

Escola Universitaria Politécnica



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TFG Nº: 770G01A217

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MINIPLANTA DE CONTROL DE NIVEL MEDIANTE ARDUINO O PLACA SIMILAR.

AUTOR: JAVIER PRADO PICO

**TUTOR: HÉCTOR QUINTIÁN PARDO
ESTEBAN JOVE PÉREZ**

FECHA: JULIO DE 2021

Fdo.: EL AUTOR

Fdo.: EL TUTOR

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MINIPLANTA DE CONTROL DE NIVEL MEDIANTE ARDUINO O PLACA SIMILAR.

ÍNDICE

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JULIO DE 2021

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JAVIER PRADO PICO

I	ÍNDICE	3
	Contenidos del TFG	5
	Listado de Figuras	9
	Listado de tablas	13
	Listado de códigos de programación	15
II	MEMORIA	17
	Índice del documento Memoria	19
1	OBJETO	23
2	ALCANCE	24
3	ANTECEDENTES	25
	3.1 Plantas de nivel de la escuela	26
	3.2 Mini-plantas de control	27
	3.3 Introducción a la impresión 3D	29
	3.3.1 Soportes, puentes y voladizos	29
	3.3.2 Esquinas	31
4	NORMAS Y REFERENCIAS	32
	4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas	32
	4.2 Bibliografía	32
	4.3 Software empleado	32
	4.3.1 Software diseño gráfico, diseño 3D e impresión 3D	32
	4.3.2 Software de diseño y simulación de circuitos electrónicos	32
	4.3.3 Software de programación	32
	4.3.4 Software cálculo	33
	4.3.5 Software edición de texto	33
	4.4 Otras referencias	33
5	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	34
6	REQUISITOS DE DISEÑO	36
	6.1 Requisitos económicos	36
	6.2 Requisitos estructurales	36
	6.2.1 Dimensiones	36
	6.2.2 Tolerancias	36
	6.2.3 Materiales	37
	6.3 Comunicaciones	38
7	ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES	39
	7.1 Diseño 3D	39
	7.1.1 Materiales	39
	7.1.2 Diseños	39
	7.1.3 Unión entre paneles	44
	7.2 Materiales eléctrico.	45
	7.2.1 Moto-bomba	45

7.2.2	Electroválvula	46
7.2.3	Placa de control	46
7.2.4	Sensores	48
7.2.5	Alimentación	51
7.3	Material fontanería	52
7.3.1	Depósitos	52
7.3.2	Conexionado	53
7.4	Acondicionamiento de señales	54
7.5	Programación Firmware	55
8	RESULTADOS FINALES	56
8.1	Diseño	58
8.1.1	Modelo final escogido	58
8.1.2	Impresión 3D	71
8.1.3	Diseño y mecanizado paneles policarbonato	72
8.1.4	Unión entre las piezas: Pegamentos y siliconas	76
8.2	Aprovisionamiento eléctrico	77
8.2.1	Alimentación	77
8.2.2	Motobomba	79
8.2.3	Sensor	82
8.2.4	Electroválvula	87
8.2.5	ESP32	88
8.2.6	Dispositivos de seguridad	90
8.2.7	Conexionado eléctrico	93
8.3	Diseño PCB	96
8.3.1	Entradas y salidas	96
8.3.2	Circuitos de Acondicionamiento	97
8.3.3	Acondicionamiento flotadores	100
8.3.4	Diseño PCB	101
8.4	Aprovisionamiento material fontanería	104
8.4.1	Conexionado	104
8.4.2	Tubería	109
8.4.3	Sellado conexiones	109
8.5	Programación	109
8.5.1	Códigos DAQ	109
8.5.2	Firmware planta	110
8.5.3	Seguridad	113
8.6	Calibración y comprobación del funcionamiento del sistema	113
8.6.1	Regulador ejemplo	114
9	ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS	115

III ANEXOS	117
Índice del documento Anexos	119
10 DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA	121
11 CÁLCULOS	124
11.1 Cálculo del caudal de la bomba	124
11.2 Alimentación	125
11.3 Anchos de pista circuitos de potencia	126
11.4 Anchos de pista señales	126
12 ANEXOS EN FUNCIÓN DEL ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL TFG	128
12.1 Seguridad	128
12.2 Medio ambiente	128
12.3 Eficiencia energética	128
12.4 Emplazamiento del proyecto, Geotécnicos, etc.	128
12.5 Gestión de residuos	128
13 ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA	128
13.1 Estudio Básico de Seguridad y Salud o Estudio de Seguridad y Salud, según corresponda	128
13.2 Estudio de Impacto Ambiental	128
14 OTROS ANEXOS	129
14.1 Montaje de la planta	129
14.2 Códigos de programación	133
14.2.1 Arduino	133
14.3 Matlab	143
14.4 Tiempos y material necesario para la impresión 3D	147
IV PLANOS	149
Índice del documento Planos	149
Estructura de la planta	151
Estructura explosionada de la planta	152
Depósito miniplanta	153
Depósito explosionado	154
Esquina inferior	155
Esquina superior	156
Base depósito	157
Lateral depósito	158
Elevador	159
Montaje sensor	160
Explosión sensor	161
Entrada de agua sensor	162
Soporte sensor	163
Disco Flotador	164

Vaina Sensor	165
Base estructura	166
Soporte seta emergencia	167
Desagüe fijo 10mm	168
Plantillas para corte del policarbonato	169
Front y Botom Silk PCB	170
Capa frontal y trase de cobre PCB	171
Esquema electrónico PCB	172
V PLIEGO DE CONDICIONES	173
Índice del documento Pliego de condiciones	175
VI MEDICIONES	179
Índice del documento Mediciones	181
15 Miniplantas de control	182
15.1 Material impreso en 3D	182
15.2 Material mecanizado	183
15.3 Material eléctrico, electrónico y de fontanería	183
15.4 PCB	186
16 Licencias de software	189
17 Mano de obra	189
VII PRESUPUESTO	191
Índice del documento Presupuesto	193
18 Miniplanta de control	195
18.1 Piezas impresas en 3D	195
18.2 Piezas mecanizadas	196
18.3 Dispositivos eléctricos, electrónicos y de fontanería	197
18.4 PCB	199
19 Licencias de software	202
20 Mano de obra	202
21 PRESUPUESTO FINAL	203

Listado de Figuras

3.1	Plantas de nivel de la escuela	26
3.2	Tarjeta adquisición de datos	27
3.3	Esquema de control	27
3.4	Primera versión miniplantas de control	28
3.5	Deposición del material por capas	29
3.6	Estructuras básicas en impresión 3d	29
3.7	Deposición del material por capas	30
3.8	Impresión de voladizos	30
3.9	Ejemplo puente sin soportes	31
6.1	Test de tolerancias dimensionales	37
7.1	Primera versión del depósito	40
7.2	Primera versión del depósito	41
7.3	Segunda versión de los depósitos	42
7.4	Esquinas unión	43
7.5	Esquinas unión	43
7.6	Base y soporte	44
7.7	Bombas valoradas	45
7.8	Sensor S18UUA	48
7.9	Sensor HC-SR04	49
7.10	Sensor flotador	49
7.11	Sensor VL6180X montado en su soporte	50
7.12	Circuito acondicionamiento motor	54
7.13	Esquema acondicionamiento del motor	54
8.1	Montaje final	56
8.2	Lateral y conexionado	57
8.3	Modelo 3D	58
8.4	Depósitos de agua	59
8.5	Unión paneles policarbonato	59
8.6	Detalle de la aplicación del cemento plástico	60
8.7	Modelos de las esquinas	60
8.8	Uniones entre elementos de la planta	61
8.9	Área impresión Ender 3: 25 esquinas	61
8.10	Sección de un depósito	62

8.11	Detalle de la unión	62
8.12	Elevador	63
8.13	Depósito inferior y Base	64
8.14	Divisiones soporte inferior de los componentes eléctricos	65
8.15	Detalle de la conexión	66
8.16	Enganche	66
8.17	Soporte tornillos	67
8.18	Detalle del soporte de la PCB	68
8.19	Soporte fuente de alimentación	68
8.20	Soporte IEC-14	69
8.21	Soporte Bomba	69
8.22	Soporte Bomba	70
8.23	Sección bomba y soporte	70
8.24	Disposición de las piezas en el material	72
8.25	Panel de corte	73
8.26	Fresa empleada	73
8.27	Operación bore	74
8.28	Sujección de las piezas a la superficie de trabajo mediante tabs para el mecanizado	75
8.29	Corte policarbonato 100x50cm	76
8.30	Cemento plástico	76
8.31	Silicona acuarios	77
8.32	Esquema alimentación	77
8.33	Fuente 24V	78
8.34	Regulador 5V	79
8.35	Parámetros bomba	80
8.36	Respuesta de la bomba	80
8.37	Gráfico caudal de la bomba en función de la potencia	81
8.38	Potencia consumida en función del ciclo de trabajo	81
8.39	Medida de frecuencia del motor	82
8.40	Diagrama del sensor VL6180X	82
8.41	Sensor VL6180X montado en su soporte	83
8.42	Despiece del encapsulado del sensor	84
8.43	Encapsulado sensor de nivel	85
8.44	Montaje del sensor	85
8.45	Medida de nivel durante el llenado	86
8.46	Medida de nivel fijo	87
8.47	Vaciado electroválvula	87
8.48	Pines ESP32 DEVKIT 1	88
8.49	Seta emergencia	91
8.50	Interruptor montado	91

8.51 Fusible montado en su soporte	92
8.52 Interruptores de nivel	92
8.53 Esquema conexionado eléctrico	93
8.54 Conector IEC-C14	93
8.55 Conectores faston	94
8.56 Conectores electroválvula	94
8.57 Conectores JST	95
8.58 Conectores KF301	96
8.59 Montaje en placa del ESP32	96
8.60 Esquema E/S	97
8.61 Señales acondicionadas y sus niveles	97
8.62 Circuito acondicionamiento motor	98
8.63 Simulación circuito acondicionamiento motor	98
8.64 Circuito acondicionamiento electroválvula	99
8.65 Simulación del acondicionamiento de la electroválvula	100
8.66 Circuito acondicionamiento medición velocidad	100
8.67 Acondicionamiento señales de los flotadores	101
8.68 PCB	102
8.69 Serigrafía de los pines	102
8.70 Pistas PCB	102
8.71 Uniones entre elementos de la planta	103
8.72 Conectores	104
8.73 Llave de paso	105
8.74 Adaptador desagüe	106
8.75 Montaje desagüe fijo	106
8.76 Montaje electroválvula	107
8.77 Conector Arpón	107
8.78 Conector 90° 1/2' a 20mm	108
8.79 Conector 90° 20mm a 20mm	108
8.80 Esquema general de comunicación	111
8.81 Función Sensor_Read()	112
8.82 Señales empírico	114
8.83 Regulador PI	115
11.1 Evolución del caudal para una potencia del 30 %	124
11.2 Aproximación lineal a la evolución del caudal	125
11.3 Caudal(L/min) para cada rango de potencia	125
11.4 Anchos de pista para circuitos de potencia	127
11.5 Anchos de pista para señales	127
14.1 Secuencia de montaje	129
14.2 Montaje del depósito 1	130
14.3 Montaje del depósito 2	130

14.4 Montaje de las esquinas superiores	131
14.5 Aplicación del pegamento	131
14.6 Conexión del motor	132
14.7 Montaje sensor	132

Listado de tablas

7.1	Parámetros bombas	46
7.2	Señales necesarias para el funcionamiento de la planta	46
7.3	Placas de control valoradas (1)	47
7.4	Placas de control valoradas (2)	47
7.5	Resumen sensores y sus principales características	48
7.6	Resumen fuentes de alimentacion	51
7.7	Convertidores 24V a 5V	52
7.8	Estructuras valoradas (1)	53
7.9	Estructuras valoradas (2)	53
7.10	Opciones de conexionado	53
8.1	Parámetros de la impresora 3D	71
8.2	Parámetros de impresión	71
8.3	Filamento anycubic	72
8.4	Parámetros Bore	74
8.5	Parámetros corte	75
8.6	Resumen funciones necesarias para el funcionamiento básico y pines asociados	88
8.7	Resumen funciones adicionales y pines asociados	89
8.8	Funciones y asignación de pines finales	90
8.9	Características mosfet 2N7002K	99
8.10	Capacidades técnicas del fabricante [16]	101
8.11	Características técnicas PCB	103
8.12	Canales y señales de lectura	111
8.13	Canales y señales de salida	113
8.14	Parámetros de la planta y fórmulas para cada regulador.	114
8.15	Parámetros de la planta y parámetros para cada regulador deseado.	115
11.1	Tensiones, corrientes y potencias de los elementos de la planta	126
15.1	Listado de mediciones de piezas impresas en 3D	182
15.3	Listado de mediciones de Componentes Eléctricos, electrónicos y de fontanería	185
15.4	Listado de mediciones para la PCB	188
16.1	Lista de mediciones de las licencias software	189
17.1	Lista de mediciones de la mano de obra	189
19.1	Costes licencias de software	202

Listado de códigos de programación

14.1	Definiciones de las entradas y salidas	133
14.2	Void Setup	134
14.3	Lectura de nivel	135
14.4	Lectura de frecuencia	135
14.5	Void loop	137
14.6	Código regulador PI de ejemplo	143
14.7	Código cálculo parámetros críticos del sistema	144

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MINIPLANTA DE CONTROL DE NIVEL MEDIANTE ARDUINO O PLACA SIMILAR.

MEMORIA

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JULIO DE 2021

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JAVIER PRADO PICO

Índice del documento MEMORIA

1	OBJETO	23
2	ALCANCE	24
3	ANTECEDENTES	25
3.1	Plantas de nivel de la escuela	26
3.2	Mini-plantas de control	27
3.3	Introducción a la impresión 3D	29
3.3.1	Soportes, puentes y voladizos	29
3.3.2	Esquinas	31
4	NORMAS Y REFERENCIAS	32
4.1	Disposiciones legales y normas aplicadas	32
4.2	Bibliografía	32
4.3	Software empleado	32
4.3.1	Software diseño gráfico, diseño 3D e impresión 3D	32
4.3.2	Software de diseño y simulación de circuitos electrónicos	32
4.3.3	Software de programación	32
4.3.4	Software cálculo	33
4.3.5	Software edición de texto	33
4.4	Otras referencias	33
5	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	34
6	REQUISITOS DE DISEÑO	36
6.1	Requisitos económicos	36
6.2	Requisitos estructurales	36
6.2.1	Dimensiones	36
6.2.2	Tolerancias	36
6.2.3	Materiales	37
6.3	Comunicaciones	38
7	ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES	39
7.1	Diseño 3D	39
7.1.1	Materiales	39
7.1.2	Diseños	39
7.1.3	Unión entre paneles	44
7.2	Materiales eléctrico.	45
7.2.1	Moto-bomba	45
7.2.2	Electroválvula	46

7.2.3	Placa de control	46
7.2.4	Sensores	48
7.2.5	Alimentación	51
7.2.5.1	Alimentación 24V	51
7.2.5.2	Alimentación de 5V y 3.3V	51
7.3	Material fontanería	52
7.3.1	Depósitos	52
7.3.2	Conexionado	53
7.4	Acondicionamiento de señales	54
7.5	Programación Firmware	55
8	RESULTADOS FINALES	56
8.1	Diseño	58
8.1.1	Modelo final escogido	58
8.1.1.1	Depósitos agua	59
8.1.1.2	Elevadores de policarbonato	63
8.1.1.3	Soporte inferior para componentes eléctricos	63
8.1.2	Impresión 3D	71
8.1.3	Diseño y mecanizado paneles policarbonato	72
8.1.4	Unión entre las piezas: Pegamentos y siliconas	76
8.2	Aprovisionamiento eléctrico	77
8.2.1	Alimentación	77
8.2.1.1	Fuente de 24V	78
8.2.1.2	Regulador conmutado	78
8.2.1.3	Regulación 3.3V	79
8.2.2	Motobomba	79
8.2.3	Sensor	82
8.2.3.1	Conexionado	83
8.2.3.2	Mediciones	86
8.2.4	Electroválvula	87
8.2.5	ESP32	88
8.2.5.1	Asignación de los pines	88
8.2.6	Dispositivos de seguridad	90
8.2.6.1	Seta de emergencia	90
8.2.6.2	Interruptor	91
8.2.6.3	Fusibles	91
8.2.6.4	Interruptores de nivel	92
8.2.7	Conexionado eléctrico	93
8.2.7.1	Cableado	93
8.2.7.2	Conectores	93
8.3	Diseño PCB	96

8.3.1	Entradas y salidas	96
8.3.2	Circuitos de Acondicionamiento	97
8.3.2.1	Acondicionamiento PWM motor	97
8.3.2.2	Acondicionamiento Electroválvula	99
8.3.2.3	Acondicionamiento señal tachó motor	100
8.3.3	Acondicionamiento flotadores	100
8.3.4	Diseño PCB	101
8.4	Aprovisionamiento material fontanería	104
8.4.1	Conexionado	104
8.4.2	Tubería	109
8.4.3	Sellado conexiones	109
8.5	Programación	109
8.5.1	Códigos DAQ	109
8.5.2	Firmware planta	110
8.5.3	Seguridad	113
8.6	Calibración y comprobación del funcionamiento del sistema	113
8.6.1	Regulador ejemplo	114
9	ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS	115

1 OBJETO

El objetivo de este proyecto es diseñar, fabricar e instalar equipos de control de nivel a escala reducida que permitan a los alumnos acercarse de una forma práctica a los sistemas de control más extendidos en la industria. Además, se buscará que el precio sea lo más reducido posible para que los alumnos puedan reproducir por si mismos las plantas desarrolladas.

2 ALCANCE

Para seguir de forma ordenada el desarrollo del proyecto, lo dividiremos en 6 fases:

1. Estudio de los requisitos y la documentación disponible:

En esta fase definiremos tanto los objetivos como las limitaciones del proyecto, tales como volumen, costes, materiales utilizados, etc.

2. Diseño de la planta:

En la que analizaremos los parámetros de diseño que se han escogido para cumplir con los objetivos y las limitaciones previamente definidas.

3. Construcción y fabricación de la planta:

En este capítulo recogeremos los materiales necesarios para la construcción y los pasos a seguir para llevar a cabo el montaje de la planta.

4. Diseño del sistema de adquisición de datos:

En el que diseñaremos y fabricaremos una tarjeta de adaptación de señales, que permita comunicarnos con el PC y en la que realizaremos el acondicionamiento de las señales empleadas.

5. Programación firmware:

En este apartado se elaborará el código empleado en el sistema de adquisición de datos para comunicar correctamente la placa de control ESP32 y el software MATLAB.

6. Puesta en marcha y calibración:

En la que realizaremos una guía calibración y utilización, además de programar un sencillo regulador de ejemplo.

3 ANTECEDENTES

Los sistemas de control son elementos fundamentales en la industria moderna, pues nos permiten actuar sobre las variables de un proceso de forma autónoma, sin necesidad de un control humano directo.

Aunque estos sistemas de control no son una novedad (algunos lazos de control básicos datan del siglo III a.c[6]), en los últimos años han sufrido una transformación radical. A principios del siglo XX[6] se consolida como área de estudio la ingeniería de control, fundamentalmente analógica, pero con la aparición y la reducción en costes de los ordenadores y los microcontroladores, aparece una nueva rama conocida como el control discreto. Este avance permitió crear sistemas mucho más flexibles y, a la larga, baratos y fáciles de implementar que los sistemas analógicos.

Un ejemplo de sistema analógico controlado de forma discreta son las plantas de nivel de las que disponemos en la escuela. Estos sistemas son un ejemplo de actuación digital y por tanto discreta en un sistema claramente analógico y continuo.

3.1. Plantas de nivel de la escuela

Para poder introducir a los alumnos de una forma práctica a los sistemas de control, la escuela cuenta con 4 plantas de control simples y 2 más complejas, a disposición de cualquier alumno. Estas plantas son una herramienta didáctica muy importante, ya que permiten al alumno aplicar los diversos sistemas de control estudiados durante la formación.

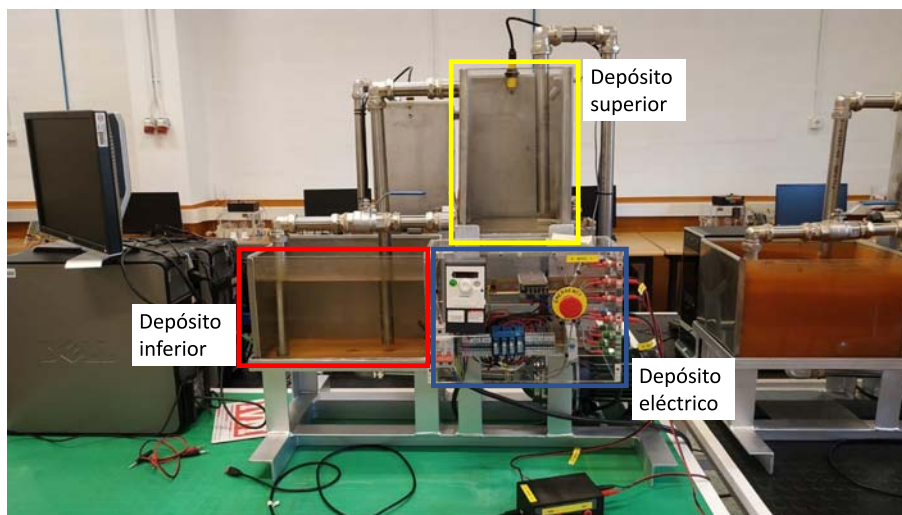


Figura 3.1 – Plantas de nivel de la escuela

En la Figura 3.1 podemos ver una de las plantas de la escuela y los elementos que la componen: Estas constan de dos depósitos metálicos, con una ventana de cristal para ver el nivel, unidos de forma que el depósito superior vierte agua en el inferior y éste la impulsa al depósito superior mediante una bomba. Esta bomba está alimentada a través de un variador de frecuencia, que nos permite controlar la velocidad de la bomba y consecuentemente, el caudal de salida de la bomba. Para realizar la realimentación del nivel, se utiliza un sensor de ultrasonidos. Tanto el variador como el sensor utilizan señales analógicas de 0-10V.

Cada planta está equipada con un ordenador para realizar el control, pero este no actúa directamente con la planta. Realizamos una comunicación a través de el puerto USB con una tarjeta de adquisición de datos (Figura 3.2), que convertirá las señales digitales del ordenador en las señales analógicas que rigen la planta y al revés, pasando a digital la medida del sensor de nivel.

El principal problema de estas plantas y una de las razones que motivan el desarrollo de este proyecto es el elevado precio y la falta de flexibilidad que limitan las plantas de la escuela. Una de estas plantas tiene un precio aproximado de unos 2000€ y ocupan un tamaño de 83x45x80cm. Ya sólo el sensor, tiene un precio de 260€. Esto dificulta mucho la capacidad de ampliar el número de éstas. El objetivo de este proyecto es reducir el coste y el tamaño de forma que se puedan crear varias de estas para que todos los alumnos puedan trabajar en ellas a la vez.



Figura 3.2 – Tarjeta adquisición de datos

Esquemas plantas de control

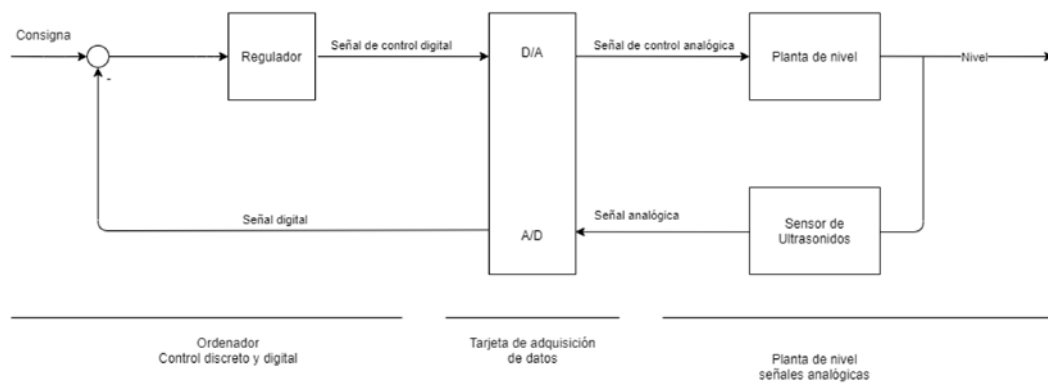


Figura 3.3 – Esquema de control

3.2. Mini-plantas de control

Para solucionar estos problemas, en un TFG previo[4] del alumno Santiago Golpe Mantin se diseñó unas miniplantas impresas en 3D, que solucionaban los problemas anteriores y estaban formadas por los bloques mostrados en la Figura 3.4.

