 15 addit. chann. for double sensors and function channels
Sensor voltage supply:	battery: 7...9V, max. 100mA mains adapter: approx 12V, max. 100mA
<b>Outputs:</b>	2 ALMEMO® sockets for all output modules
<b>Equipment:</b>	
Display:	6½ digit 7-segment, 2 digit 16-segment, 12mm
Function selection:	16-position rotary switch
Keyboard:	5 keys
Memory:	500 kB (100000 meas.val.) buffered with lithium batt.
Time and date:	real time clock buffered with lithium battery
Microprocessor:	HD 6303 Y
<b>Voltage Supply:</b>	7 to 13V DC not electr. isol.
Mains adapter:	ZB 2290-NA 230V AC to 12V DC, 200mA electr. isol.
Adapter cable electr. isol.:	ZB 2290-UK 10...30V DC to 12V DC, 250mA
Current consumption without input and output modules:	approx. 10mA sleep mode: approx. 20µA
<b>Housing:</b>	180x85x33mm, ABS high impact strength (70°C max)
<b>Operating Conditions:</b>	
Operating temperature:	-10 ... +60 °C
Storage temperature:	-30 ... +60 °C
Humidity of ambient air:	10 ... 90 % rH (non-condensing)
<b>Extent of the Delivery:</b>	Measuring Instrument ALMEMO 2290-8 Operating Instructions ALMEMO 2290-8 ALMEMO® Manual incl. software AMR-Control

**Product Overview****Data Logger ALMEMO 2290-8**

	<b>Order No.</b>
5 inputs, 20 channels at maximum, 500 kB memory, real time clock, 5 keys, RS232 interface that can be cascaded, sleep mode	MA 2290-8
Mains Adapter 12V DC, 200mA	ZB 2290-NA
DC Adapter Cable 10 to 30V DC, 12V/250mA electr. isol.	ZB 2290-UK
ALMEMO® Recording Cable -1.25 to 2.00 V	ZA 1601-RK
ALMEMO® Data Cable V24 Interface, electr. isolated	ZA 1909-DK5
ALMEMO® Data Cable Centronics Interface, electr. isolated	ZA 1936-DK
ALMEMO®-Data Cable Ethernet Interface, electr. isolated	ZA 1945-DK
ALMEMO® Network Cable Current Loop, electr. isolated	ZA 1999-NK5
ALMEMO® I/O Cable for Triggering and Limit Value Alarm	ZA 1000-EGK
ALMEMO® Memory Connector 256kB (up to 50000 Meas. values)	ZA 1904-SS8
V24 Adapter Cable to read the memory connector with PC	ZA 1409-SLK







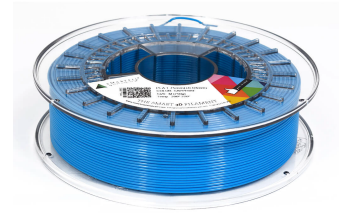


# TECHNICAL DATA SHEET

VERSION 1.1

## PLA

Biodegradable filament and ok for all 3d printers. It is very easy to print as it has no contractions so you can make really big pieces. With our PLA filament you can achieve a fantastic finish and lively colours in all your pieces.



**Recyclable**  
Recyclable  
Recyclable



**Apto para contacto con alimentos**  
Food Approved  
Aliments approuvés



**Biocompostable**  
Biocompostable  
Biocompostables

	TIPICAL VALUE	UNITS	TEST METHOD		
<b>PHYSICAL PROPERTIES</b>					
Chemical Name	Polylactic Acid				
Material Density	1.24	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183		
Glass Transition Temperature	60	°C	D3418		
<b>MECHANICAL PROPERTIES</b>					
Tensile Strength at Break	50	MPa	D882		
Tensile Yield Strength	60	MPa	D882		
Tensile Modulus	3.5	GPa	D882		
Tensile Elongation	6	%	D882		
Notched Charpy Impact	5	KJ/m <sup>2</sup>	ISO-179-1eA		
Flexural Strength	83	MPa	D790		
Flexural Modulus	3.8	GPa	D790		
<b>THERMAL PROPERTIES</b>					
Heat Distorsion Temperature (0.45 MPa)	55	°C	E2092		
<b>PRINTING PROPERTIES</b>					
Print Temperature	200-240	°C			
Hot Pad	0-60	°C			
Fan Layer	ON (100)	%			
<b>SIZE</b>	<b>NET W.</b>	<b>GROSS W.</b>	<b>DIAMETERS</b>	<b>COLOR</b>	<b>PACKAGING</b>
S	330 g	475 g	1.75 mm	Various colors	SmartBag, security seal, desiccant bag
M	750 g	975 g	1.75 mm/2.85 mm	Various colors	
L	1000 g	1256 g	1.75 mm/2.85 mm	Various colors	

**DISCLAIMER:** The information provided in the data sheets is intended to be just a reference. It should not be used as design or quality control values. Actual values may differ significantly depending on the printing conditions. The final performance of the printed components does not only depend on the materials, also the design and printing conditions are important.

Smart Materials assumes no responsibility for any damage, injury or loss produced by the use of its filaments in any particular application.