La estructura es muy similar a la de las plantas de la escuela, contando con dos depósitos de agua y un tercer compartimento colocado en un lateral para la electrónica que, a diferencia de las de la escuela, junta en un mismo compartimento la adaptación y la comunicación con el ordenador. Estas plantas tienen un coste de material muy inferior a las de la escuela, 94.68€. Logra un precio tan reducido empleando impresión 3D y hardware de bajo coste. Sin embargo, estas plantas, al estar casi impresas totalmente en 3D, tardaban un tiempo considerable en imprimirse y eran propensas a tener fugas, por lo que se tuvo que realizar un post-tratamiento. Además de estar limitadas al tamaño de la impresora, son difíciles de modificar y ampliar una

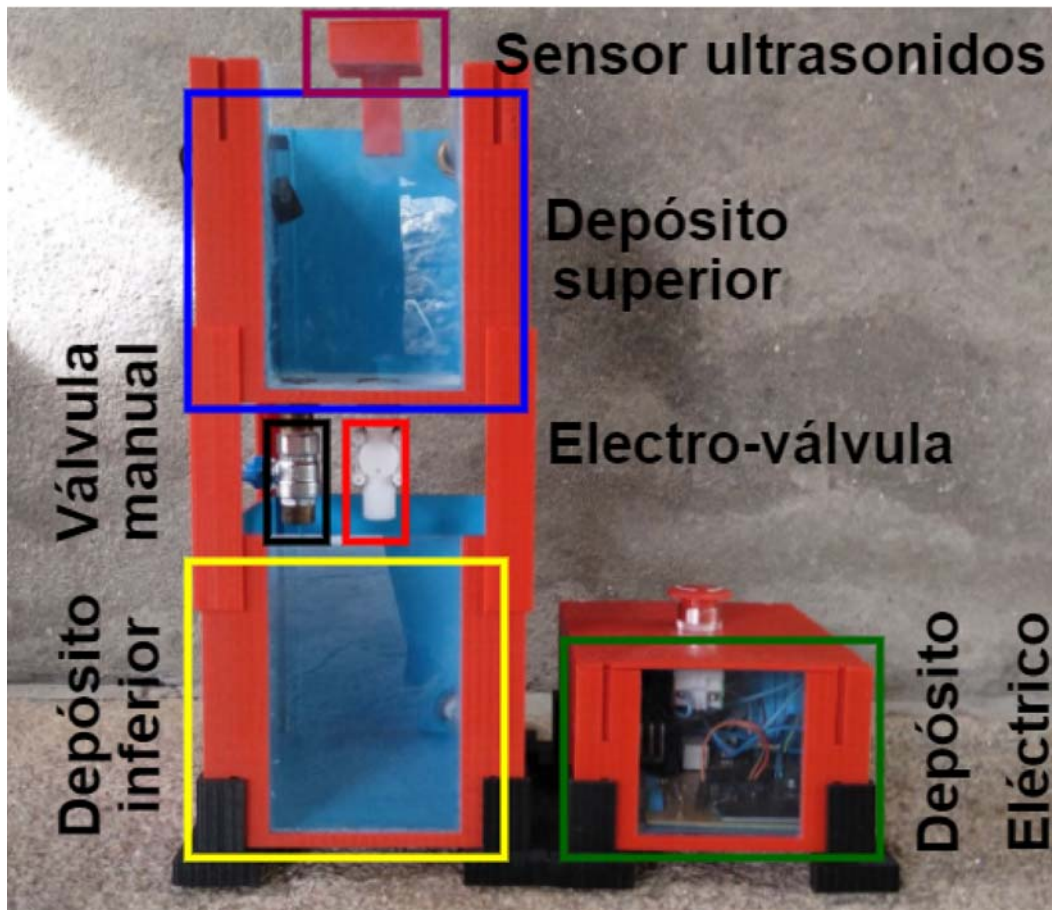


Figura 3.4 – Primera versión miniplantas de control

vez terminado el diseño.

3.3. Introducción a la impresión 3D

Para el prototipado y construcción de las plantas hemos optado por utilizar impresión 3D FDM. Este método de fabricación aditiva deposita material fundido (en nuestro caso, plástico) por capas a la vez que las enfría, creando así el modelo 3D. Como se ve en la Figura 3.5.

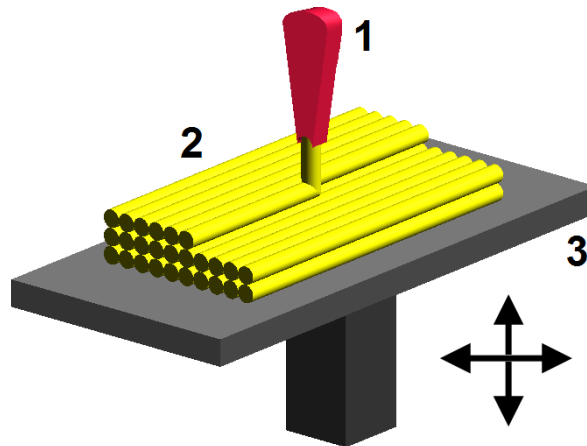


Figura 3.5 – Deposición del material por capas

Esta tecnología, antes solo disponible para las grandes empresas, ha disminuido su precio de forma drástica hasta convertirse en un producto al alcance del público general. Para la fabricación de las piezas hemos utilizado la impresora Creality Ender 3, con un coste aproximado de 150€ y con una calidad muy buena. El volumen de trabajo de ésta es 235 de largo, 235 de ancho y 250 de alto; por lo que las piezas diseñadas se ajustarán a ese volumen como máximo.

Aunque esta tecnología proporciona una solución rápida para el prototipado, tiene una serie de restricciones a tener en cuenta a la hora de diseñar las piezas.

3.3.1. Soportes, puentes y voladizos

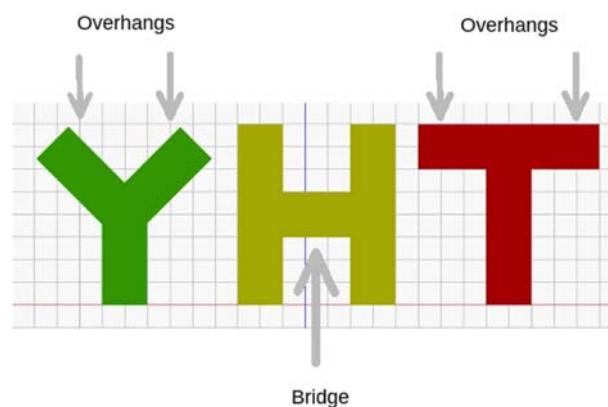


Figura 3.6 – Estructuras básicas en impresión 3D

La impresión FDM deposita capas de material unas encima de otras, por lo tanto, necesitamos una capa sólida debajo antes de depositar la siguiente capa. En el ejemplo de la Figura 3.6 vemos 3 tipos de impresiones con los que deberíamos tener cuidado. Estos son: salientes, puentes y voladizos.

En el caso de los salientes, la capa de material se deposita una parte en la capa anterior como se ve en la Figura 3.7 y otra parte en el aire, por lo que, dependiendo del ángulo, tendremos una impresión correcta o no. En la Figura 3.6 la parte superior de la Y no está apoyada totalmente en las capas anteriores. Como norma general, se toma 45° como un valor seguro

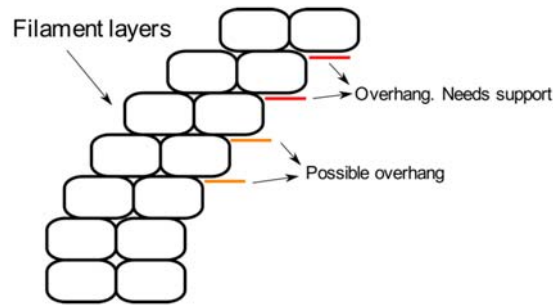


Figura 3.7 – Deposición del material por capas

Los voladizos son un tipo de saliente con ángulo de 90° . En estos casos el material se deposita completamente en el aire. En el caso de la "T", las primeras capas de la parte superior se imprimirían totalmente en el aire. En estos casos se generan unas estructuras de soporte, que crecen desde la base

En la Figura 3.8 vemos la diferencia entre imprimir sin soportes y con ellos. En la primera pieza, se forma un 'espagueti' en las primeras capas, que acaban sosteniendo a las siguientes, aunque el acabado sea pésimo. En la pieza de la derecha (Figura 3.8), se han generado soportes, por lo que el acabado será mucho mejor. El problema de utilizar soportes es la cantidad de material que se gasta y el tiempo que lleva retirarlos.



Figura 3.8 – Impresión de voladizos

Por último tenemos los puentes, en la Figura 3.6 corresponde a la "H". Este es un tipo de voladizo que está soportado a ambos lados, al contrario que en el caso de la "T" que solo estaba soportada en un extremo. Este tipo de estructuras se pueden imprimir sin soportes,

aunque la calidad de la impresión disminuye con la distancia del hueco 3.9.



Figura 3.9 – Ejemplo puente sin soportes

3.3.2. Esquinas

Una impresora 3D como la ender 3 mueve una boquilla caliente por la que se extruye material, utilizando 3 motores paso a paso, 2 para el plano XY y otro para el eje Z. Para el plano XY un motor controla el movimiento del eje X y el otro del eje Y. Todas las formas se imprimen combinando los movimientos de ambos motores. Una de las limitaciones en este tipo de movimientos son los cambios bruscos de dirección, dejar de mover un motor de golpe es imposible por la inercia de la boquilla, por lo que piezas como las esquinas a 90° no tienen un buen acabado impresas en 3D. Esto tiene fácil solución si evitamos cambios bruscos de dirección y redondeamos las aristas de las piezas.

Todas las piezas empleadas en este proyecto se han diseñado teniendo en cuenta las limitaciones anteriores y no necesitan la utilización de soportes.

4 NORMAS Y REFERENCIAS

4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Normativa establecida por la Escuela Universitaria Politécnica para la elaboración de los Trabajos de Fin de Grado (TFG) en las titulaciones de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

4.2. Bibliografía

- [1] AL-HADITHI, B.M.; *Análisis y Diseño de Sistemas Discretos de Control. Teoría y Problemas Resueltos*, 1ª Edición, Madrid, Vision Net, (2006).
- [2] CALVO ROLLE, J.L.; *Ajuste empírico de reguladores PID*.
- [3] CASTELEIRO ROCA, J.L.; *Scripts de comunicación de la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6008 en Matlab*.
- [4] GOLPE MANTIÑÁN, S.; *Diseño de una miniplanta de control de bajo coste*.
- [5] CHARRAS, J.P.; *Kicad Reference Manual*.

4.3. Software empleado

Una disposición de los programas empleados en el desarrollo del proyecto

4.3.1. Software diseño gráfico, diseño 3D e impresión 3D

- Fusion 360
- Cura 4.8.0
- Autocad 2021
- Diagrams.net

4.3.2. Software de diseño y simulación de circuitos electrónicos

- Orcad Capture CIS 16.6
- Kicad 5.1.9

4.3.3. Software de programación

- Matlab R2020B
- Arduino IDE 1.8.10

4.3.4. Software cálculo

- Matlab R2020B
- Microsoft Office Professional Plus 2016 : Excel

4.3.5. Software edición de texto

- Overleaf(Latex)

4.4. Otras referencias

- [6] *Evolución Histórica de los sistemas de control*. Ramón Piedrafita Moreno. [Consulta 20 mayo 2021]. Disponible en: <http://automata.cps.unizar.es/regulacionautomatica/historia.PDF>
- [7] *Printer Tolerance Test*. A_Str8. [Consulta 20 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.thingiverse.com/thing:2006297>
- [8] *Transición Vítrea*. Wikimedia Foundation, Inc. 2001. [Consulta 20 mayo 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Transici%C3%B3n_V%C3%ADtrea
- [9] *Tratamientos químicos de piezas impresas en 3D*. Dima 3D printers. [Consulta 15 junio 2021]. Disponible en: <http://www.dima3d.com/tratamientos-superficiales-post-impresion-iii-tratamientos-quimicos-i/>
- [10] *Sensor VL6180X*. Pololu. [Consulta 15 junio 2021]. Disponible en: <https://www.pololu.com/product/2489>
- [11] *Corriente admisible a través de un conductor* Wiki en Internet. Wikimedia Foundation, Inc. 2001. [Consulta 15 junio 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_m%C3%A1xima
- [12] *Fallos del sensor HC-SR04 alimentados a 3.3*. Raspberrypi Founs. [Consulta 15 junio 2021]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?p=183386#p183386>
- [13] *Resistencias SMD*. Wiki en Internet. Wikimedia Foundation, Inc. 2001. [Consulta 15 junio 2021]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:330_ohm_1%25_SMD_0603_resistor_1.jpg
- [14] *Datasheet diodo 2N7002K*. Mouser electronics [Consulta 15 junio 2021]. Disponible en: <https://www.mouser.es/datasheet/2/115/ds30896-1592010.pdf>
- [15] *Librería VL6180X adafruit*. Adafruit Industries [Consulta 15 junio 2021]. Disponible en: https://github.com/adafruit/Adafruit_VL6180X

[16] *Capacidades técnicas JLCPCB*. JLCPCB [Consulta 15 junio 2021]. Disponible en: <https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities>

5 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- A: Amperios
- ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene
- AC: Altern Current (Corriente Alterna)
- ADC: Analog to digital converter
- BLE: Bluetooth Low energy
- CAD: Computer-Aided-Design
- CAM: Computer-Aided-Manufacturing
- cm: Centímetros
- CNC: Computer Numerical Control
- DAC: Digital to Analog Converter
- DC: Direct Current (Corriente Continua)
- FDM: Fused Deposition Modeling
- h: Horas
- I2C: Inter-Integrated Circuit
- L: Litros.
- m: Metros
- mA: Miliamperios
- min: Minutos
- mm: Milímetros
- MOSFET: Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor
- MQTT: Message Queue Telemetry Transpor

- NA: Normalmente Abierto
- NC: Normalmente Cerrado
- PC: Personal computer
- PCB: Printed Circuit Board
- PID: Proporcional-Integral-Derivativo
- PLA: Poli-lactic acid
- PVC: Polyvinyl chloride
- PWM: Pulse width modulation
- RPM: Revolutions per minute
- Tof: Time of flight
- UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
- USB: Universal Serial Bus
- VDC: Voltios en tensión continua
- W: Watos

6 REQUISITOS DE DISEÑO

Éstos condicionarán el diseño y el funcionamiento de la planta. Serán la guía para la elección de los componentes. Dividiremos los requisitos de diseño según su naturaleza:

6.1. Requisitos económicos

Uno de los parámetros que condiciona todo el diseño y la elección de componentes es el coste. Partimos de un presupuesto para la fabricación de unos 100€ por planta terminada, sin tener en cuenta el coste de los programas utilizados ni el tiempo empleado en el desarrollo. Con un presupuesto tan limitado, y más aún si lo comparamos con las plantas de las que ya disponemos, tendremos que realizar algunas concesiones para encontrar un balance óptimo entre coste y resultados.

6.2. Requisitos estructurales

Es necesario que la estructura sea lo más modular posible, con el mínimo de piezas impresas en 3D y permitiendo crear estructuras complejas con pocas modificaciones al diseño original. Esto lo conseguimos utilizando un sistema de paneles y soportes estructurales para crear los depósitos y un sistema macho-hembra para conectar los depósitos con el resto de la planta.

La estructura debe ser lo suficientemente rígida como para soportar el peso de la totalidad del agua cuando esta esté en el depósito superior y debe poder ser atornillado a una superficie de trabajo. En el caso de querer conectar varios depósitos o plantas, se utilizarán conectores rápidos que permitan modificar el conexionado sin modificar la estructura de la planta.

El montaje ha de ser lo más sencillo posible, con unas tolerancias de fabricación lo suficientemente laxas como para poder montarlo en poco tiempo y sin necesidad de herramientas especializadas.

6.2.1. Dimensiones

Se requiere un volumen de aproximadamente 4 L, pero los depósitos tendrán más capacidad para evitar desbordamientos. En cuanto al tiempo de vaciado, este se podrá variar utilizando distintos diámetros de desagüe, fácilmente intercambiables entre ellos.

Se limitará el tamaño en altura a un máximo de 1 metro, para evitar que la planta pierda estabilidad.

6.2.2. Tolerancias

Como todos los sistemas de fabricación, las impresoras 3D (y más aún las de gama baja) están sujetas a unas tolerancias. Todas las piezas impresas que encajen entre sí están di-

señadas con una tolerancia de 0.3mm. Para comprobar la tolerancia de la máquina recurrimos a un test[7] que imprime una pieza de un tamaño nominal y unos agujeros con tolerancias. Si se quiere montar esta planta, con cumplir hasta el de 0.3, nos aseguramos de que el montaje será posible.

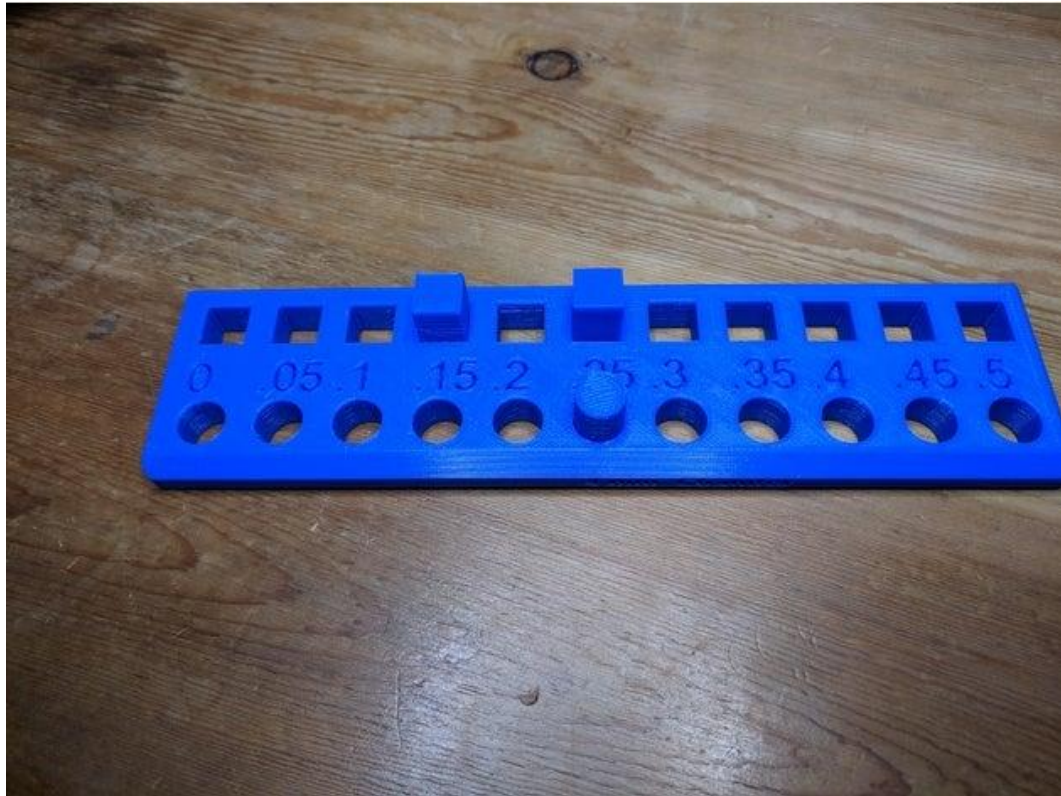


Figura 6.1 – Test de tolerancias dimensionales

6.2.3. Materiales

La variedad de materiales para impresión 3D ha aumentado considerablemente con los años y donde antes solo había ABS y PLA, ahora hay composites de fibra de carbono y filamentos conductores. Pero no todos los materiales se comportan de la misma manera. El filamento más empleado es el PLA, pero tiene dos handicaps: no soporta temperaturas altas y no debe estar en contacto con agua. La temperatura de transición cristalina del PLA está sobre 60-65°C [8], a partir de esta temperatura, el material se vuelve blando y pierde su forma y resistencia. Este no es un parámetro crítico en nuestro diseño ya que no trabajaremos con esas temperaturas. Si el PLA está en contacto con el agua, su temperatura de transición cristalina disminuye y pierde su resistencia. Ésto no significa que las piezas impresas en PLA no puedan estar en contacto con el agua, si no que se pueden utilizar siempre que no sean piezas sometidas a esfuerzos.

6.3. Comunicaciones

La comunicación con las plantas se realizará cableada para simplificar la conexión. Además, se emplearán las funciones de comunicación que se utilizan en la escuela para plantas en las asignaturas de control, escribiendo un firmware compatible. Para aumentar la flexibilidad de la planta, las placas controladoras dispondrán de conexión a internet, que en un futuro permitirá implementar tecnologías inalámbricas como MQTT o MODBUS.

7 ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

En este capítulo mostraremos, ordenados en función de su naturaleza, las soluciones que hemos planteado a lo largo del desarrollo de este proyecto para cumplir con los requisitos de diseño y que evolucionaron hasta formar el modelo final de la planta. Dividiremos la información en los siguientes módulos:

- Diseño de las piezas 3D
- Material eléctrico
- Diseño de la tarjeta de adquisición de datos DAQ
- Material fontanería
- Programación del software de control de la planta

7.1. Diseño 3D

7.1.1. Materiales

Como se vio anteriormente, no todos los materiales pueden estar en contacto con el agua. En impresión 3D, los materiales más empleados son el PLA y el ABS y por ello son los que hemos planteado utilizar.

A primera vista, el ABS sería el material perfecto para utilizar, ya que no se degrada al estar en contacto con el agua. Imprimir en ABS es complicado: es necesario utilizar una cama caliente y un ambiente cerrado ya que es propenso a deformarse por los gradientes de temperatura. El otro gran problema de emplear ABS es la toxicidad de los gases de impresión, por lo que debería estar en ambientes muy bien ventilados.

La otra opción, PLA, se puede imprimir sin cama caliente y no es propenso a deformarse durante la impresión, sin embargo, su uso estructural en contacto con el agua no está recomendado. Por ese motivo, no utilizaremos el PLA para formar los depósitos, si no como estructura externa y piezas que no estarán sometidas a esfuerzos. Por su resistencia al agua y su bajo precio, se utilizarán paneles de policarbonato para retener el agua, tuberías de PVC para el transporte del agua y codos y conectores de PVC y latón para las conexiones.

7.1.2. Diseños

Para el diseño de las piezas 3D que servirán de estructura se empleó PLA en distintos diseños, de forma que permitiese tener una estructura sólida, de impresión rápida y con la menor cantidad posible de piezas.

La planta se dividirá en 3 partes, 2 depósitos cúbicos que contendrán el agua y un tercer compartimento en el que se colocarán los componentes eléctricos.

Para la estructura de los depósitos se pensó en utilizar una base impresa que permitiese unir los paneles de metacrilato como se ve en la Figura 7.1 y reforzarlos en la parte superior con una estructura similar.

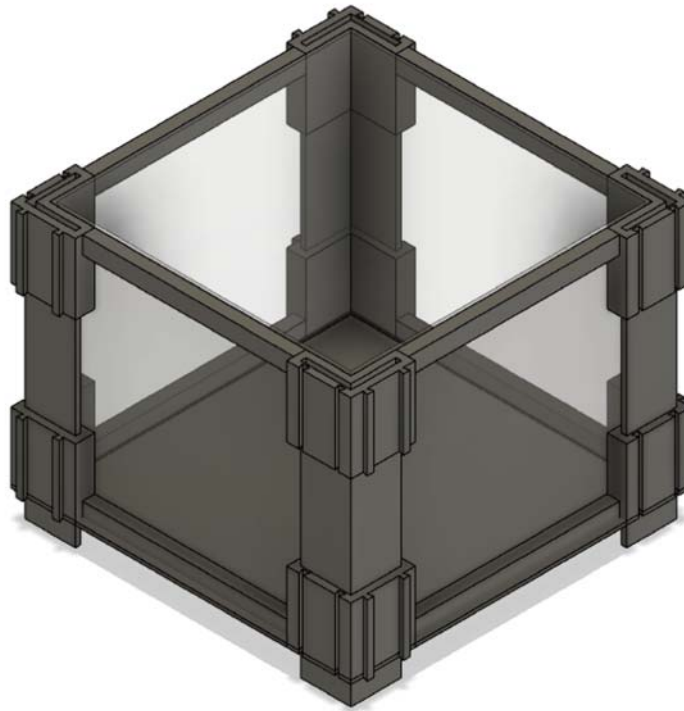


Figura 7.1 – Primera versión del depósito

Con este sistema podríamos conectar varios depósitos en horizontal con un sistema de cola de milano y depósitos superiores con unos elevadores (Figura 7.2). El problema de éste es que la base estaba impresa en 3D y requeriría un tratamiento para evitar fugas. Además, para conseguir un buen amarre entre piezas se necesitaba una impresora muy bien calibrada. El tamaño quedaba limitado a la superficie de impresión de nuestra impresora 3D.

Para la segunda versión, en la Figura 7.3, se eliminaron los soportes horizontales, ya que el metacrilato de 4mm tenía una rigidez suficiente, pero se mantuvo el sistema de conexión vertical, utilizando un sistema basado en esquinales para proporcionar las uniones tanto dentro del depósito como entre depósitos. No solo se reduce el material y el tiempo de impresión de forma considerable, también se consigue no depender de las dimensiones de la impresora para hacer depósitos más grandes, pudiendo cambiar el tamaño de los paneles de policarbonato (y con ellos el volumen) sin modificar las piezas que conforman la estructura.

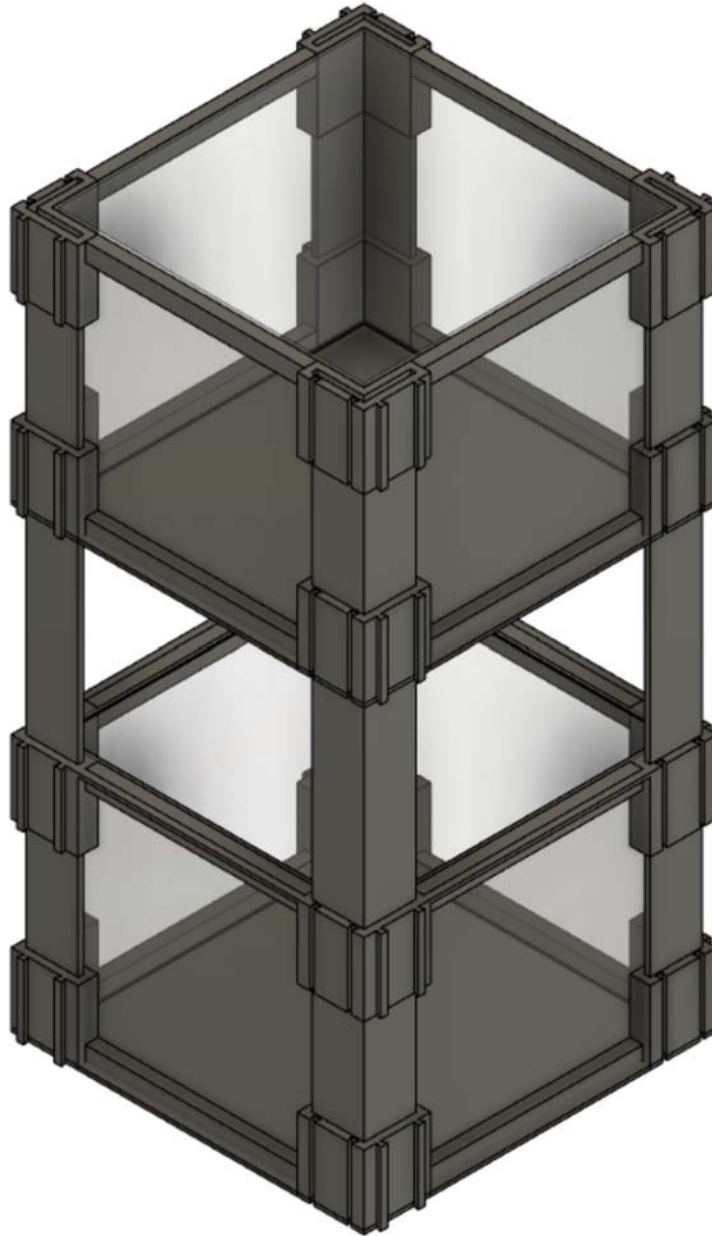


Figura 7.2 – Primera versión del depósito

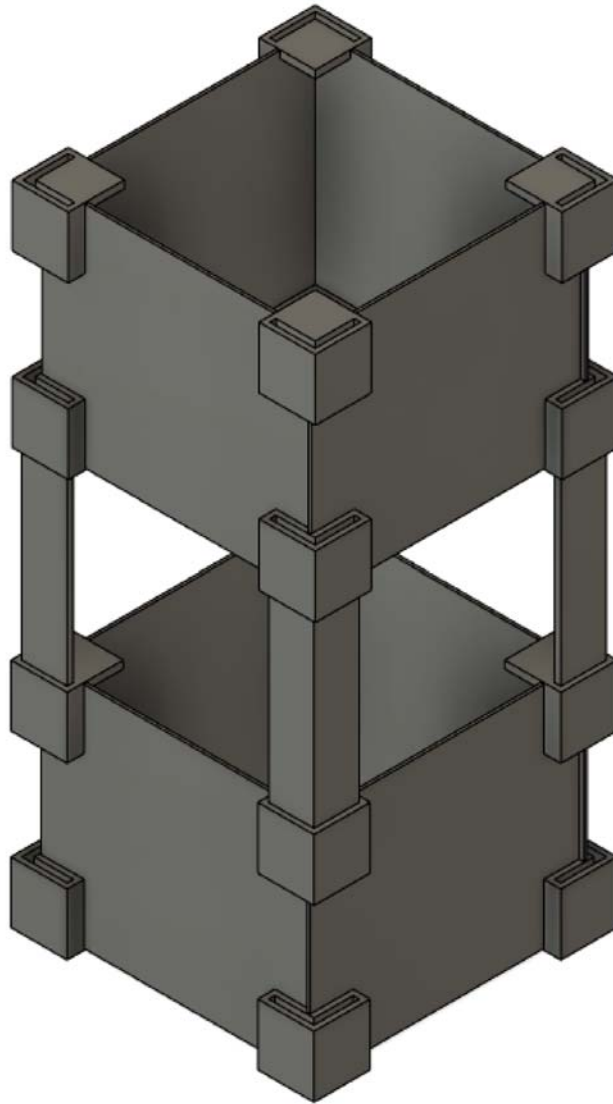


Figura 7.3 – Segunda versión de los depósitos

En la siguiente versión se modificaron las esquinas de la Figura 7.4, incluyendo unas muescas que permiten encajar los paneles, haciendo el montaje más sencillo y mejorando la rigidez del depósito.

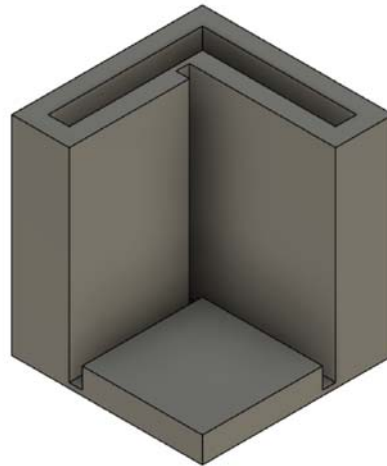


Figura 7.4 – Esquinas unión

En la versión final, se redondearon las esquinas y se aumentaron las muescas para que sea más sencillo de imprimir (Figura 7.5).

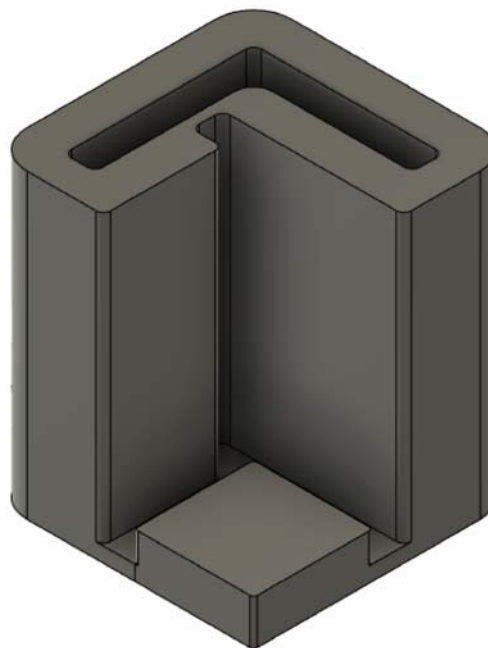


Figura 7.5 – Esquinas unión

El tercer elemento de la planta hace de soporte para la bomba y la electrónica. En un primer momento se decidió hacer una caja separada para la electrónica y colocar la bomba en un soporte externo, pero por el tipo de bomba empleada ésta tiene que estar cebada en el momento de funcionar, lo que significa que tiene que estar por debajo del nivel del agua.

Colocamos el motor debajo del depósito, quedando sitio para la electrónica.

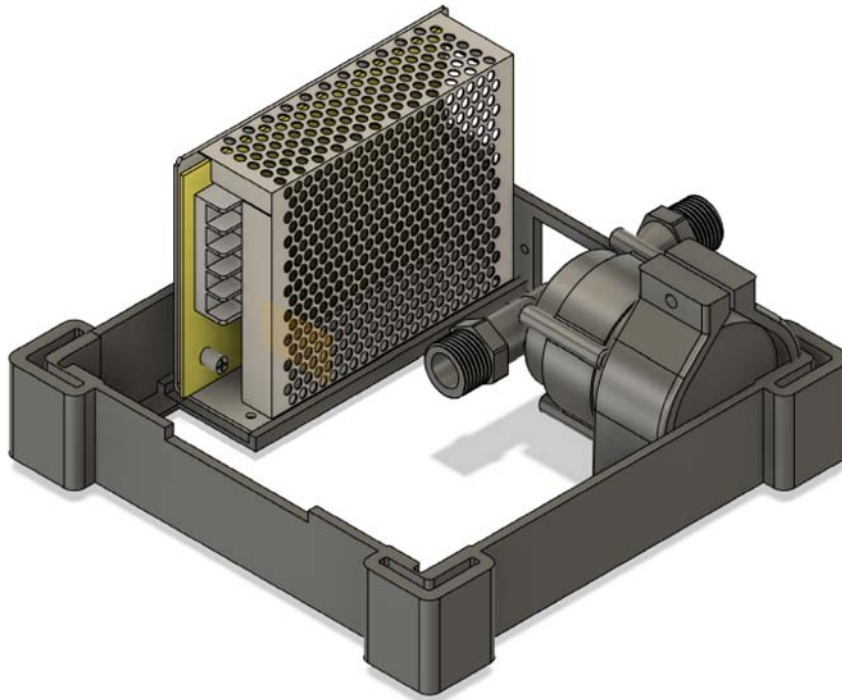


Figura 7.6 – Base y soporte

Queda así una visión general del sistema modular de la planta, que desarrollaremos en el apartado Resultados Finales [8.1](#)

7.1.3. Unión entre paneles

Para unir los paneles se estudiaron distintas propuestas, teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales a la hora de escoger un adhesivo: resistencia al agua y materiales a adherir. En nuestro caso es vital que resista al agua sin degradarse y en cuanto a los materiales que unirá, son policarbonato y PLA.

Con esto en mente el primer adhesivo que se contempló fue uno de tipo disolvente, que fundiría las piezas entre sí, formando una soldadura plástica y creando una pieza estanca. Un adhesivo que funciona muy bien con el PLA y algunos acrilatos es el cloroformo [9], pero por motivos de seguridad fue descartado.

La siguiente opción fue crear una mezcla de acetona y los restos del corte del policarbonato, creando un cemento de policarbonato. Este funciona de forma similar al cloroformo, pero no es capaz de pegar PLA.

Cambiando el tipo de pegamento, utilizamos silicona especial para acuarios, que proporcionaba estanqueidad al conjunto y se adhería al PLA y al policarbonato. El problema de esta solución y el motivo por el que la descartamos, fue la falta de rigidez del conjunto. Al ser una silicona flexible, con el peso del agua, se deformaba y fugaba agua.

Y por último, abandonando tanto disolventes como siliconas, empleamos un cemento acríli-

co a base de cianocrilato, que aporta rigidez y sella los depósitos. En caso de que aún después de aplicar este pegamento siguiese habiendo fugas, se podría añadir un cordón de silicona para terminar de sellar el depósito.

7.2. Materiales eléctrico.

- Moto-bomba: Se utilizará una moto-bomba de corriente continua, en la que se pueda controlar la potencia de la forma más sencilla posible y que cumpla las condiciones de llenado propuestas.
- Electroválvula: Se pretende utilizar una electroválvula que nos permita actuar de forma remota sobre el vaciado de la planta.
- Placa de control: Buscaremos una placa de control que nos permita actuar sobre la planta y obtener datos por conexión cableada. Se procurará que dispongan de conexión a internet.
- Sensores: Se buscará un sensor compatible con la placa de control escogida y que nos permita realizar las mediciones correctas sin salir del presupuesto fijado.
- Alimentación: Definiremos los requisitos de alimentación de cada aparato y escogeremos una fuente acorde a ellos.

7.2.1. Moto-bomba

La primera opción que se empleó en la versión anterior de las mini-plantas era una bomba de acuario como la de la Figura 7.7(a). Esta se alimentaba a 12V y no constaba de cableado de control. Para poder ajustar la potencia entregada por la bomba se realizó un control PWM sobre la alimentación de la bomba mediante un amplificador de potencia. Esta solución funcionaba al principio, pero por la circuitería interna de control del propio motor, se apagaba pasado un tiempo.



(a) 1ª versión mini-plantas



(b) Motobomba 24V

Figura 7.7 – Bombas valoradas

La segunda opción y la que se implementó en el diseño final fue la utilización de una bomba de 24v(Figura 7.7(b)) ya que disponía de una entrada de control. Esto permite ajustar la potencia con una señal PWM, una modulación en frecuencia o directamente con una tensión analógica 0-5v.

	Primera opción	Segunda opción
Tensión de alimentación	12 VDC	24VDC
Potencia	20W	55W
Caudal máximo	1100L/h	1320L/h
Elevación máxima	5m	9m
Diámetro admisión	1/2"	1/2"
Controlable	No	Sí

Tabla 7.1 – Parámetros bombas

7.2.2. Electroválvula

Para el accionamiento remoto del depósito se consideraron dos opciones: La primera sería utilizar una electroválvula que se accionaría a 24 VDC frente a los 12 VDC de la versión de Santiago y que sólo tendría dos posiciones: abierto o cerrado. La segunda opción es utilizar una servoválvula, que permitiría controlar el grado de apertura.

Se descartó la segunda opción por su elevado precio así como el elevado tiempo de apertura, aunque se habilitaron salidas en la placa de control para su implementación en el futuro.

7.2.3. Placa de control

Este elemento se encargará de la lectura, acondicionamiento y actuación sobre los elementos de la planta, además de la comunicación con el PC.

Para la elección adecuada de la placa de control, primero debemos saber cuántos pines y de qué tipo necesitamos utilizar para controlar la planta. En la Tabla 7.2 se recogen las entradas y salidas que hemos considerado básicas para el funcionamiento de la planta.

	Nº Pines	Tipo
Sensor (I2C)	2	Bus comunicaciones
Comunicación Uart	2	Comunicación USB
Señal salida motor	1	Salida PWM
Señal tachómetro	1	Entrada PWM
Electroválvula	1	Salida digital
Sensores flotación	2	Entrada digital
Reset	1	Reset

Tabla 7.2 – Señales necesarias para el funcionamiento de la planta

	Arduino Uno	Beaglebone green wireles	Node MCU ESP8266
Alimentación	6-20v	5v	3-12v
Entradas analógicas (ADC)	6	7(1.8V)	1(3.3v)
GPIO	14	65	9
Salidas analógicas	6(PWM)	8(PWM)	8PWM
Nucleos	1	3	1
Comunicaciones (BLE, Internet,)	No	Wifi	Wifi
Precio aproximado	5€	50€	3€

Tabla 7.3 – Placas de control valoradas (1)

	Esp32 Devkit	Raspberry Pi
Alimentación	3.3-12v	5V
Entradas analógicas (ADC)	18(3.3v)	0
GPIO	30	28
Salidas analógicas	16(PWM) 2(DAC)	27(PWM)
Nucleos	2	4
Comunicaciones (BLE, Internet,)	Wifi, BLE, RF	Ethernet,BLE,WIFI
Precio aproximado	4€	35€

Tabla 7.4 – Placas de control valoradas (2)

De las placas valoradas en las tablas 7.3 y 7.4, aunque la Beaglebone y la Raspberry son mucho más potentes que el resto, su precio es demasiado elevado y no serían aprovechadas, ya que la mayoría de los cálculos de la planta no se harán directamente en la placa controladora, no necesitamos tanta potencia. De las restantes, se descartó el Arduino Uno porque no tiene comunicación inalámbrica y por un coste inferior, se dispone de los módulos ESP, que tienen unas mejores prestaciones. Finalmente en la elección entre el ESP32 y el ESP8266 se decidió emplear el primero. Además de disponer la ESP32 de un mayor número de periféricos, la diferencia de precio es solo de un euro, y hará la planta más flexible y ampliable.

7.2.4. Sensores

Para la selección de los sensores, el primer tipo que se consideró fue un sensor de ultrasonidos como los que utilizan las plantas de nivel de la escuela.



Figura 7.8 – Sensor S18UUA

Estos sensores emiten un pulso sónico y esperan a la reflexión en el objeto sobre el que queremos medir la distancia. El sensor S18UUA (Figura 7.8), utilizado en las plantas de la escuela, calcula en función del tiempo entre el pulso y el rebote, la distancia y la transmite como un valor analógico entre 0 y 10V. Estos sensores son muy precisos, pero su precio, superior a los 200€, nos obliga a descartarlos.

Sensores						
Modelo del sensor	S18UUA	HC-SR04	Rysjm 0-190	VL6180X	VL53L0X	VL53L1X
Tipo de sensor	Ultrasonidos	Ultrasonidos	Resistivo	Tof Luz	Tof Luz	Tof Luz
Rango	3-30cm	2-400cm	0-20cm	1-60cm*	3-200cm*	4-400cm*
Conexionado	Analógico	Digital	Analógico	I2C	I2C	I2C
Precio	241€	2€	15€	2€	2.50€	4.50€

Tabla 7.5 – Resumen sensores y sus principales características

* Depende de las condiciones de luminosidad y reflectancia del objeto a medir

Sin embargo, hay opciones más económicas para este tipo de sensores como el que se empleó en la primera versión de las miniplantas. El sensor que se utilizó fue el HC-SR04, muy empleado en robótica y domótica DIY.

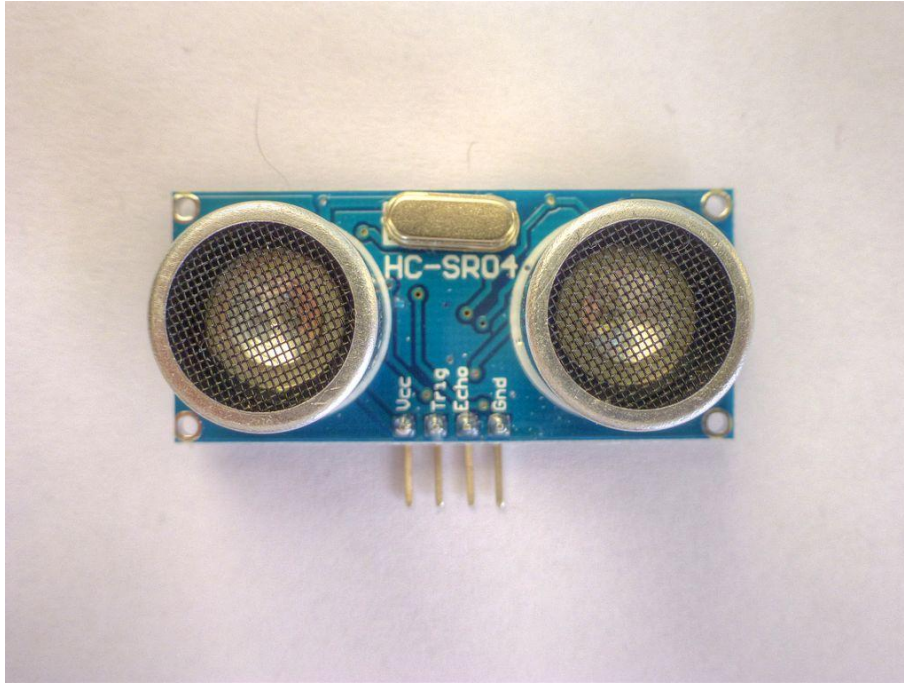


Figura 7.9 – Sensor HC-SR04

El problema que se encontró al utilizar este sensor fue que, aunque éste estaba marcado como para usarlo a 3.3V, dependiendo de la versión del hardware, no funcionaban de forma fiable o, directamente, no comunicaban con el ESP32[12].

El siguiente tipo de sensores que se estudió fue de tipo flotador como el de la Figura 7.10. Estos cuentan con un flotador que sigue el nivel del agua y varía una resistencia. Este tipo de sensores necesitan un acondicionamiento de la señal y circuitería adicional, pero lo que descartó el uso de este sensor fue su precio, que rondaba los 15€.



Figura 7.10 – Sensor flotador

Muy parecido a los sensores de ultrasonidos están los sensores TOF (Time of flight), que se

basan en el mismo principio pulso-eco, pero utilizando un diodo láser. Los principales sensores de bajo coste de este tipo son el VL530X, VL5130X y el VL6180X. Estos sensores se diferencian según las distancias que pueden medir, siendo el VL5130X el que mayor distancia puede medir, llegando hasta los 4 metros. Para nuestra aplicación utilizamos el sensor VL6180X, que tiene un rango asegurado de 0 a 100mm bajo cualquier condición ambiental, pero un rango mayor en ciertas condiciones.



Figura 7.11 – Sensor VL6180X montado en su soporte

Uno de los problemas que tienen estos sensores es la influencia de la luz externa y la cantidad de luz que refleja el objeto que a medir, que pueden afectar a la medida. En nuestro caso para evitar esto, se encapsuló el sensor dentro de un tubo con un flotador, permitiendo así medidas superiores a los 100mm. El fabricante Pololu utiliza este sensor VL6180X en alguno de sus módulos y afirma medidas hasta los 600mm [10].

Estos sensores se comunican por I2C sin necesidad de acondicionamiento externo y funcionan perfectamente a 3.3v.

7.2.5. Alimentación

En base a los componentes previamente mencionados, necesitamos las siguientes alimentaciones:

- 24V: Alimentación bomba y electroválvula.
- 5V: Señal PWM de la bomba.
- 3.3V: Placa de control y sensores.

7.2.5.1. Alimentación 24V

Alimentación		
Tipo	Tipo ladrillo	Fuente led
Tensión entrada	230@50Hz	230@50Hz
Salida	24Vdc	24Vdc
Potencia	120W	120W
Conexionado	Terminal de barril	Conector de tornillo
Precio	13.50€	9.70€

Tabla 7.6 – Resumen fuentes de alimentacion

Para la alimentación de 24V la primera opción fue utilizar una fuente de tipo ladrillo muy utilizadas en ordenadores portátiles. Estas fuentes tienen la ventaja de que solo necesitan un conector para otorgar los 24V y no requieren de cableado extra. El principal problema que encontramos con esta solución fue el precio y el espacio que ocupan.

Al final se ha decidido por una fuente interna, que conectada a la tensión de línea, nos permite obtener una tensión de 24V. El problema de esta fuente es que necesita de cableado externo y conectores. Para el cálculo de la potencia necesaria se utilizaron los consumos de la Tabla 11.2, escogiendo finalmente una potencia de 120W para permitir la expansión de la planta y no trabajar con la fuente a su máxima potencia, lo que permitirá que trabaje a menor temperatura y durante más tiempo.

7.2.5.2. Alimentación de 5V y 3.3V

Al utilizar una única fuente de 24v, necesitamos alguna forma de reducir esta tensión a 5v. En el caso de la placa de control, el fabricante recomienda una fuente capaz de proporcionar, como mínimo, 500mA. Para solucionar esto se estudiaron dos opciones: La primera de ellas la utilización de un regulador lineal como el 7805 y la segunda es un módulo de regulador conmutado. Podemos ver sus características principales en la Tabla 7.7

Alimentación		
Tipo	Regulador lineal 7805	Modulo buck
Tensión entrada máxima	35Vdc	24Vdc
Salida	5V	1.8-12Vdc
Corriente máxima	1A	3A
Disipación	Necesaria	No necesaria
Precio	0.5€	0.498€

Tabla 7.7 – Conversores 24V a 5V

Descartamos la opción del regulador lineal ya que este tendría que disipar 9.5W de potencia, por lo que necesitaría algún tipo de disipación activa, mientras que el regulador conmutado se mantuvo muy por debajo de su temperatura máxima aún trabajando al doble de la corriente necesaria. Aún así, el regulador lineal es compatible pin a pin con el conmutado, por lo que se podrían cambiar si fuese necesario.

Finalmente para obtener la alimentación de 3.3V que necesita la placa de control utilizaremos el regulador lineal que ya viene incluido en la placa y que soporta la corriente demandada.

7.3. Material fontanería

- Depósitos: Los depósitos serán lo más sencillos posibles, modulares y de fácil fabricación, cumpliendo con los requisitos de volumen vistos previamente.
- Conexionados: Para el conexionado y la circulación del agua emplearemos una tubería de un diámetro suficiente acorde a las especificaciones de la bomba y que permita el montaje de la forma más sencilla posible.

7.3.1. Depósitos

En la versión de la escuela, las plantas están hechas de acero inoxidable y tienen un ventana de cristal para ver el interior. Esta opción es la más rígida, pero también la más cara y difícil de replicar. En la versión anterior de las mini-plantas se imprimían los depósitos y se les añadía una ventana de policarbonato para ver el nivel. Este sistema trae consigo una serie de problemas: al tratarse de un material poroso, era necesario tratar el depósito con algún tipo de aislante (pintura esmalte). El otro inconveniente era el tiempo de impresión y cantidad de material empleado.

Estructuras		
Planta	Escuela	Mini-plantas
Estructura	Metálica	Impresa en 3D
Ventajas	-Máxima rigidez	-Facilidad de montaje -Bajo coste
Inconvenientes	-Precio muy elevado -Difícil de modificar	Necesita post-tratamiento para evitar fugas -Elevado tiempo de impresión

Tabla 7.8 – Estructuras valoradas (1)

Estructuras		
Planta	Paneles de 2mm	Paneles de 4mm
Estructura	Impresa en 3D y paneles de PC	Impresa en 3D y paneles de PC
Ventajas	-No necesita post-tratamiento -Fácilmente modificable	-No necesita post tratamiento -Rigidez -Bajo coste
Inconvenientes	-Bajo tiempo de impresión -Poca rigidez	-Bajo tiempo de impresión -Mayor precio que las de 2 mm

Tabla 7.9 – Estructuras valoradas (2)

Para mantener el agua alejada de las piezas impresas y evitar el tener que tratarlas con aislantes, decidimos utilizar planchas de policarbonato y con ellas realizamos el primer prototipo, que utilizaba planchas de policarbonato de 2.5mm y las unía con silicona para evitar fugas. Aunque esta opción parecía viable al principio, al ser este material flexible, y con el peso del agua, acababa deformando el material y permitiendo fugas. Solucionamos este problema utilizando planchas más gruesas de policarbonato (4mm) y un cemento acrílico, que permitían una estructura mucho más sólida y sin fugas.

7.3.2. Conexionado

Tuberías			
Material	Acero inoxidable	Tubos PVC	Tubería flexible
Ventajas	-Máxima rigidez	-Rigidez	-Bajo precio
Inconvenientes	-Precio muy elevado. -Difícil de modificar	-Utilización de pegamentos especiales -Difícil de modificar	-Facilidad de modificación -Poca rigidez

Tabla 7.10 – Opciones de conexionado

Las plantas de nivel de la escuela emplean tuberías de acero inoxidable, que proporcionan una gran rigidez al conjunto. Los problemas de este tipo de conexionado son su elevado precio y la dificultad para realizar modificaciones. Una opción similar sería utilizar tuberías rígidas

de PVC y unir las utilizando un pegamento. Esta opción sería más barata que la anterior, pero sigue sufriendo el problema de lo difícil que sería modificar el diseño. Finalmente nos decidimos por tubería flexible de 20mm y conectores arponados o roscados, que nos permitirán modificar la estructura sin gastar mucho dinero.

7.4. Acondicionamiento de señales

Al utilizar el ESP32, tenemos que acondicionar varias señales: la primera de ellas y la más importante, convertir la señal de control generada por el ESP32 en una señal que aceptase el motor. Para esto primero se pensó en utilizar la salida analógica del ESP32 y un amplificador con ganancia. Esta opción funcionaba correctamente, pero ya que sólo se dispone de dos conexiones para el conversor digital-analógico, decidimos emplear la señal PWM, cuyo acondicionamiento (Figura 7.12) solo necesita un transistor y dos resistencias: una de pull-down y otra de pull-up.

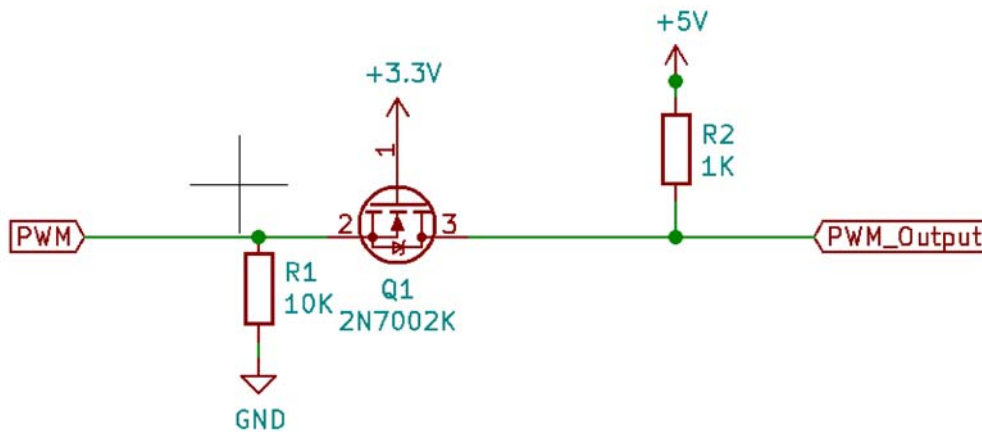


Figura 7.12 – Circuito acondicionamiento motor

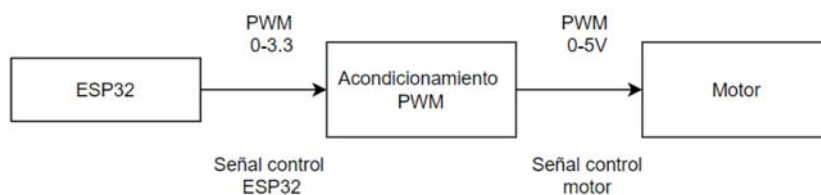


Figura 7.13 – Esquema acondicionamiento del motor

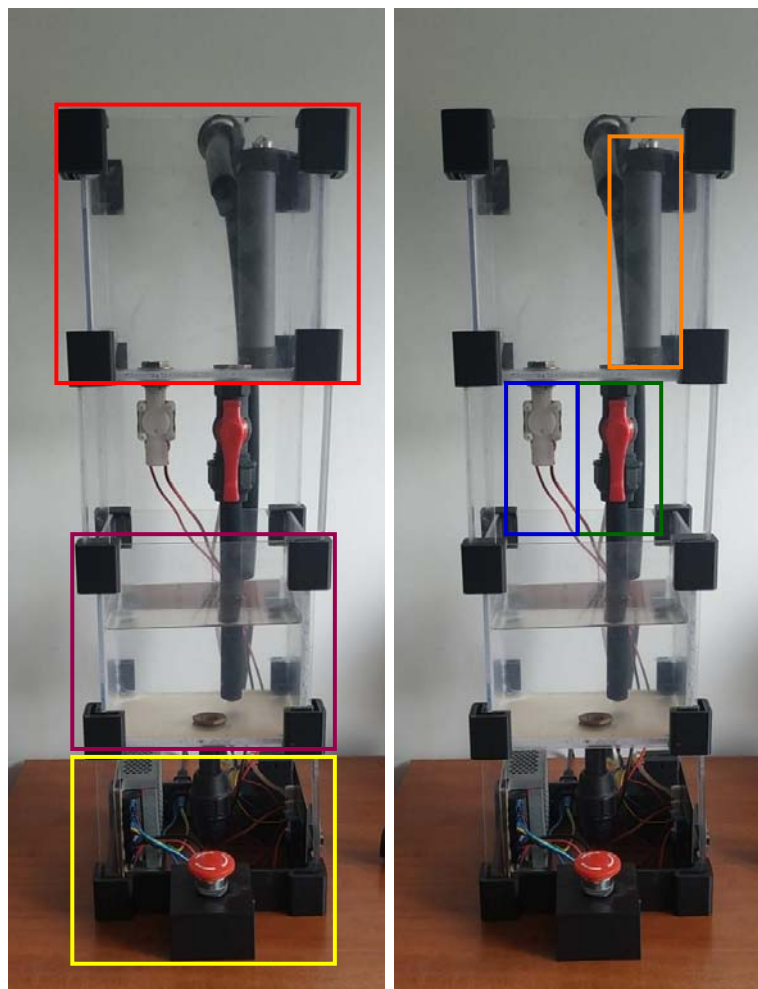
El resto de los componentes que necesitaron algún tipo de acondicionamiento se implementaron directamente dada su sencillez y se verán en el apartado 8.3.2

7.5. Programación Firmware

Para realizar el conexionado de la planta y cumplir los requisitos de las comunicaciones se utilizó el protocolo UART. Con esta opción, dejamos libre la parte de conexionado inalámbrico para la ampliación de la planta en un futuro, por ejemplo, por MQTT o Modbus.

8 RESULTADOS FINALES

Como las plantas de la escuela y las mini-plantas de Santiago, la estructura se divide en 3 partes. En la Figura 8.1(a) podemos ver las partes que la forman: El depósito inferior(morado) almacenará el agua y alimentará a la bomba, que elevará el agua al depósito superior (rojo). En la base de la estructura se encuentra el depósito eléctrico, en el que se almacenan las fuentes de alimentación, la placa de control y la motobomba.



(a) Partes generales de la planta

(b) Elementos de la planta

Figura 8.1 – Montaje final

En la subFigura 8.1(b), para controlar el flujo de agua, se utiliza una válvula manual(verde) y una electroválvula (azul). Para realizar la medición del nivel, se utiliza un sensor encapsulado (naranja) en un tubo de PVC para tener una medida más fiable.

Para terminar este primer acercamiento a la estructura de la planta, en la Figura 8.2 se puede ver la PCB ya montada, a la que se conectará un cable micro-usb para el control de la planta.



Figura 8.2 – Lateral y conexionado

8.1. Diseño

8.1.1. Modelo final escogido

En la Figura 8.1 puede verse una representación en 3D de la estructura final diseñada. [8.3](#)

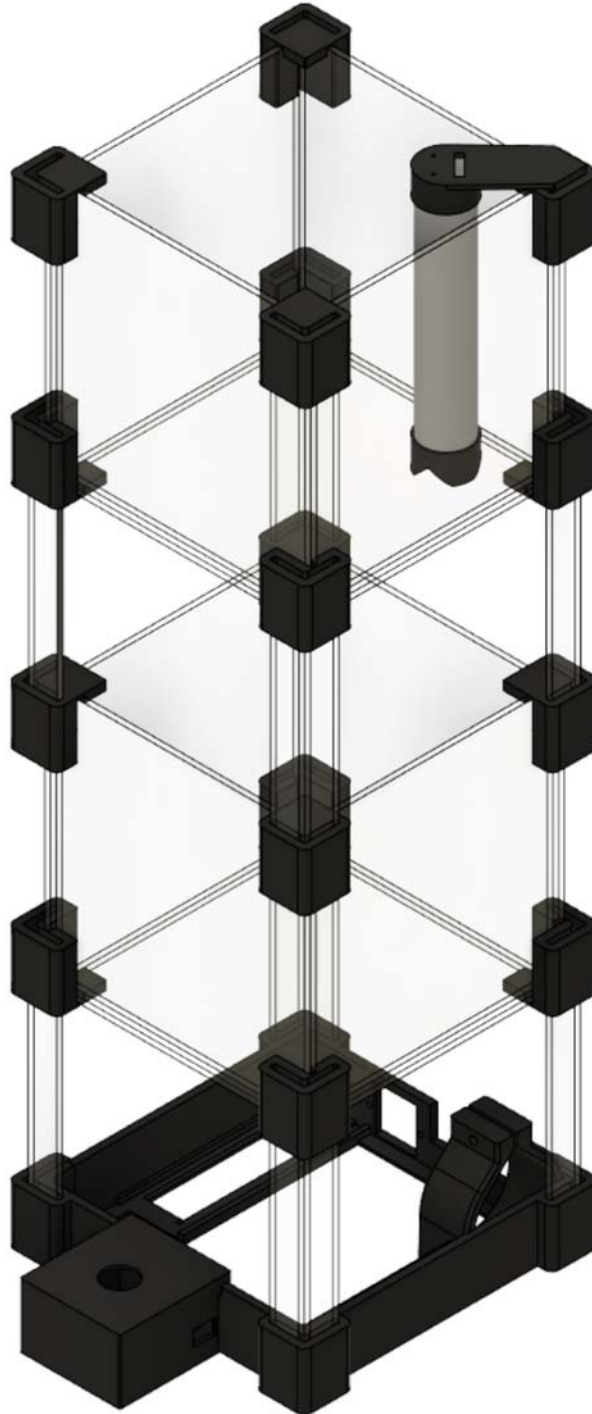


Figura 8.3 – Modelo 3D

8.1.1.1. Depósitos agua

Estos cubos estarán formados por planchas de policarbonato de 4mm y unas esquinas impresas en PLA para aportar rigidez estructural como se ve en la Figura 8.4. Para mayor detalle sobre las dimensiones del depósito y las piezas que lo forman, están disponibles en los planos 3 y 4 respectivamente.

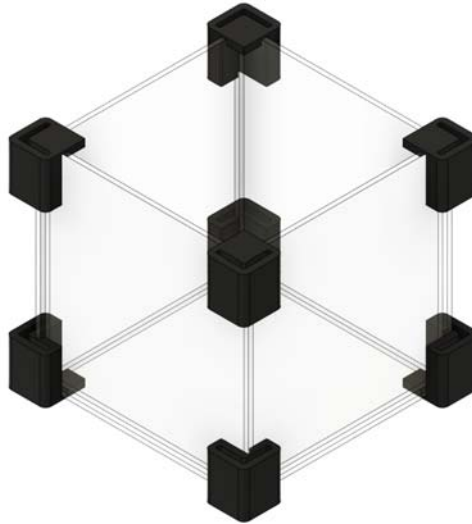


Figura 8.4 – Depósitos de agua

Para aportar más rigidez al conjunto, las planchas de policarbonato no forman un cubo perfecto, si no que tienen forma de aspa 8.5.

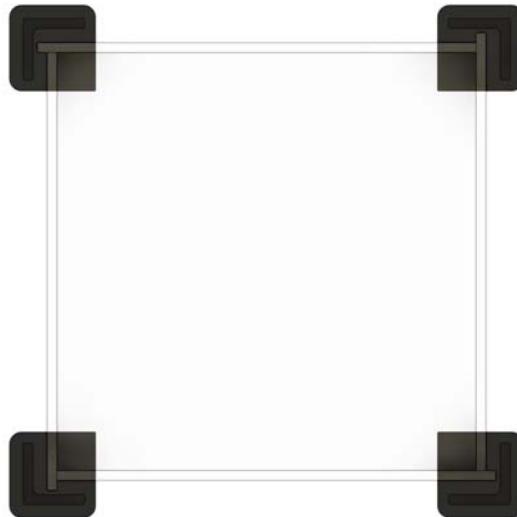


Figura 8.5 – Unión paneles policarbonato

Con esta forma, se consiguen dos cosas: La primera es que facilita el montaje, ya que no se tendrá que ajustar perfectamente en las esquinas. La segunda ventaja es que se podrá aplicar el cemento plástico en dos uniones como se ve en la Figura 8.6.

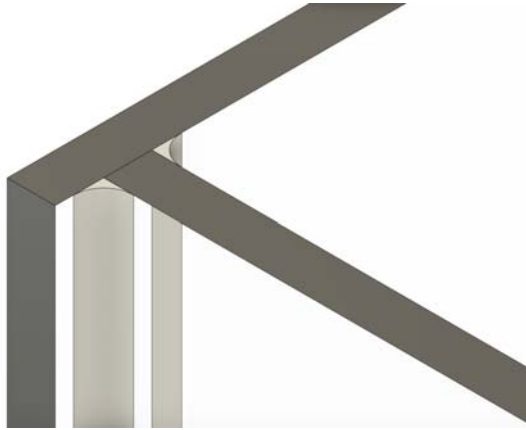
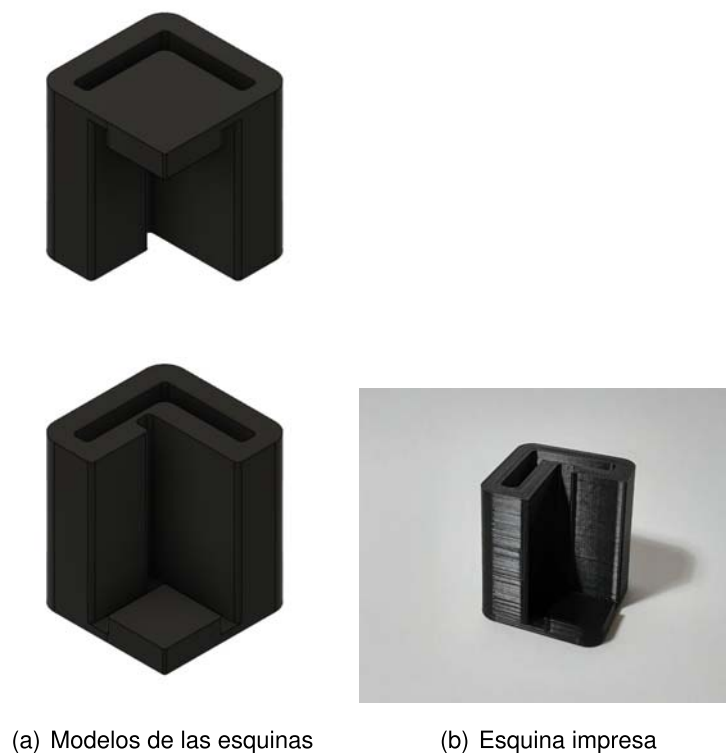


Figura 8.6 – Detalle de la aplicación del cemento plástico

Para aguantar el peso del depósito, se diseñaron e imprimieron unas esquinas que darán forma al conjunto del depósito (Figura 8.7). Cada depósito estará formado por 4 esquinas inferiores y 4 esquinas superiores, que no son intercambiables entre sí.



(a) Modelos de las esquinas

(b) Esquina impresa

Figura 8.7 – Modelos de las esquinas

La otra función es la unión de los depósitos al resto de la estructura de la planta y a los otros depósitos como se puede ver en la Figura 8.8. Estas uniones tienen una profundidad de 15mm. Todas las dimensiones de éstas están disponibles en los planos 5 y 6.

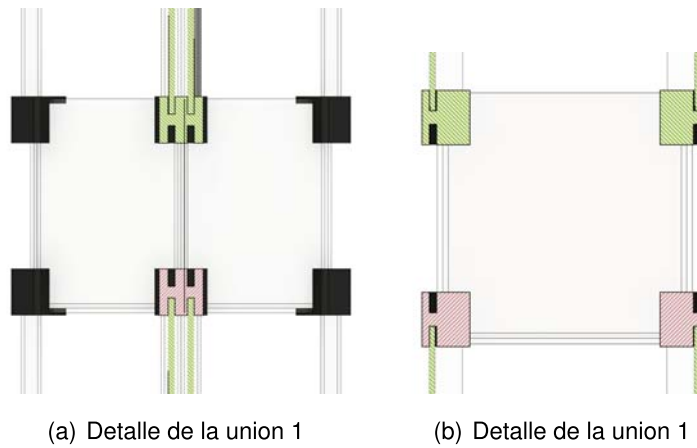


Figura 8.8 – Uniones entre elementos de la planta

Con el modelo actual, podemos imprimir 25 esquinas (incluso más ajustando mejor los márgenes) de una sola tirada, el equivalente a 3 depósitos completos. Aunque esto lleva más tiempo que imprimir las piezas de una en una, es mucho más cómodo ya que podemos dejar la impresora imprimir sola.

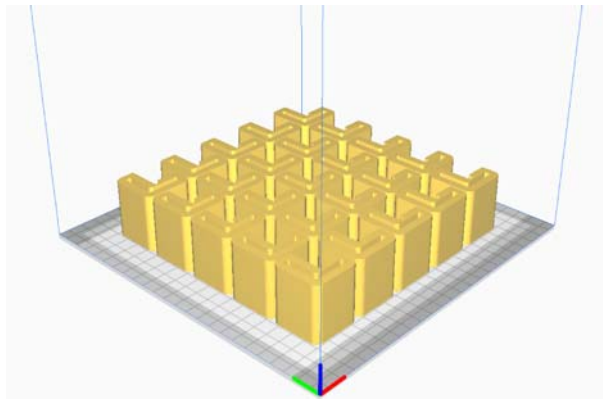


Figura 8.9 – Área impresión Ender 3: 25 esquinas

Para alcanzar los 5 litros de capacidad, se utiliza un volumen interno de 170x170x170mm. Se fijó una base de 170x170mm, pero los paneles laterales tienen un tamaño distinto para poder encajar en las muescas anteriores. Añadimos 4mm horizontalmente para encajar en la muesca.

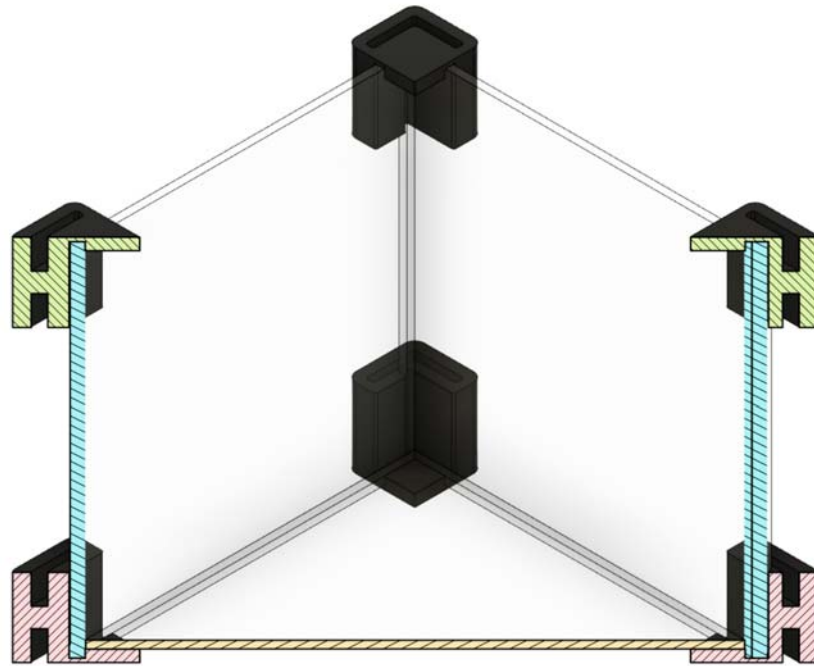


Figura 8.10 – Sección de un depósito

En la Figura 8.10 vemos la sección del depósito, en la que se ven las muescas para la conexión del policarbonato y los agujeros para la conexión entre depósitos. En la Figura 8.11 vemos en detalle la unión entre la base, un lateral y la esquina.

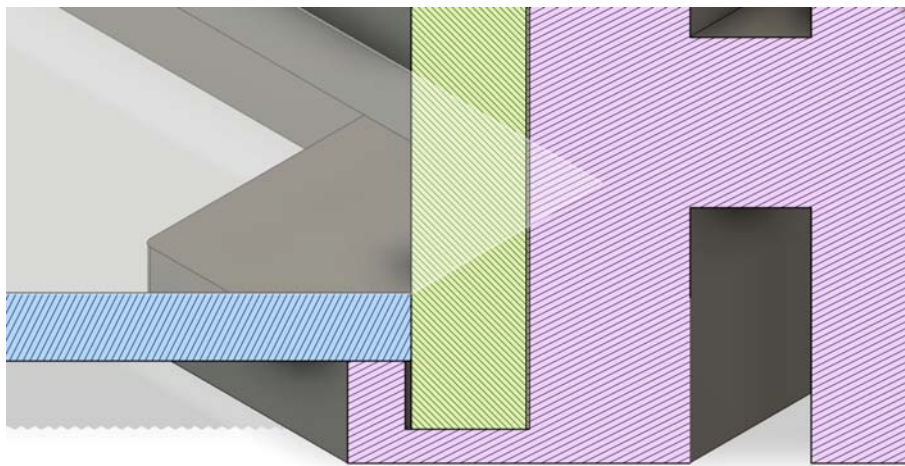


Figura 8.11 – Detalle de la unión

Las dimensiones finales de los paneles de policarbonato están disponibles en los planos 7 y 8.

No se incluyen en el modelo 3D los cortes en las bases para los depósitos, que se ajustarán

y cortarán manualmente.

8.1.1.2. Elevadores de policarbonato

Para separar los depósitos entre sí y separarlos de la base, se utilizaron unos elevadores de policarbonato. Estos serán rectángulos de 150x20mm. Si tenemos en cuenta la profundidad de las conexiones en las esquinas(15mm), la distancia entre depósitos será de 120mm



Figura 8.12 – Elevador

La ventaja de utilizar estos sistemas de conexión es que no estamos limitados a un tamaño concreto, pudiendo cambiar las dimensiones del depósito cortando planchas de metacrilato más grandes sin tener que modificar las piezas impresas que lo forman. Además la estructura final es robusta, fácil de montar y de imprimir.

Las dimensiones finales están disponibles en el plano 9.

8.1.1.3. Soporte inferior para componentes eléctricos

Como vimos anteriormente, la motobomba y la electrónica se colocaron debajo del depósito inferior (Figura 8.13). Para poder colocar todas estas piezas y asegurarlas en su posición se diseñó la pieza 8.14, que se divide en las siguientes partes.

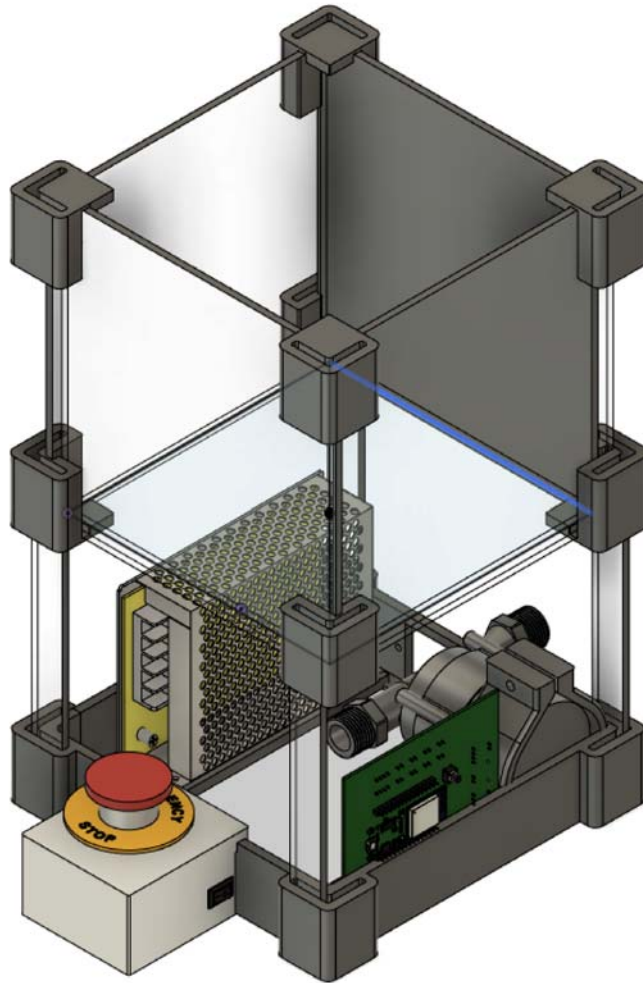


Figura 8.13 – Depósito inferior y Base

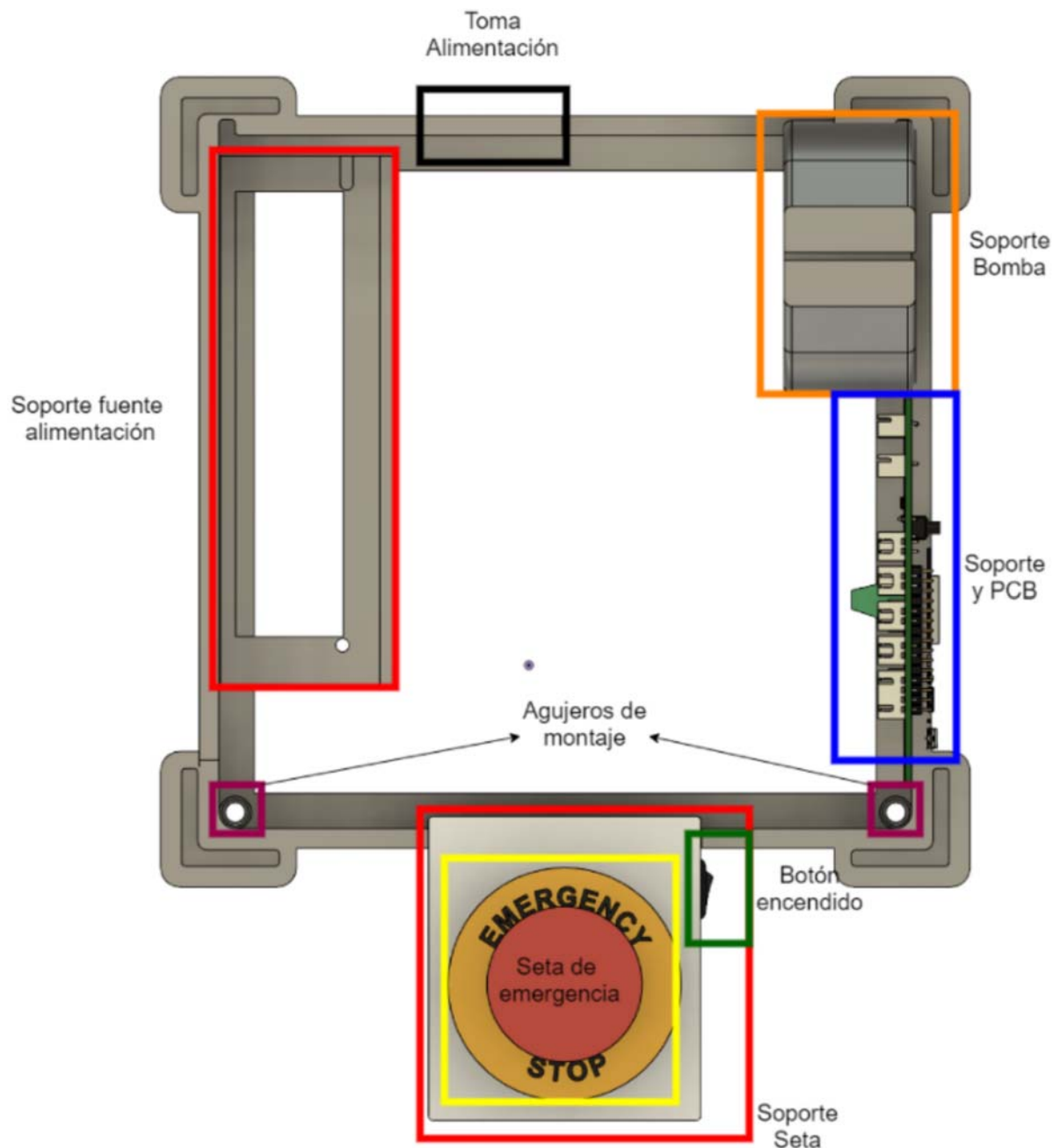


Figura 8.14 – Divisiones soporte inferior de los componentes eléctricos

La base está dividida en 2 piezas: Un soporte para la seta de emergencia y el botón de encendido, y el resto de los soportes. La caja frontal será útil para tener accesible la seta de emergencia, un elemento vital para la seguridad, y para tener accesible el botón de encendido. Al colocarlo en un compartimento a parte, será más fácil golpear la seta sin que esto pueda afectar a la estructura general. Esta pieza se unirá al resto de la planta utilizando una ranura en la base (Figura 8.15).

Las dimensiones finales del soporte de la seta están disponibles en el plano 17.

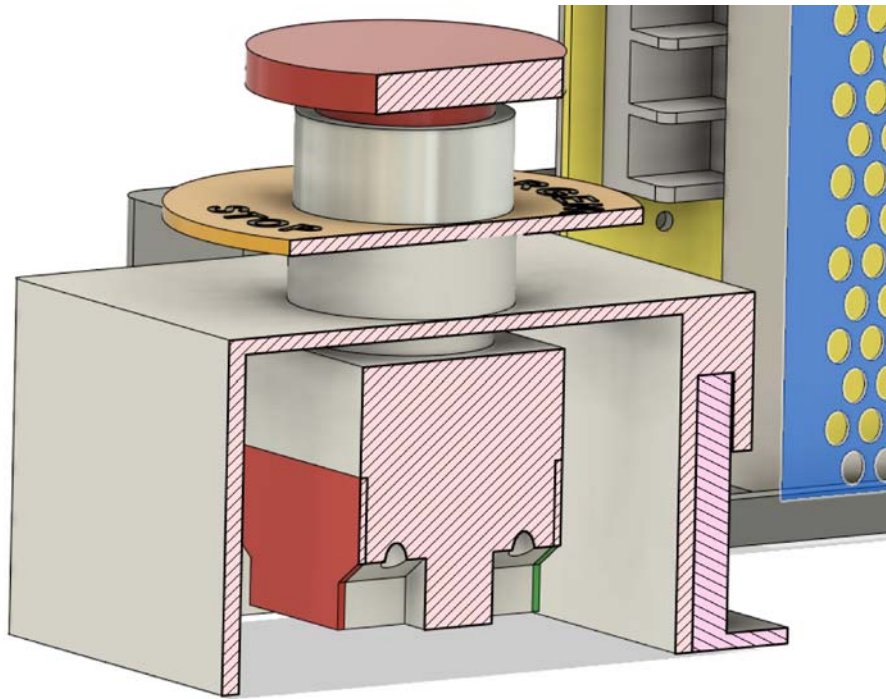


Figura 8.15 – Detalle de la conexión

Para evitar dejar cables al alcance del usuario, se añadieron dos agujeros a ambas piezas para poder pasar los cables de la seta y del interruptor (Figura 8.16).

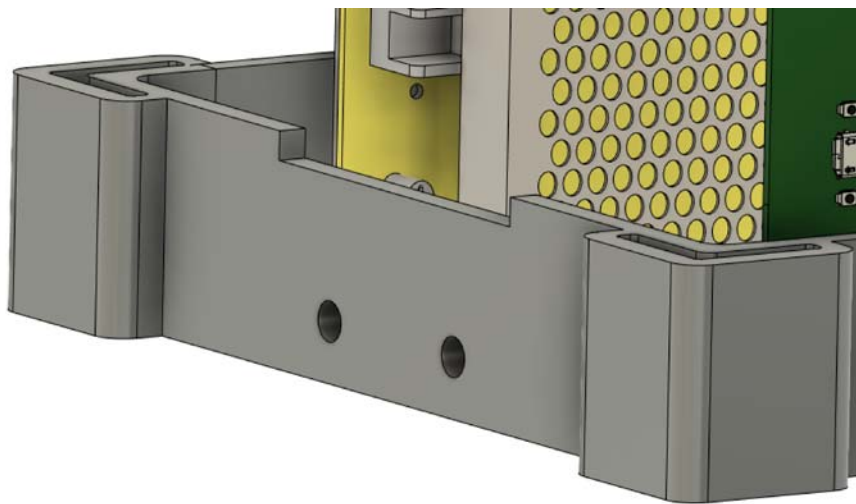


Figura 8.16 – Enganche

Respecto a la otra pieza que formará la base, la analizaremos según cada uno de sus soportes:

Primero, para fijarla a la superficie de trabajo, se crearon dos agujeros que permiten atornillar la base (Figura 8.17). Para este fin se utilizarían tornillos auto-perforantes M5.

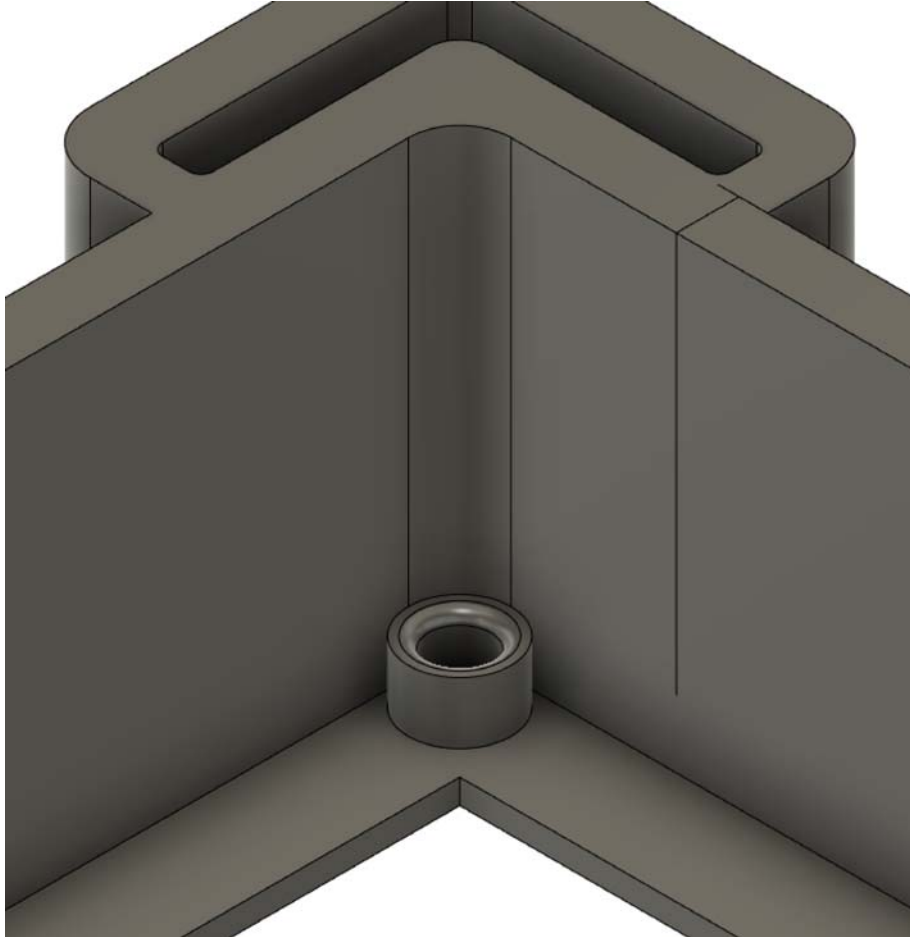


Figura 8.17 – Soporte tornillos

Creamos una ranura en el lateral derecho de la planta, en la que podremos introducir la PCB. Para asegurar una buena sujeción, se podrán atornillar tornillos M4. Colocándola en esta posición (Figura 8.18), todos los cables, excepto el conector USB, quedan en el interior de la planta.

El siguiente soporte es el de la fuente de alimentación (Figura 8.19), que fue diseñado específicamente para la fuente que empleamos. Para asegurar que se mantiene en su posición, podremos fijarla a la base con un pequeño tornillo M4, y se mantendrá en el sitio gracias a la pequeña pestaña del fondo. Al utilizar este soporte, elevaremos la fuente de la superficie de la planta, evitando el contacto directo con el agua en caso de fugas.

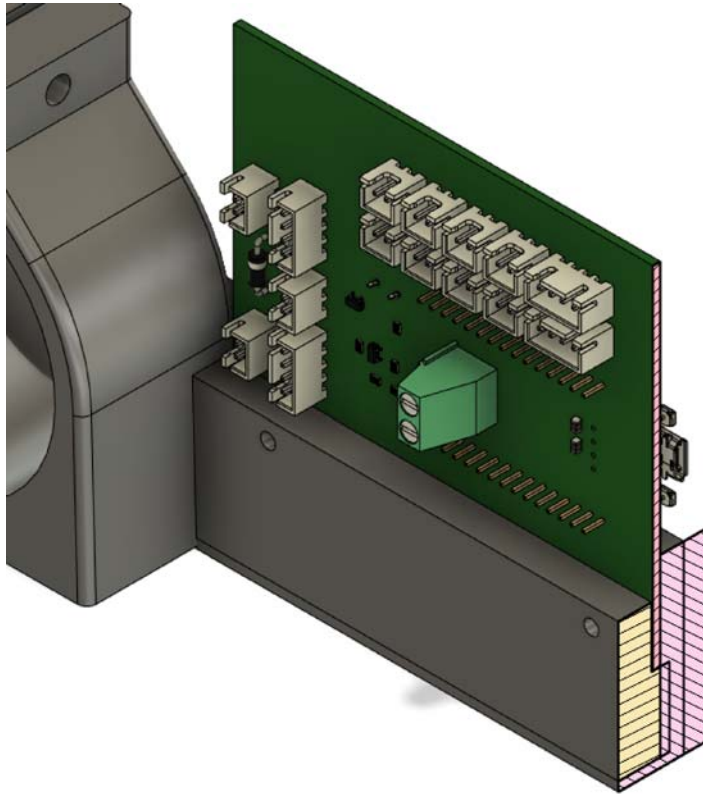


Figura 8.18 – Detalle del soporte de la PCB

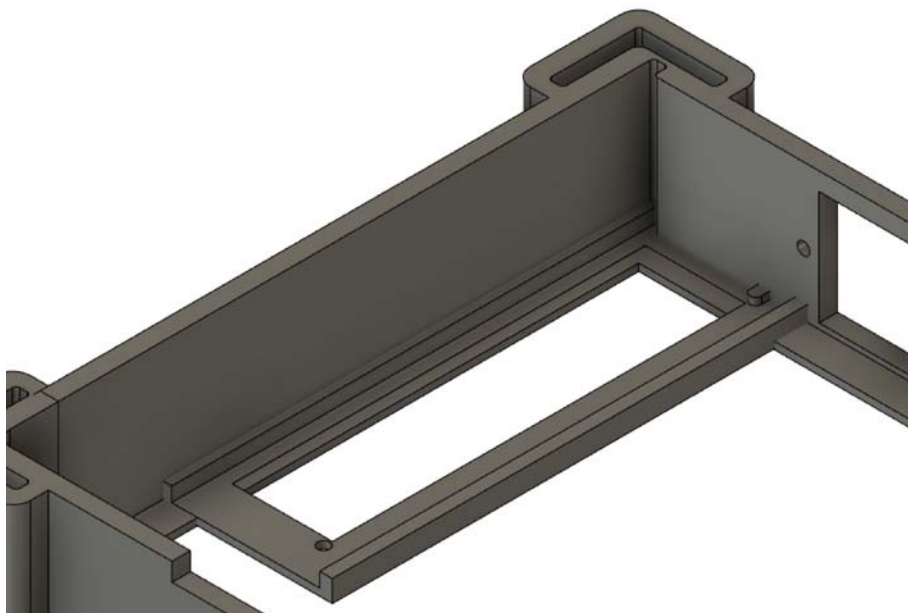


Figura 8.19 – Soporte fuente de alimentación

Relacionado con la fuente de alimentación, está la toma de corriente. En este caso y como se discutió en el apartado, se decidió utilizar un conector IEC-14, empleado en multitud de aparatos electrónicos. En el caso de nuestra planta, lo fijaremos utilizando dos pequeños

tornillos M4.

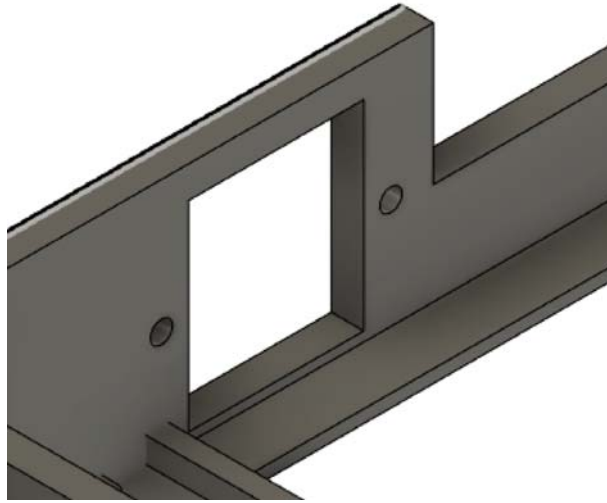


Figura 8.20 – Soporte IEC-14

Por último, para colocar la bomba se diseñó el soporte de la figura 8.21. Este soporte tiene la ventaja de que no es fijo, por lo que podemos ajustar la posición y la inclinación de la bomba.

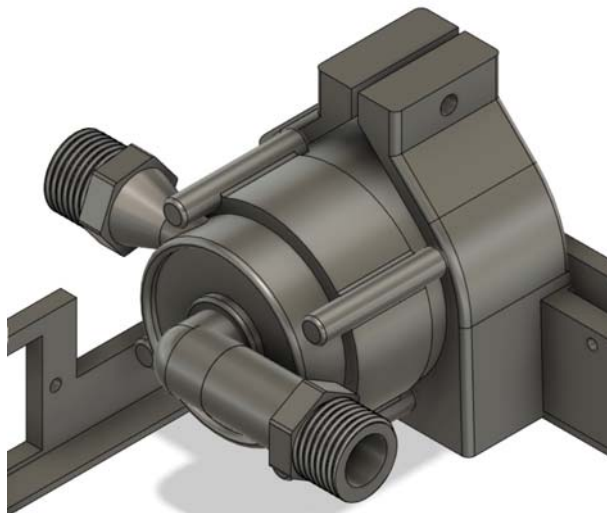


Figura 8.21 – Soporte Bomba

La forma del soporte no es la de un círculo completo, si no que se aproxima a la forma de una gota de agua. Esto nos soluciona dos problemas de la impresión 3D: Al imprimir un círculo completo, y más aún de este tamaño, rompemos la regla de los 45°, por lo que necesitaríamos soportes. Y la segunda ventaja es que podemos fijar la bomba utilizando un tornillo y una tuerca a través del agujero de la Figura 8.22 en caso de que con el paso del tiempo y las vibraciones el material pierda su rigidez. Aunque el PLA no es considerado un material flexible, este puede deformarse unos milímetros.

Las dimensiones finales del soporte están disponibles en el plano 16.

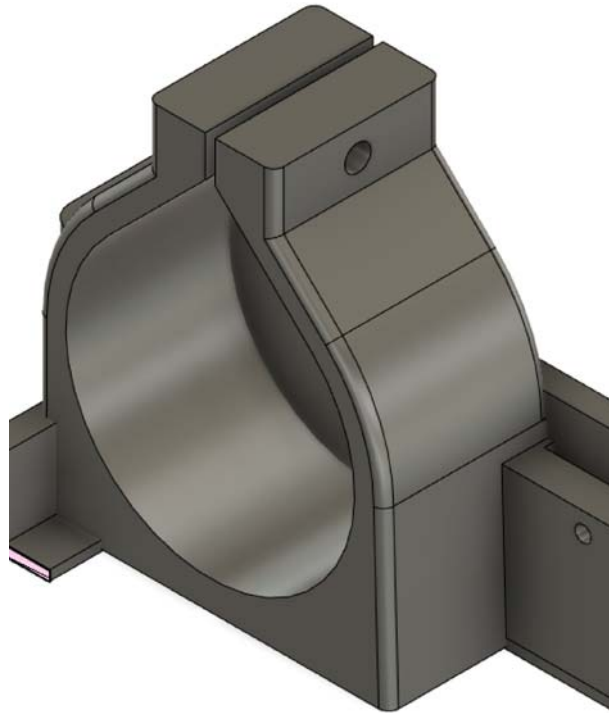


Figura 8.22 – Soporte Bomba

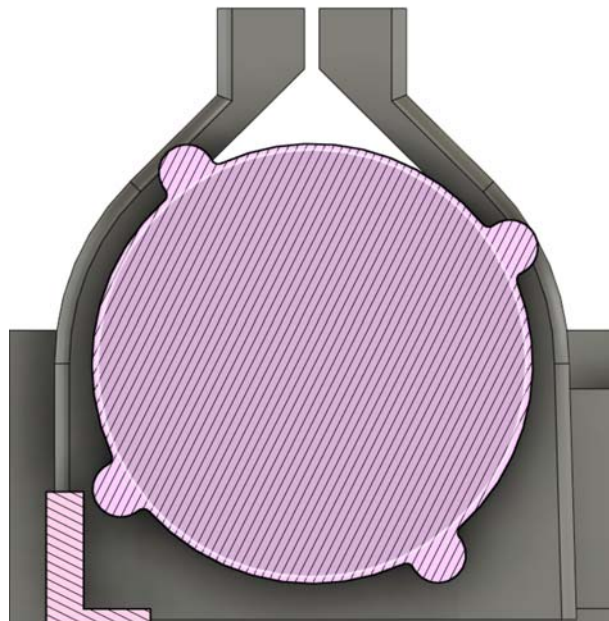


Figura 8.23 – Sección bomba y soporte

8.1.2. Impresión 3D

Como se ha adelantado en los requisitos de diseño, la impresora que utilizaremos será la Ender3 con un volumen de impresión de 235x235x250mm. Esta impresora tiene un precio muy reducido, que suele rondar los 150€ y su calidad de impresión es muy buena incluso comparada con impresoras de mayor precio. Todas las piezas 3D de este proyecto se imprimieron en esta impresora utilizando filamento PLA.

Los parámetros de la impresora son los mostrados en la Tabla 8.1.

Parámetros impresión 3D	
Impresora	Ender 3
Volumen de impresión	235x235x250mm
Cama caliente	Sí
Extrusores	1
Diámetro del filamento	1.75mm
Diametro del nozzle	0.4mm

Tabla 8.1 – Parámetros de la impresora 3D

El programa de impresión que se utilizó fue Cura 4.8.0, al que se introdujeron los parámetros vistos anteriormente. Para la impresión se utilizaron unos parámetros relativamente agresivos, ya que la impresora está bien calibrada y las piezas no necesitan una gran calidad visual. Los parámetros de impresión están recogidos en la Tabla 8.2.

Parámetros de impresión	
Altura de capa	0.28mm
Ancho de línea	0.4mm
Grosor de pared	1.2mm
Recuento de líneas de pared	3
Relleno	15 %
Patrón de relleno	Cúbico
Temperatura Hotend	210 °C
Temperatura Cama caliente	60 °C
Velocidad ventilador	100 %
Velocidad de impresión	80mm/s
Aceleración	1500mm ² /s
Jerk	20mm/s
Distancia de retracción	5mm
Velocidad de retracción	45mm/s

Tabla 8.2 – Parámetros de impresión

Estos parámetros están optimizados para imprimir a gran velocidad en una impresora como la Ender3. Se podría mejorar los tiempos de impresión empleando una boquilla de un tamaño superior, como por ejemplo de 0.6mm, con la que se imprimiría a alturas de capa de hasta 0.4mm, reduciendo considerablemente el tiempo de impresión.

El material utilizado es un filamento de la marca anycubic, que escogimos por su bajo precio. Sus principales características se recogen en la tabla 8.3.

Filamento PLA	
Marca	Anycubic
Peso	1Kg
Color	Negro
Diametro	1.75mm
Temperatura de impresión	190-230
Precio	15€/Kg

Tabla 8.3 – Filamento anycubic

8.1.3. Diseño y mecanizado paneles policarbonato

La plancha de metacrilato de la que disponíamos para fabricar los paneles de los depósitos tenía un tamaño de 150x50cm por lo que tuvimos que dividirla en porciones más manejables para poder fijarlas a la mesa de la fresadora CNC. Ese paso no es obligatorio, de la misma forma que no es necesario emplear una fresadora para realizar los cortes, pero nos facilitará el corte y nos asegurará la precisión. Para aprovechar al máximo el material, se empleó la parte de CAD de Fusion360 para decidir la colocación de las piezas, llegando a la configuración de la Figura 8.24:

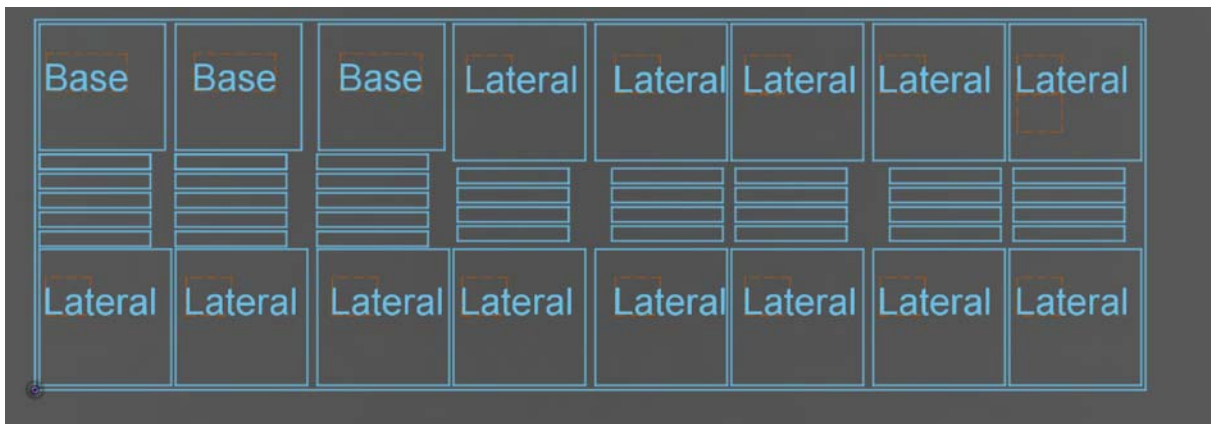


Figura 8.24 – Disposición de las piezas en el material

Las piezas están dispuestas de forma que se pueda dividir el material en 4 paneles más pequeños dejando un espacio para el corte manual de forma que la precisión del corte no necesite ser absoluta.

Una vez separados los paneles para el corte, la primera operación en el programa será definir las dimensiones de nuestro material y su origen con respecto al origen de la CNC.

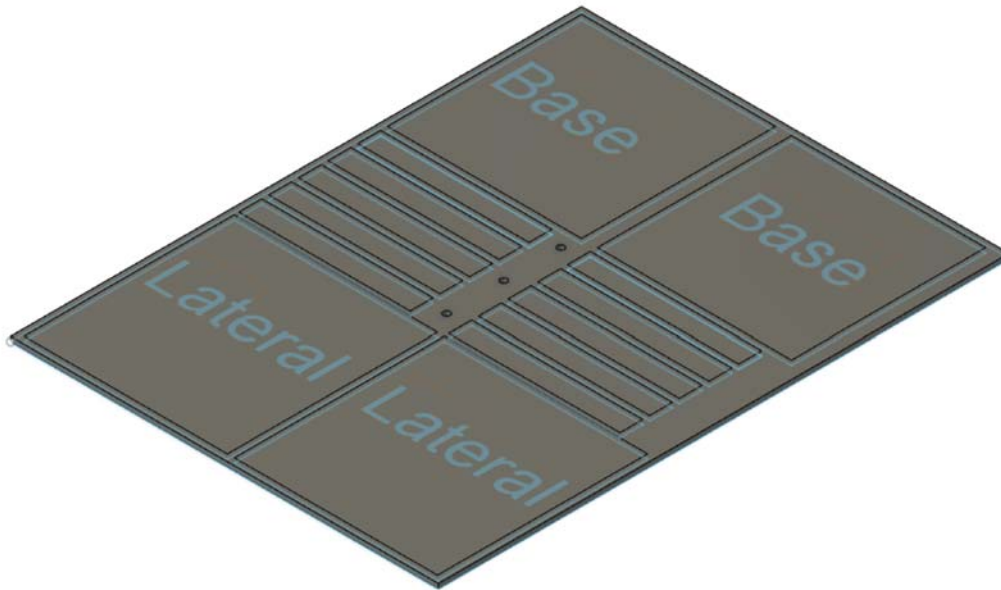


Figura 8.25 – Panel de corte

El segundo paso es la elección de una herramienta, en nuestro caso se empezó realizando el corte con una fresa de 6mm, pero esto limitaba la velocidad de movimiento de la máquina y extraía más material del que era necesario. Finalmente nos decidimos con una fresa de 1/8' (3.175mm).

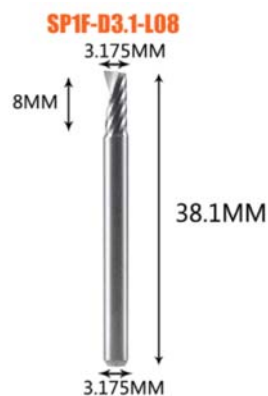


Figura 8.26 – Fresa empleada

La primera operación que se realizó fueron 3 agujeros con la operación Bore, para poder fijar el material a la mesa. Se utilizó esta operación en vez de la operación de taladrado ya que los agujeros tienen 6mm de diámetro y la fresa solo 3.175mm y aunque se podría utilizar una fresa de 6mm, eso conllevaría un cambio de herramienta. Estos agujeros no tienen nada que ver con el diseño de la planta y son diferentes para cada fresadora. Para el corte se usaron los parámetros de la Tabla 8.4. Estos parámetros no sirven para cualquier fresadora ya que cada máquina es distinta, pero se pueden tomar como un valor de referencia bastante conservador.

Bore	
Velocidad de rotación	12000rpm
Diametro de herramienta	3.175mm
Flautas	1
Velocidad de avance (feedrate)	300mm/min
Velocidad descenso (plunge)	200mm/min
Profundidad de corte	1mm/pasada
Pasadas de acabado	0
Pasada final de acabado	0
Tabs	No

Tabla 8.4 – Parámetros Bore

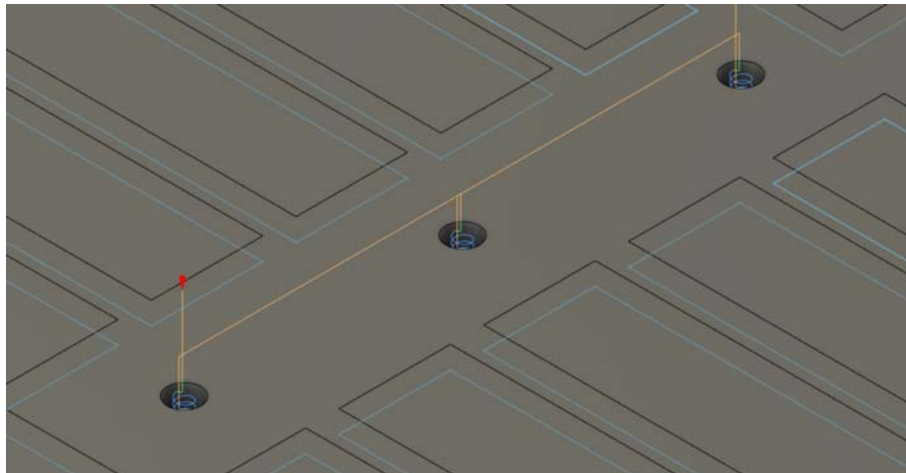


Figura 8.27 – Operación bore

La otra operación que se empleó fue la de 2D contour, que permite cortar siguiendo las líneas de un dibujo 2D. Para esta operación empleamos la misma fresa y los parámetros de la Tabla 8.5. En este caso sí se añadió una pasa de acabado de 0.1mm para tener una superficie limpia. Además, para no tener que pegar cada pieza a la mesa, se utilizó la opción de añadir tabs, que deja sin cortar una pequeña muesca, que luego deberemos limar.

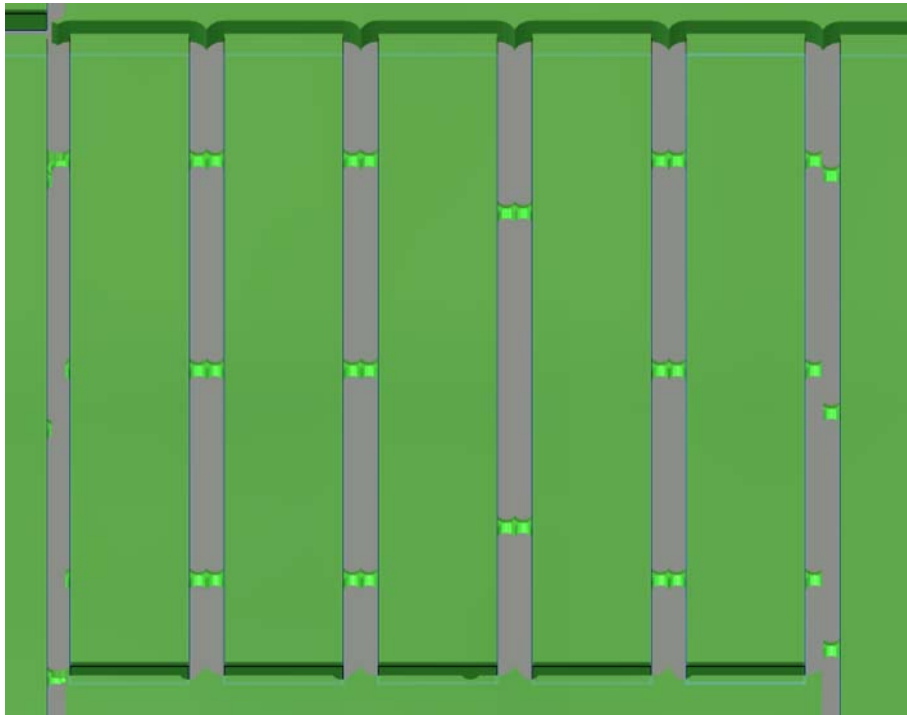


Figura 8.28 – Sujeción de las piezas a la superficie de trabajo mediante tabs para el mecanizado

Corte	
Diametro de herramienta	3.175mm
Flautas	1
Velocidad de rotación	12000rpm
Velocidad de avance (feedrate)	600mm/min
Velocidad descenso (plunge)	400mm/min
Profundidad de corte	2mm/pasada
Pasadas de acabado	1
Pasada final de acabado	0.2mm
Tabs	Sí

Tabla 8.5 – Parámetros corte

Una vez generadas las trayectorias de corte, se exporta a G-code, igual que una impresora 3D y se introduce en la fresadora CNC.

Para la fabricación de la planta se necesita una plancha de 100x50cm de la que se obtendrían:

- 2 paneles de base
- 8 paneles laterales
- 26 elevadores

Y se cortarían con la siguiente configuración de la Figura 8.29 cumpliendo con la separación de 6mm entre piezas y dejando un espacio de 11mm para dividir la plancha en 2 secciones y ajustarla a la superficie de la fresadora.

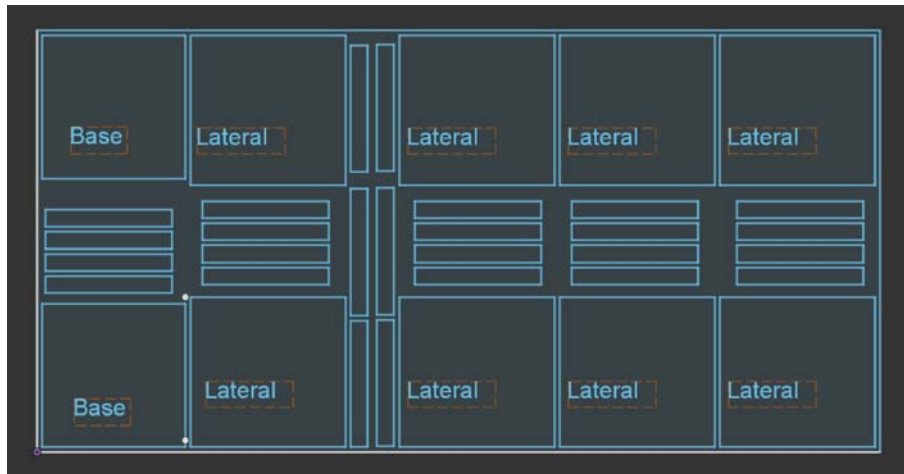


Figura 8.29 – Corte policarbonato 100x50cm

Para facilitar la fabricación de estas piezas sin utilizar una fresadora, en el plano 19 se incluyen los perímetros a escala 1:1, de forma que se puedan imprimir a escala real y pegar en el policarbonato para usar de guía de corte.

8.1.4. Unión entre las piezas: Pegamentos y siliconas

Como se vio anteriormente, para fijar los paneles se utiliza un cemento plástico 8.30



Figura 8.30 – Cemento plástico

Aunque el cemento seca en un par de horas, es recomendable esperar 24h para que este alcance su máxima rigidez al conjunto y resistencia al agua.

Una vez pegados con el cemento plástico se comprueba que no pierdan agua. Si se detectan fugas se puede aplicar una silicona especial para acuarios como la de la Figura 8.31:



Figura 8.31 – Silicona acuarios

Esta es la misma silicona que se utilizó en el análisis de soluciones para el primer prototipo, pero que al ser el policarbonato un material tan liso, no era capaz de adherirse y proporcionar rigidez. Sin embargo para esta aplicación la rigidez estructural se la dará el cemento plástico.

8.2. Aprovisionamiento eléctrico

8.2.1. Alimentación

Las plantas estarán conectadas a la red eléctrica a través de un conector IEC-C14, con un fusible integrado para proteger a la planta en caso de cortocircuito. Se escogió un fusible de cartucho FSF 5X20 250V 600mA.

A partir de esta toma de tensión obtendremos el resto de alimentaciones siguiendo el esquema de la Figura 8.32.

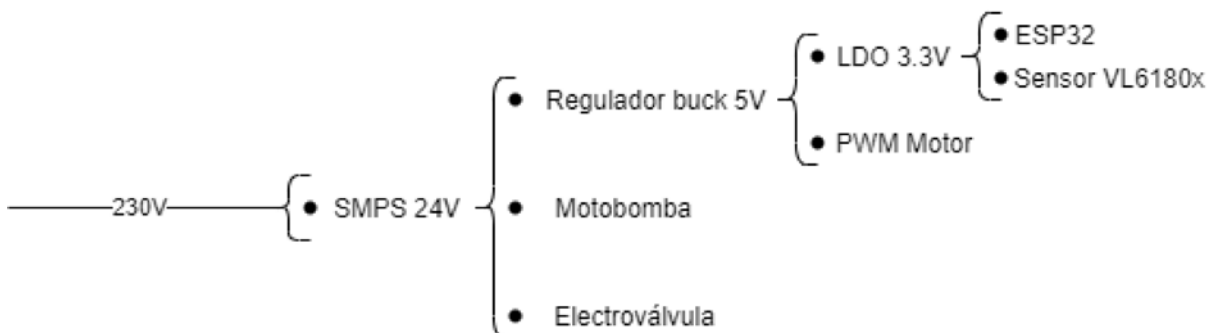


Figura 8.32 – Esquema alimentación

8.2.1.1. Fuente de 24V

Siguiendo los cálculos del anexo 11.2, se ha escogido una fuente de alimentación conmutada de 120W, que permitirá ampliar la planta en un futuro y permitirá trabajar a la fuente por debajo de su máximo, lo que implica menores temperaturas y a la larga, una mayor vida útil. La fuente consta de un potenciómetro de ajuste, que permitiría ajustar la salida.



Figura 8.33 – Fuente 24V

Con respecto a las protecciones de la fuente, esta trae protección contra cortocircuitos y sobrecargas.

8.2.1.2. Regulador conmutado

Para reducir la tensión de 24V a los 5V del resto del circuito se emplea un regulador conmutado de bajo coste. Este es capaz de proporcionar hasta 3A, pero funcionará muy por debajo de este valor.

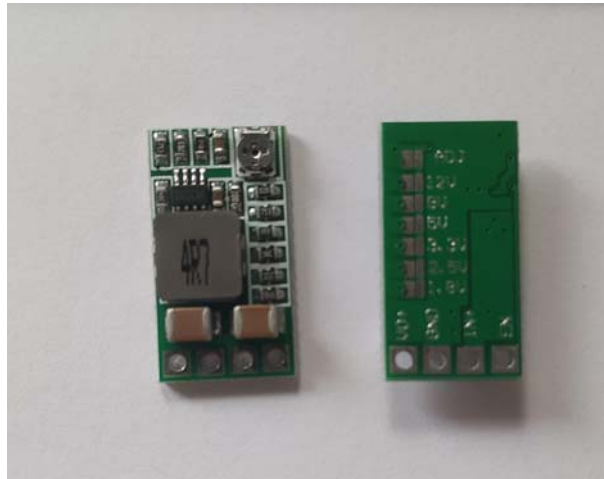


Figura 8.34 – Regulador 5V

El mayor consumo que hemos medido en la tarjeta de adquisición de datos ha sido de 0.75A. Para comprobar el funcionamiento de estos módulos, se les aplicó una carga mediante unas resistencias de potencia de forma que consumiesen 2A. Después de 30 minutos de funcionamiento, y sin ningún tipo de ventilación activa, la temperatura era de 60°C. En el mismo test, medimos el rizado de la tensión de salida, que no superó los 30mv.

Estos módulos tienen dos modos de funcionamiento: El primero es seleccionando la tensión de funcionamiento con un jumper. La segunda, que es la que empleamos, utiliza un potenciómetro para ajustar la salida. Esto permite adaptar la planta a otros voltajes de funcionamiento. Otra de las ventajas de este módulo es que es compatible pin a pin con los reguladores lineales 7805, que podrían utilizarse con ventilación activa. En caso de que se utilizase esta opción sería recomendable poblar los condensadores C1 y C2 siguiendo las instrucciones del fabricante. El regulador tiene protección contra cortocircuitos.

8.2.1.3. Regulación 3.3V

Para el funcionamiento de la placa utilizamos el propio regulador de ésta, que bajará la tensión de 5V a 3.3V.

8.2.2. Motobomba

La bomba empleada es una bomba radial, actuada a 24V y controlable a través de PWM (5V), señal analógica (0-5V) o variación de frecuencia. El fabricante proporciona la gráfica de la Figura 8.35, para nuestro caso, la columna de agua será aproximadamente de 1m, por lo que podemos esperar un flujo alrededor de 1.2m³/h o 20 litros por minuto. Una vez montada la planta, realizaremos pruebas para calcular el flujo real.

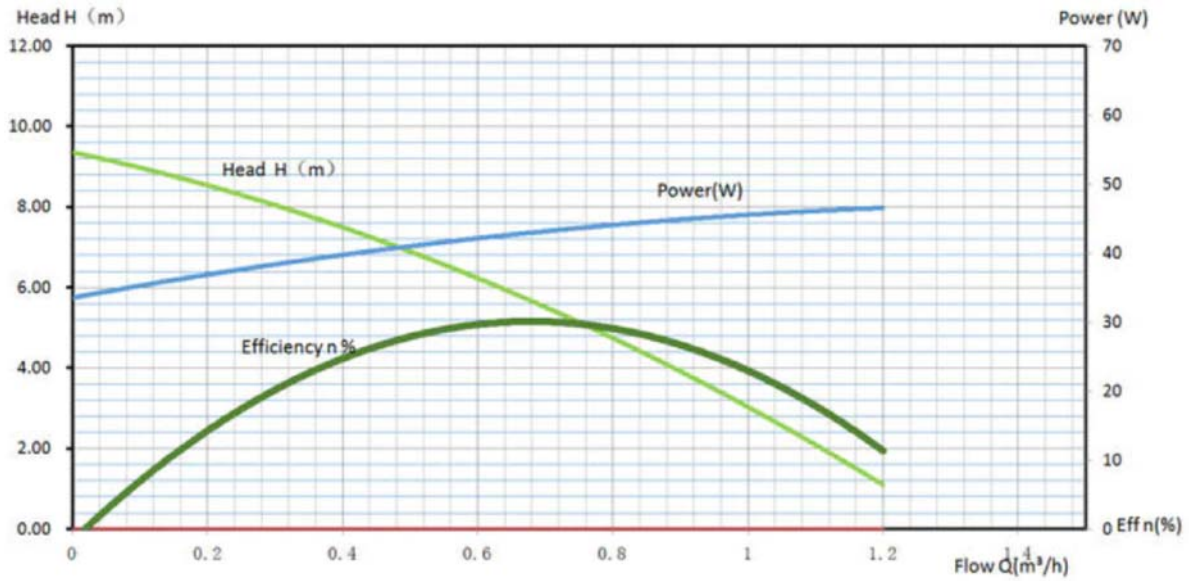


Figura 8.35 – Parámetros bomba

Como vemos en la Figura 8.36, la bomba tienen una zona muerta entre el 0 y 12% que tendremos en cuenta a la hora de generar las señales de control. En la programación ajustaremos la salida para que una señal 0-100 desde Matlab se convierta en una señal 12-100% de ciclo de trabajo en la bomba.

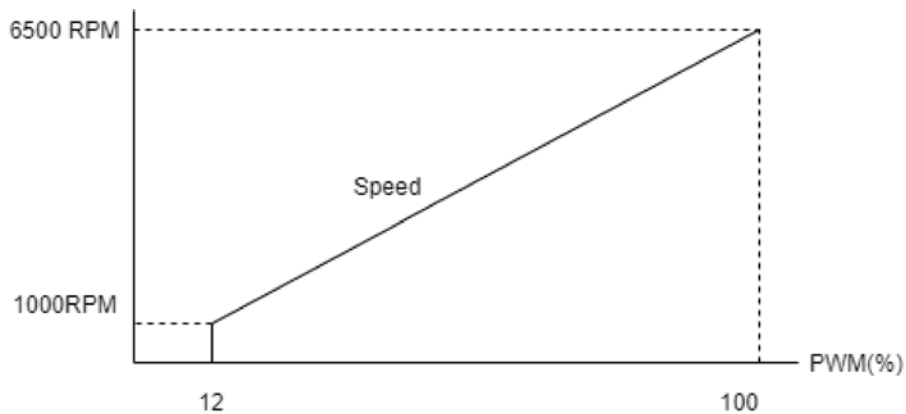


Figura 8.36 – Respuesta de la bomba

Una vez programado y montado en la planta, calculamos el caudal de la bomba a distintos niveles de potencia:

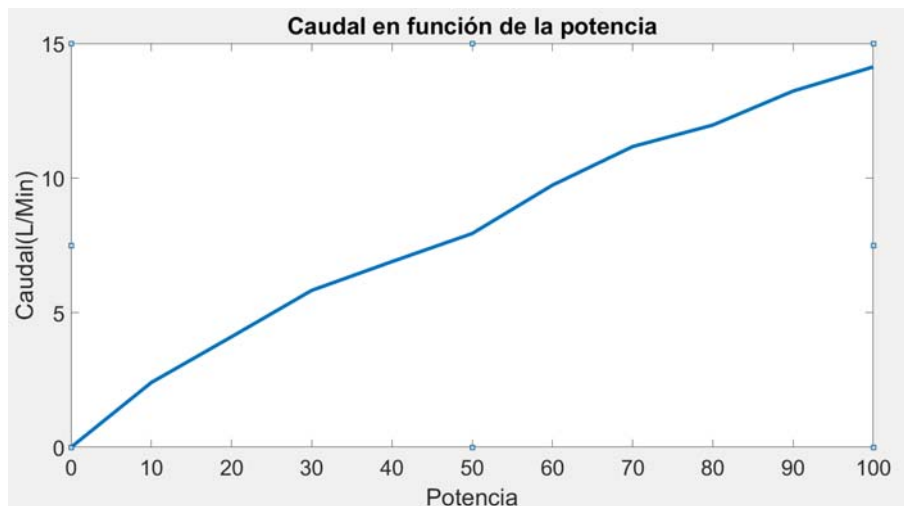


Figura 8.37 – Gráfico caudal de la bomba en función de la potencia

Para una potencia del 100% tenemos casi 15 litros por minuto, algo por debajo de los 22L/min. Los cálculos realizados y la metodología empleada están disponibles en el anexo de cálculos [11.1](#).

Al mismo tiempo que realizábamos la medida anterior, medimos el consumo del sistema.

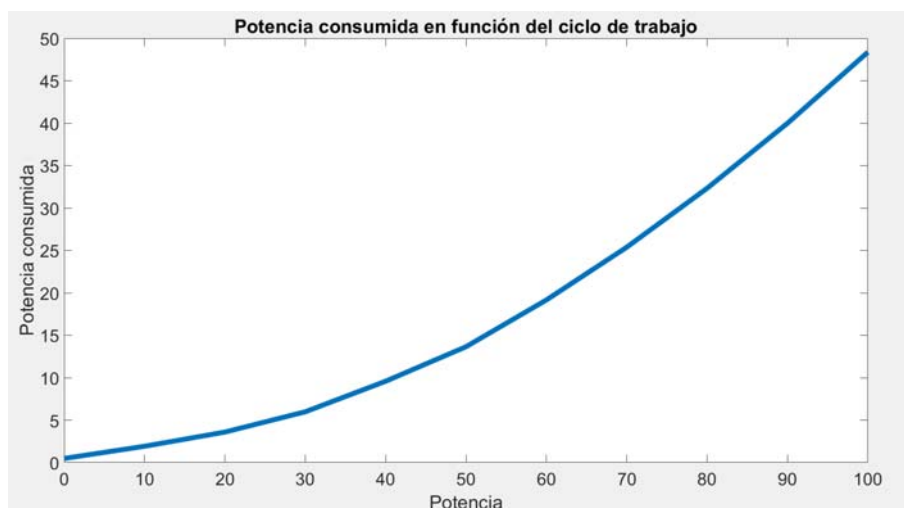


Figura 8.38 – Potencia consumida en función del ciclo de trabajo

Con el sistema totalmente parado, el consumo total es de 0.45W mientras que para el ciclo de trabajo máximo, el consumo fue de 48.37W.

Como hemos visto anteriormente, el motor cuenta con una señal proporcional a la velocidad de rotación del motor. Esta señal es muy útil para el diagnóstico de la planta y la supervisión de su funcionamiento: Por ejemplo, si al aumentar la señal de control, no aumenta la velocidad de rotación de la bomba, podemos aislar el problema en este elemento. Si por el contrario, aumentamos la potencia y aumenta la velocidad de la bomba, pero no aumenta el nivel, podemos identificar un error en el sensor o una fuga en la planta. Mediante el circuito del apartado [8.3.2.3](#), realizamos un barrido entre el 0 y el 100% de la potencia de la bomba y obtuvimos la siguiente gráfica [8.39](#):

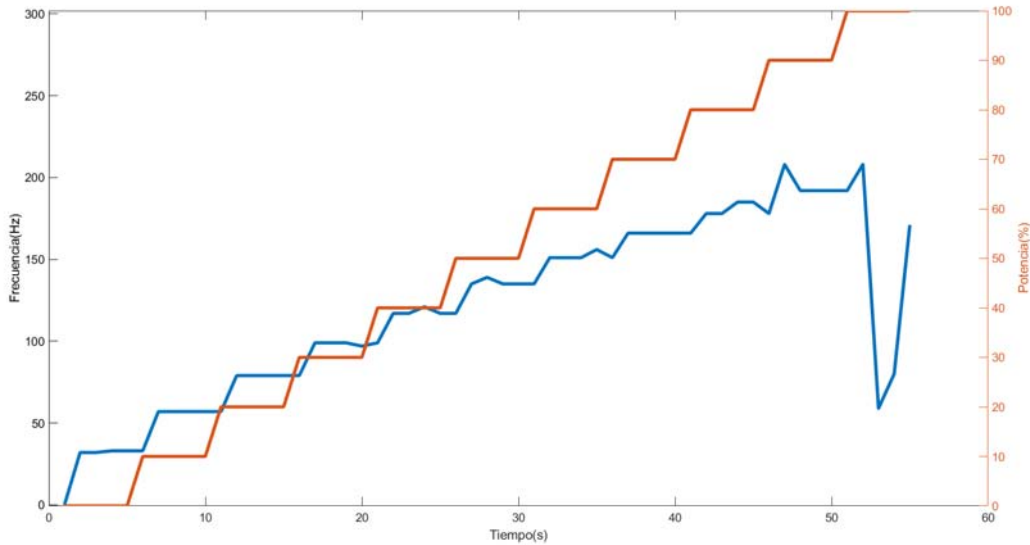


Figura 8.39 – Medida de frecuencia del motor

Como podemos observar, la medida es relativamente buena hasta el 80 % de potencia. Al ver esta gráfica y después de probar el circuito con un generador de funciones hasta frecuencias de 10 KHz funcionando correctamente, conectamos el motor a un osciloscopio. Ahí vimos que la señal que producía el motor no se mantenía constante. Por lo tanto, no recomendamos utilizar la realimentación de este valor como un parámetro fiable, aunque se podría realizar un filtrado externo al firmware. No incluimos este filtrado en el firmware ya que que el tiempo de muestreo es demasiado rápido como para hacer medidas consecutivas a las frecuencias más bajas

8.2.3. Sensor

Como vimos en el análisis de soluciones subapartado 7.2.4, el sensor empleado es el VL6180X. Este sensor pertenece a la categoría TOF (Time of flight), que envía un haz de luz y espera a su reflexión el objeto a medir. Su principio de funcionamiento es muy importante, ya que la reflexión en un objeto dependerá de las condiciones de luz a las que esté sometido. Además de la medición de la distancia, el sensor es capaz de medir la luminosidad del ambiente, pero para este proyecto, no lo hemos utilizado. Incluye también un pin GPIO que se puede controlar a través de I2C, una salida de 2.8V y una señal de control SHDN para controlar la salida de 2.8V.

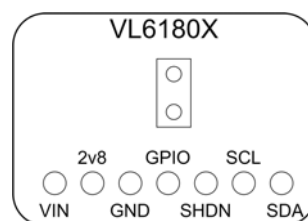


Figura 8.40 – Diagrama del sensor VL6180X

A la medida de la distancia también le afecta la reflectancia del objeto. Para evitar reflejos sobre la superficie del agua debidos al movimiento y para proporcionar un entorno controlado, se decidió encapsular el sensor.



Figura 8.41 – Sensor VL6180X montado en su soporte

De esta forma estaría más protegido de la luz externa y con un flotador (recomendable que sea de color blanco) sería más sencillo realizar una medida que no se viese afectada por las ondas en el agua. El encapsulado es muy sencillo, está formado por un soporte para el sensor, una tubería de PVC de 32mm de diámetro externo, un flotador y una ranura para la entrada del agua. El sensor se fija al soporte utilizando dos pequeños tornillos de métrica 1.75 y 5mm de largo. Se puede ver un despiece de éste en la Figura 8.42, el montaje del sensor en la Figura 8.43 y su montaje final en la planta en la Figura 8.44

Aprovechando las ranuras del depósito superior, hemos diseñado un soporte para el sensor que permite colgarlo. En la parte inferior hay una ranura que permite que el agua entre dentro del tubo y eleve el flotador. Es importante que el flotador sea de un material reflectivo o de un color claro. A la hora de probar el sistema con un flotador impreso en PLA negro, las mediciones no eran lineales con el nivel. Con un flotador de color blanco, las medidas se volvieron mucho más consistentes e independientes de las condiciones exteriores.

Las dimensiones del montaje, las piezas que lo forman y las dimensiones de éstas, están disponibles en los planos 10 al 15.

8.2.3.1. Conexionado

El conexionado de este sensor es muy sencillo. Utilizaremos cuatro pines: dos para la comunicación y dos para la alimentación. El sensor consta de dos pines para comunicación I2C, SDA y SCL, que se corresponden con los pines GPIO21 y GPIO22 del ESP32.

Con respecto a la alimentación, solo es necesario una tensión de 3.3V y GND. Para conectar el sensor a la placa y para evitar errores, se ha optado por utilizar un conector JST unidireccional y un cable plano.



Figura 8.42 – Despiece del encapsulado del sensor



Figura 8.43 – Encapsulado sensor de nivel

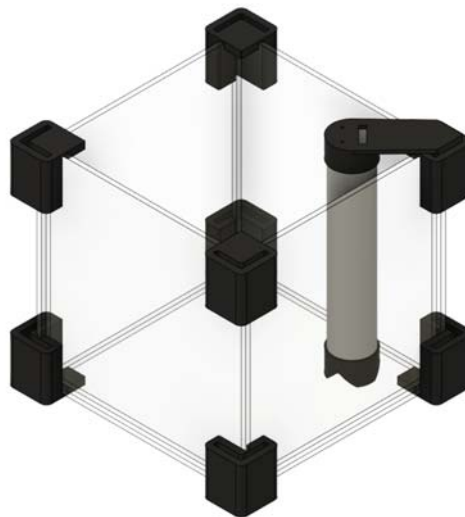


Figura 8.44 – Montaje del sensor

8.2.3.2. Mediciones

Al realizar las primeras mediciones, sin realizar ningún tipo de filtrado, encontramos que el sensor podía fallar en la medición. Esto puede ser solucionado mediante la comprobación de los códigos de error generados, en cuyo caso se repetiría la medición. Otra de las herramientas que empleamos para tener unas mejores mediciones fue realizar la media entre varias medidas para mitigar los errores que se podían producir.

En la Figura 8.45 vemos las mediciones del sensor durante el llenado del depósito. Aunque la respuesta no es perfectamente lineal, es lo suficientemente buena para nuestra aplicación.

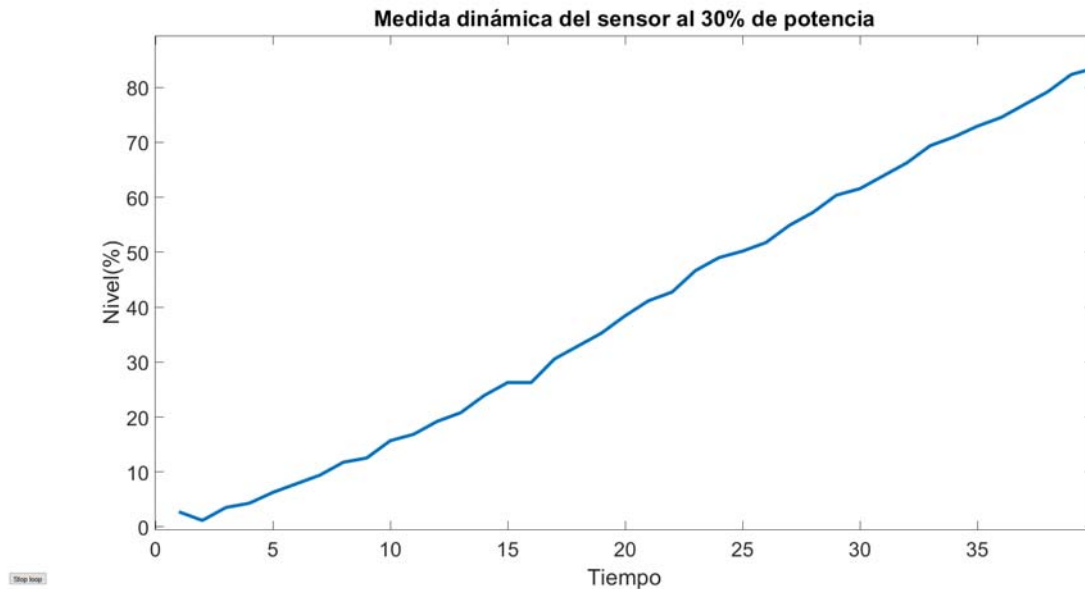


Figura 8.45 – Medida de nivel durante el llenado

Para las mediciones de ruido, llenamos el depósito a un valor constante y realizamos mediciones continuadas. La respuesta obtenida fue la de la Figura 8.46 Aunque la Figura 8.46 parece alarmante, la variación máxima que tenemos es de un 1.5%, y normalmente se mantienen en un 0.79%, más que suficiente para nuestra aplicación. Como con todos los sensores, fue necesaria una calibración. Para esta calibración se tomaron dos medidas. La primera con el depósito completamente vacío, que servirá para medir un offset en el sensor, y la segunda medida con el depósito superior completamente lleno, que será nuestro límite superior.

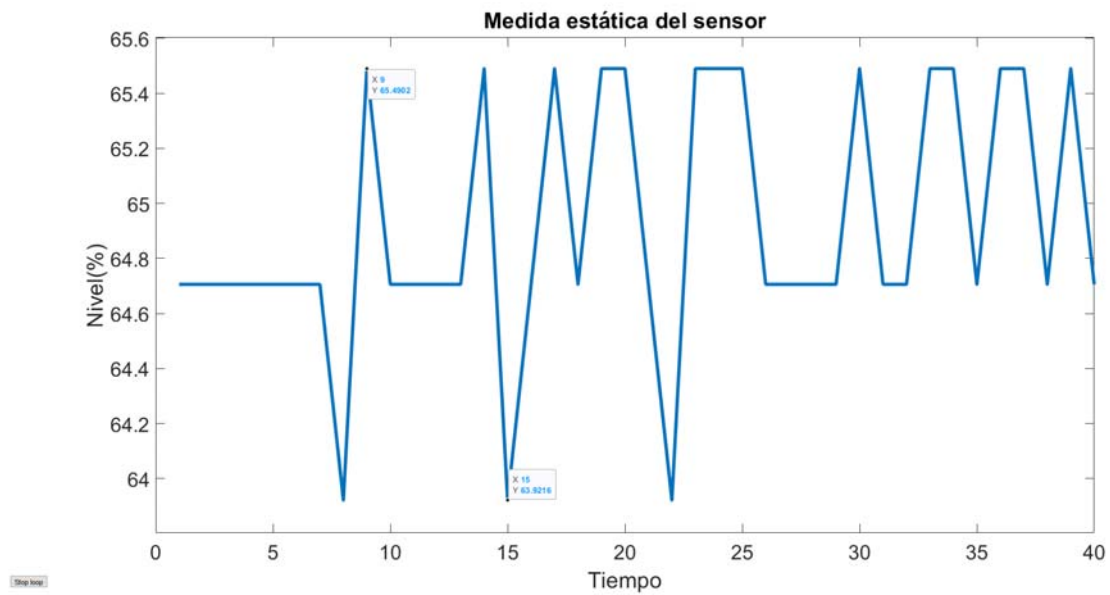


Figura 8.46 – Medida de nivel fijo

8.2.4. Electroválvula

Para calcular cuanto caudal era capaz de vaciar la electroválvula se llenó el depósito y se dejó vaciar solo a través de esta, obteniendo la siguiente gráfica:

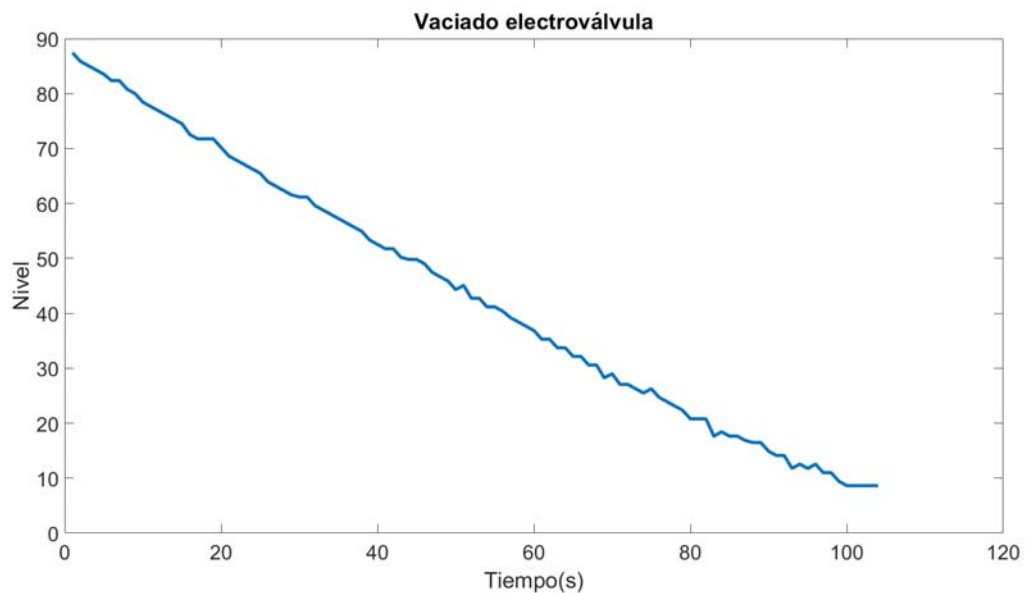


Figura 8.47 – Vaciado electroválvula

Realizando los cálculos necesarios, obtenemos que la válvula es capaz de vaciar 1.91L por minuto.

Durante este vaciado también se ha medido el consumo de la electroválvula, que fue de 5.22W

8.2.5. ESP32

Como se vio en el análisis de resultados 7.2.3, la placa que nos ofrecía una mejor relación entre prestaciones y coste era la ESP32. A continuación se detallará la configuración realizada así como las principales entradas y salidas que se necesitan.

Esta placa ya viene configurada para su utilización. Lo único que se requiere es subir el código, en nuestro caso, con el arduino IDE para una mayor sencillez.

8.2.5.1. Asignación de los pines

La versión del ESP32 que utilizamos en esta planta es la de DevKit V1 de 30 pines (Figura 8.48), de los cuales no todos son necesarios para el funcionamiento básico. Aún así es de vital importancia escoger con cuidado qué pines se pueden utilizar ya que no todos tienen las mismas características. Recapitulando de los apartados anteriores, para el funcionamiento de

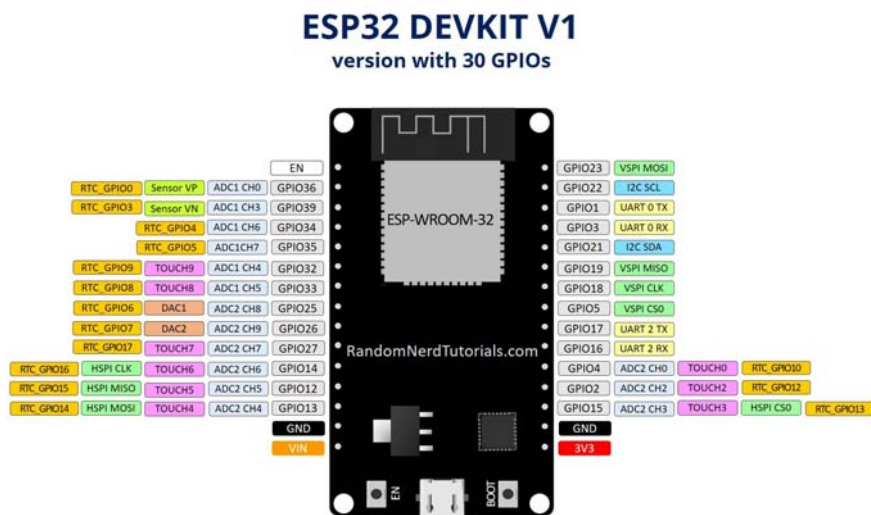


Figura 8.48 – Pines ESP32 DEVKIT 1

la planta necesitamos, como mínimo, los pines recogidos en la tabla 8.6:

	Nº Pines	Tipo	Nombre Pin	Nº Pin
I2C	2	Bus comunicaciones	SDA	GPIO21
			SCL	GPIO22
Señal salida motor	1	Salida		
Señal tachómetro	1	Entrada		
Electrovalvula	1	Salida		
Sensor flotación	2	Entrada		
Reset	1	Reset	EN	1

Tabla 8.6 – Resumen funciones necesarias para el funcionamiento básico y pines asociados

Podemos observar que algunas funciones como el I2C o el Reset tienen unos pines fijados mientras que otros son de libre configuración, por lo que los podremos colocar con libertad.

Además de los pines básicos para el funcionamiento de la planta, se han incluido las funciones recogidas en la Tabla 8.7.

Conexión	Nº de Pines	Tipo	Nombre Pin	Pines
SPI	4	Bus comunicaciones	MISO	GPIO12
			MOSI	GPIO13
			CLK	GPIO14
			CS0	GPIO15
GPIOs	2	Entradas GPIO		
	2	Salidas GPIO		
UART	2	Bus comunicaciones	RX	GPIO16
			TX	GPIO17
Convertor digital-analógico	2	Digital-Analógico	DA1	GPIO15
			DA2	GPIO26
Sensor HALL	2	Sensor	Vp	2
			Vn	3

Tabla 8.7 – Resumen funciones adicionales y pines asociados

Una vez vistos qué pines son de uso obligado, nos queda asignar los restantes de la forma más eficiente posible para que no interfieran unos con otros aprovechando al máximo los recursos de la placa. Algunas consideraciones a tener en cuenta:

- El canal 2 del convertor analógico digital no funciona correctamente si se activa el módulo WIFI. Queda descartado el uso de sus correspondientes pines para su uso como GPIOs. Estos pines son: Los GPIOs 12 a 15 (que aprovecharemos para su uso como puerto SPI), y los GPIOs 25 y 26 (que corresponden a las salidas analógicas) y el pin GPIO27
- Pines GPIO 34 y 35 no son realmente GPIO, solo son puertos de entrada.
- Los pines GPIO 0, y 2 tienen que conectarse a nivel bajo o flotantes durante el boot. Para evitar problemas, no daremos acceso a ellos en la placa.
- GPIO 6 al 11 se utilizan para la memoria flash y no son accesibles para el usuario.

Al aplicar las normas anteriores, se obtiene el mapa de pines de la Tabla 8.8:

	Nº Pines	Tipo	Nombre Pin	Nº Pin
I2C	2	Bus comunicaciones	SDA	GPIO21
			SCL	GPIO22
Señal salida motor	1	Salida	PWM	GPIO 4
Señal tachó motor	1	Entrada	Motor Tacho	GPIO 5
Electrovalvula	1	Salida	Electroválvula	GPIO 27
Sensor flotación	2	Entrada	Flotador 1	GPIO 34
			Flotador 2	GPIO 35
SPI	4	Bus comunicaciones	MISO	GPIO 12
			MOSI	GPIO 13
			CLK	GPIO 14
			CSO	GPIO 15
GPIOs	2	Entradas GPIO	IN1	GPIO 32
			IN2	GPIO 33
	2	Salidas GPIO	OUT 1	GPIO 18
			OUT 2	GPIO 19
Reset	1	Reset	Reset	1
UART	2	Bus comunicaciones	RX	GPIO 16
			TX	GPIO 17
Convertor digital-analógico	2	Digital-Analógico	DA1	GPIO 25
			DA2	GPIO 26
Sensor HALL	2	Sensor HALL	VP	2
			VN	3

Tabla 8.8 – Funciones y asignación de pines finales

8.2.6. Dispositivos de seguridad

8.2.6.1. Seta de emergencia

Uno de los elementos vitales en cualquier entorno industrial es la seta de emergencia. Este elemento corta la alimentación al resto de elementos de la planta y es un elemento muy importante a la hora de manipular la planta. En nuestro caso hemos escogido una seta como la de la imagen:



Figura 8.49 – Seta emergencia

Esta dispone de un contacto normalmente cerrado y un contacto normalmente abierto y es capaz de soportar hasta 660V y 10A, muy por encima de lo que soportará en nuestra planta:

8.2.6.2. Interruptor

Incluimos un interruptor en el frontal de la planta que nos permitirá apagarla sin tener que desenchufar el cable.



Figura 8.50 – Interruptor montado

Este interruptor soporta 3A y 250V y sus terminales de conexión son palas faston de 4.8mm.

8.2.6.3. Fusibles

Otro elemento para proteger la planta es el fusible, que nos protegerá en caso de que la corriente supere de forma súbita su valor nominal. Al ser la fuente de 120W, la corriente calculada es de 0.54A, que aproximamos a 0.6A, valor que utilizamos en el fusible.

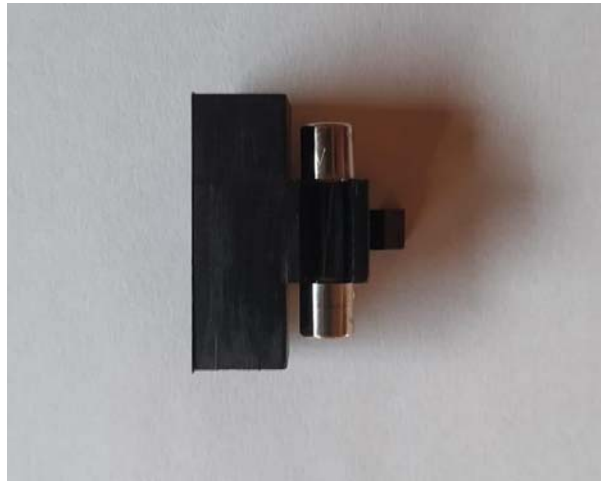
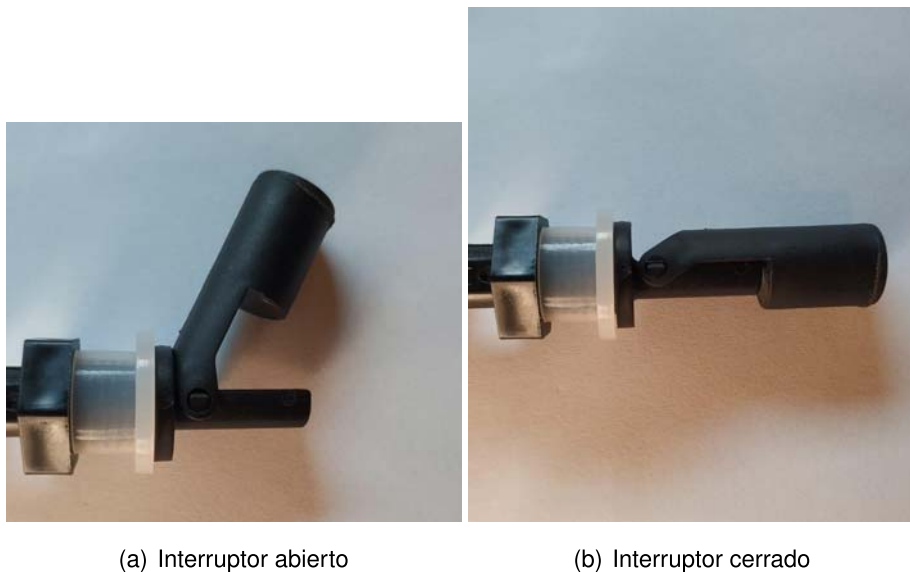


Figura 8.51 – Fusible montado en su soporte

8.2.6.4. Interruptores de nivel

Para evitar desbordamientos y que la bomba trabaje en vacío se han habilitado dos entradas para interruptores de nivel. Estos, junto con el circuito de acondicionamiento de la Figura 8.67, permitirán desactivar la bomba en caso de que se detecte una situación de peligro.

Los interruptores empleados son los de la Figura 8.52



(a) Interruptor abierto

(b) Interruptor cerrado

Figura 8.52 – Interruptores de nivel

En el fondo del depósito inferior, el interruptor se mantendrá como en la subFigura 8.52(a) y en caso de que se quede sin agua, haciendo trabajar a la bomba en vacío, tomaría la posición de la subFigura 8.52(b), cerrando el circuito y midiendo una señal de 0V en la patilla de la entrada. Para el interruptor superior, se mantendrá abierto hasta que detecte agua evitando así un posible desborde. Aunque el interruptor superior no es necesario para esta configuración de la planta, ya que el depósito superior nunca tendrá más volumen que el inferior, éste puede ser necesario en configuraciones más complejas.

8.2.7. Conexión eléctrico

A la hora de conectar los elementos de la placa, se utilizaron distintos tipos de conectores y de cables.

8.2.7.1. Cableado

La corriente a través de nuestros conductores de alterna será, como máximo, 0.6A mientras que para los conductores de 24V será de 5A. Se utilizó cable de cobre de 1.5mm² de sección, permitiendo hasta 13A [11]. Esto se debe a que es mucho más sencillo para conectar a los terminales y es mucho más fácil de encontrar en tiendas no especializadas. Para el sensor, ya que su consumo es mínimo, se utilizó un cable plano de 4 hilos y una sección de 0.34mm².

8.2.7.2. Conectores

Para llevar alimentación a los distintos elementos que forman la planta, se utilizaron conectores de forma que a la hora de realizar el montaje, la soldadura fuese mínima. Dado que cada elemento de la planta tiene un conector distinto, hemos tenido que utilizar una gama diversa siguiendo el esquema de la Figura 8.53.

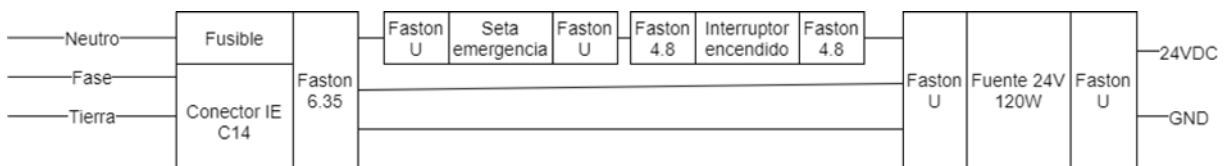


Figura 8.53 – Esquema conexionado eléctrico

Para conectar la planta a la tensión de línea se utiliza un conector IEC-C14 como el de la Figura 8.54, que además trae un compartimento para introducir un fusible.



(a) Conector IEC-C14 frontal

(b) Conector IEC-C14 trasero

Figura 8.54 – Conector IEC-C14

Para la electroválvula y el conector IEC-C14, utilizamos conectores faston para palas de 6.35mm, que ya traen termo-retráctil. Para conectar los interruptores necesitamos otro tipo de conector faston, en este caso más pequeño 4.8mm. A las conexiones que no traían termo-retráctil se les ha añadido para evitar accidentes.



Figura 8.55 – Conectores faston

Vemos en la Figura 8.56 el montaje de la electroválvula con los terminales de 6.35mm.



Figura 8.56 – Conectores electroválvula

Al otro lado de la electroválvula, para conectarlo a la PCB, se han utilizado conectores JST XH2.5mm (Figura 8.57). Utilizaremos estos conectores para las conexiones con la placa, a excepción de la entrada de 24V, que utilizará un terminal de tornillo. Estos se soldarán a la placa y se le conectarán los periféricos que se desee. Tienen la ventaja de tener una posición fija, por lo que será muy difícil conectarlos de forma incorrecta. Como adelantábamos antes, la

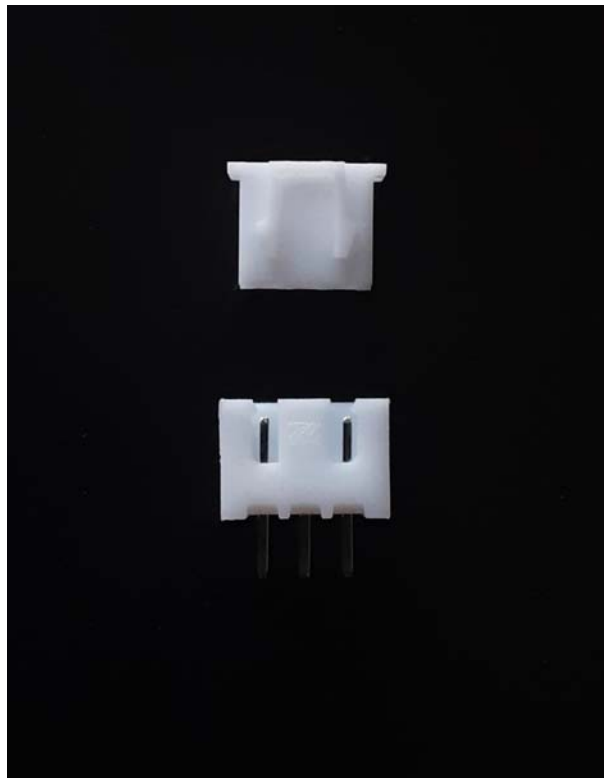


Figura 8.57 – Conectores JST

alimentación utilizará un conector distinto, en este caso un conector KF301-2p (Figura 8.58), este conector al utilizar un tornillo de sujeción, nos asegura tener un contacto firme. Finalmente y de forma totalmente opcional, utilizamos unos conectores de forma que no tengamos que soldar el ESP32 y el regulador de tensión directamente a la placa, con lo que será más fácil cambiarlos en caso de una avería. En la Figura 8.59 vemos el montaje del ESP32 sobre la PCB.



Figura 8.58 – Conectores KF301



Figura 8.59 – Montaje en placa del ESP32

8.3. Diseño PCB

Para juntar todas las señales y alimentaciones, se diseñó una placa de circuito impreso.

8.3.1. Entradas y salidas

En esta placa se realizarán los acondicionamientos de las señales y servirá como puente entre el mundo digital del ordenador y el analógico de la planta. Esta placa, además de tener las conexiones básicas para el funcionamiento de la planta, incluye conectores para conectar otros periféricos como sensores y actuadores o comunicaciones.

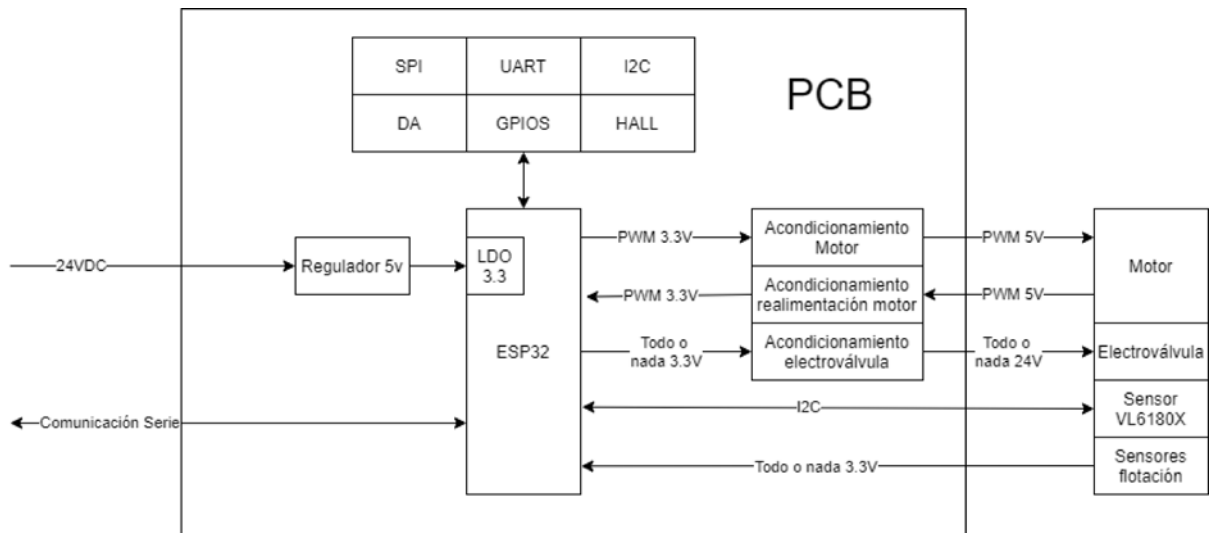


Figura 8.60 – Esquema E/S

8.3.2. Circuitos de Acondicionamiento

Las señales que necesitan acondicionamiento son las siguientes:

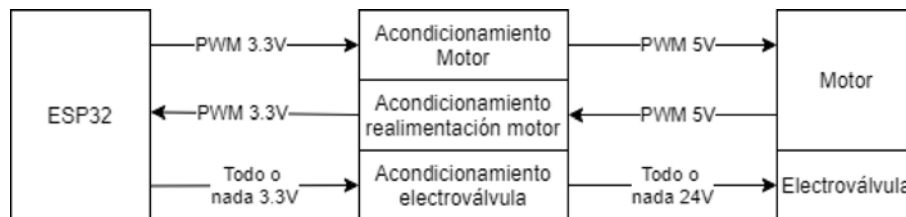


Figura 8.61 – Señales acondicionadas y sus niveles

- La señal PWM 3.3 del ESP32 con la que controlamos la potencia de la bomba necesita ser convertida a una PWM de 5.5V.
- La señal PWM que devuelve el motor trabaja a 5VDC y varía su frecuencia en función de la velocidad de rotación. Para poder muestrear esta señal, debemos convertirla a una señal 3.3 VDC.
- La electroválvula empleada necesita una señal de 24VDC para funcionar, que controlaremos con una señal todo o nada 3.3V.

El esquema eléctrico con todos los circuitos de acondicionamiento están disponibles en el Plano [22](#).

8.3.2.1. Acondicionamiento PWM motor

Aprovechando que la bomba escogida dispone de una señal de control, el control de la potencia se vuelve mucho más sencillo, a diferencia de la versión anterior de las mini-plantas, que utilizaba un amplificador de potencia. De hecho, si utilizásemos el mismo controlador (Ar-

duinoUNO), no necesitaríamos emplear ningún tipo de acondicionamiento, solo empleando la salida PWM. Al utilizar el ESP32, que funciona a 3.3V, debemos elevar esta señal a 5V.

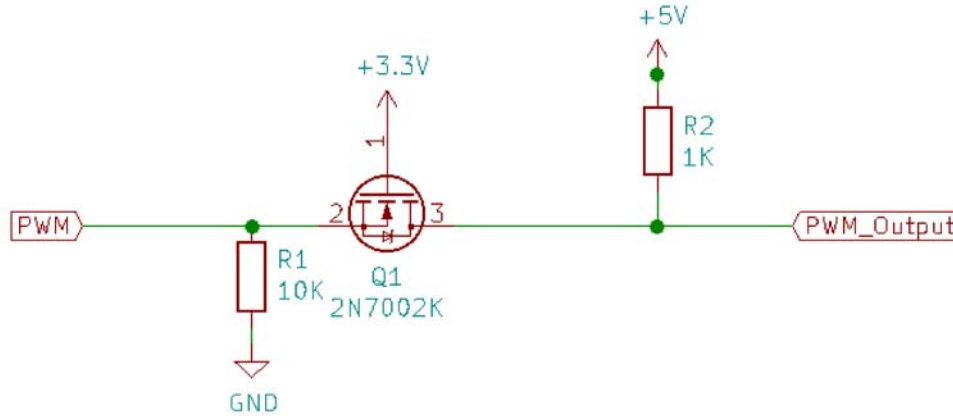


Figura 8.62 – Circuito acondicionamiento motor

El circuito de adaptación es el de la Figura 8.62. Este circuito es muy sencillo, consta sólo de un transistor mosfet 2N7002K y 2 resistencias. Para comprobar su funcionamiento se simuló su funcionamiento en Pspice:

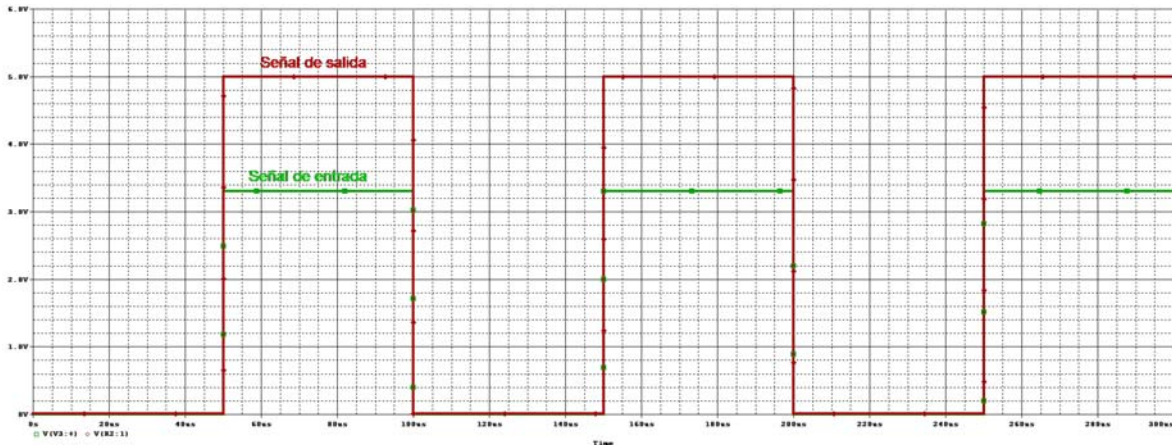


Figura 8.63 – Simulación circuito acondicionamiento motor

Como vemos en la imagen, la señal de salida sigue a la de entrada, con un valor de pico de 5V.

Las características principales del mosfet empleado se recogen en la tabla 8.9

Mosfet empleado	
Modelo	2N7002K
Tipo	Canal N
Tensión VGS máxima	20V
Tensión VDS máxima	±60V
Corriente máxima	300ma
Encapsulado	SOT-23

Tabla 8.9 – Características mosfet 2N7002K

8.3.2.2. Acondicionamiento Electroválvula

La electroválvula escogida funciona a una tensión de 24v, por lo que no podemos controlarla directamente con el ESP32. Esta es una señal todo o nada y no tiene que funcionar a gran velocidad. El circuito escogido para su control ha sido el de la Figura 8.64

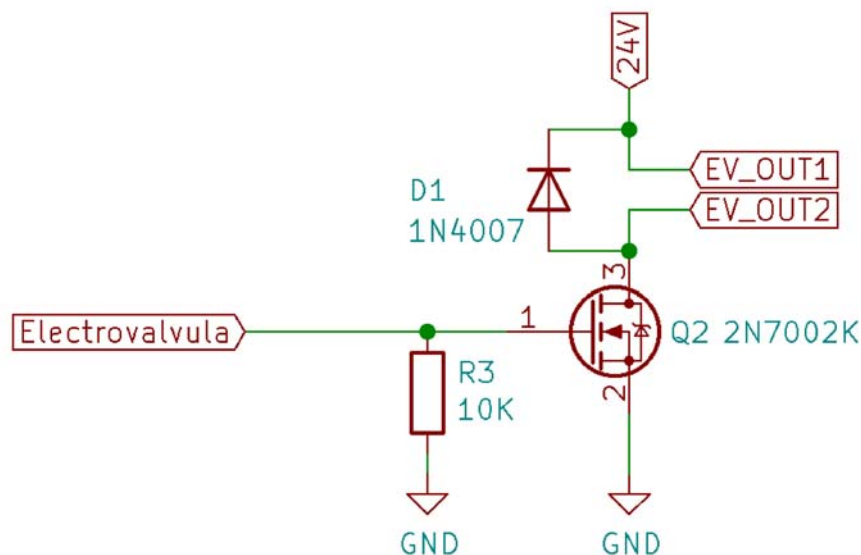


Figura 8.64 – Circuito acondicionamiento electroválvula

Se utiliza el mismo mosfet que para el motor, el 2N7002K cuyas características se recogen en la Tabla 8.9, una resistencia de pulldown y un diodo flyback para evitar que los picos de tensión cuando se enciende y se apaga la electroválvula dañen el mosfet o el ESP32. Este diodo tiene que soportar la misma intensidad que la electroválvula, por lo que utilizamos un 1N4007, un diodo de uso muy común en la electrónica.

El circuito se activará cuando pongamos una tensión de 3.3V en la puerta del transistor, permitiendo el flujo de corriente entre las otras dos patillas. Con la resistencia de pulldown nos aseguraremos de que la puerta del transistor no quede flotando y active la electroválvula sin quererlo. Simulamos este circuito en Pspice y obtuvimos la siguiente respuesta:

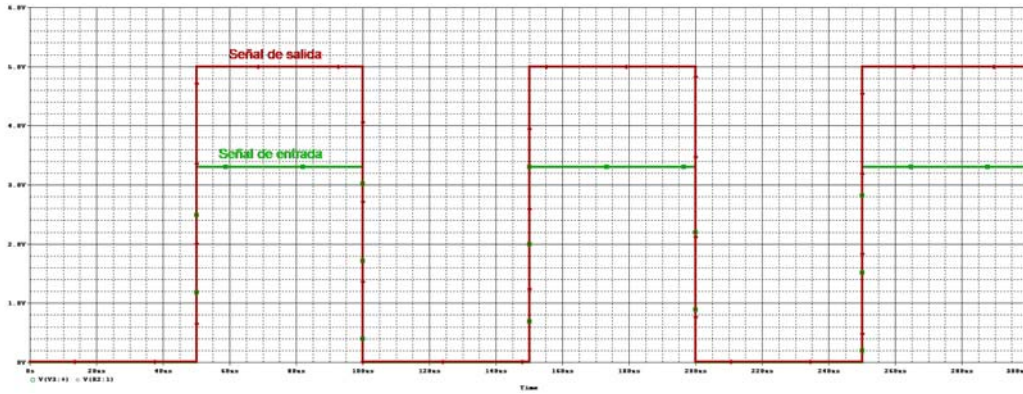


Figura 8.65 – Simulación del acondicionamiento de la electroválvula

La señal de salida sigue perfectamente a la señal de entrada. Igual que en el caso anterior, al tratarse de un circuito tan sencillo no se contemplaron otras opciones y se implementó directamente.

8.3.2.3. Acondicionamiento señal tachó motor

La bomba consta de una señal de realimentación, esta señal es una PWM de 5V con un 50% de ciclo de trabajo. El convertor analógico-digital del ESP32 no soporta tensiones de 5V, por lo que esta señal tiene que acondicionarse. Para esto, la opción más sencilla es un divisor de tensiones como el de la Figura 8.66

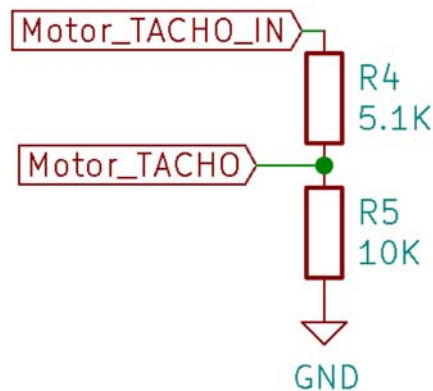


Figura 8.66 – Circuito acondicionamiento medición velocidad

Donde Motor Tacho In es la señal de salida del motor y Motor Tacho es la señal de entrada en el ESP32. Se han seleccionado las resistencias para que la tensión en el divisor de tensiones sea de 3.3V con resistencias normalizadas de la serie E24.

8.3.3. Acondicionamiento flotadores

Al ser los pines 34 y 35 pines de solo salida, no se pueden atar con la resistencia interna de pull-up o pull-down el ESP32, por lo que colocamos dos resistencias de 10k de pull-up como se ve en la Figura 8.67.



Figura 8.67 – Acondicionamiento señales de los flotadores

8.3.4. Diseño PCB

Una vez vistos los circuitos de acondicionamiento necesarios y la placa de control, se diseñó una placa de circuito impreso para juntar todos los elementos y montarlos en la planta. Al realizar esta placa era un requisito que fuese de bajo precio, por lo que se diseñó a dos capas.

Diseñamos esta placa totalmente en Kicad, empezando por el diseño del esquema de conexionado de los apartados anteriores. El esquema de conexionado está disponible en el apartado de planos [22](#).

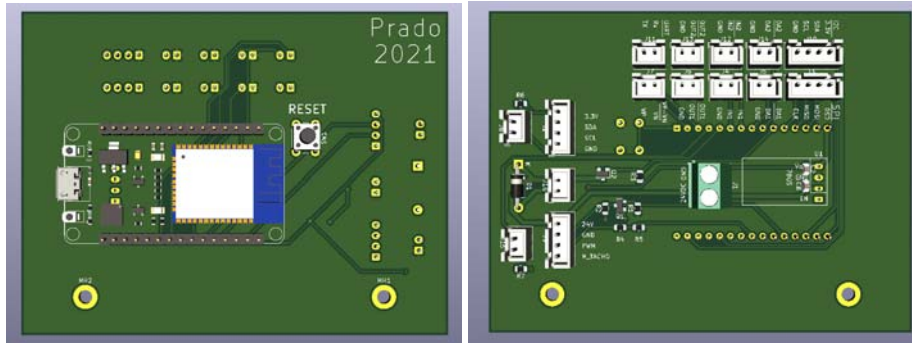
Una vez completado, se asignaron las huellas de los componentes y se pasó al diseño de la PCB.

Para el diseño hubo que tener en cuenta las capacidades técnicas del fabricante, en nuestro caso JLCPCB. Las consideraciones más críticas fueron las recogidas en la Tabla [8.10](#). El resto de las capacidades técnicas del fabricante se pueden consultar en su página web.

Limitaciones técnicas	
Dimensiones	400x500mm
Tolerancia dimensional PCB	0.2mm
Tamaño de agujero de vía mínimo	0.3mm
Tamaño de vía mínimo	0.4mm
Distancia entre vías	0.5mm
Distancia mínima entre pistas y agujeros	0.254mm
Distancia mínima entre pistas	0.127mm
Ancho de pista mínimo	0.127

Tabla 8.10 – Capacidades técnicas del fabricante [[16](#)]

Con las características del fabricante en el programa, se pasó al diseño de la PCB. La placa tiene unas dimensiones de 100x76 mm y tendrá componentes a los dos lados, pero solo tendrá componentes SMD en una de ellas, para facilitar el montaje. En la cara frontal estarán accesibles el ESP32 y el botón de reset y en la cara trasera todos los conectores y componentes.

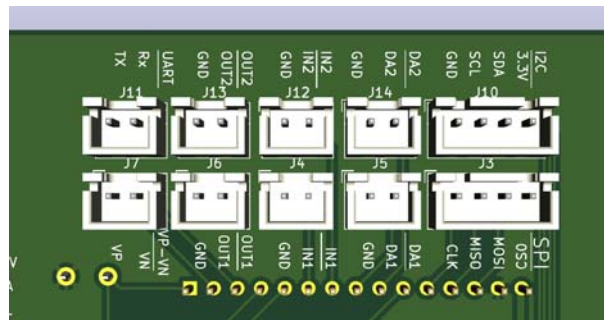
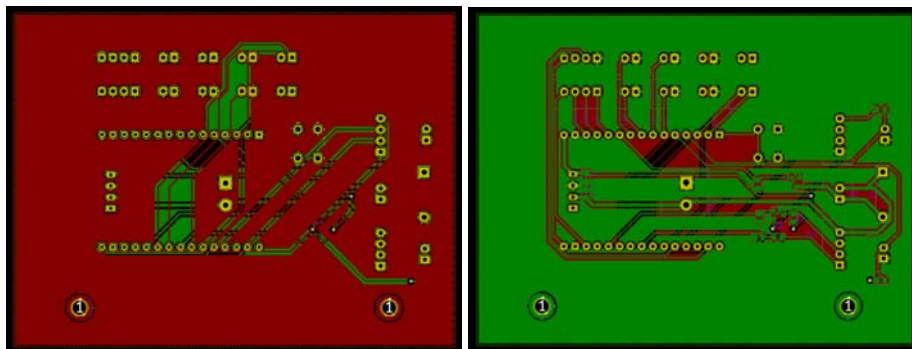


(a) Frente de la PCB

(b) Trasera de la PCB

Figura 8.68 – PCB

Para facilitar el montaje, la PCB tiene serigrafiado el nombre de cada pin (Figura 8.69)

**Figura 8.69 – Serigrafía de los pines**

(a) Pistas en la capa front de la PCB

(b) Pistas en la capa botom de la PCB

Figura 8.70 – Pistas PCB

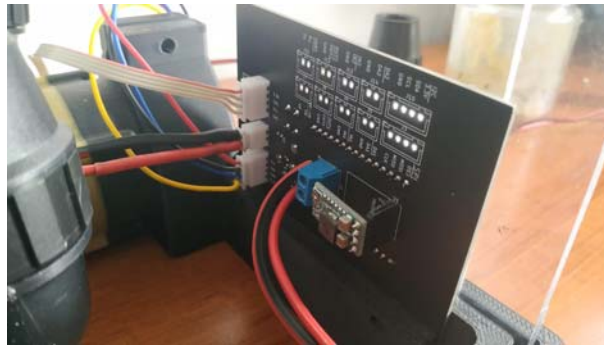
Todas las dimensiones tanto de las capas de cobre como de serigrafía están disponibles en el apartado de planos 20 y 21 a escala 1:1 en caso de que se quieran fabricar las placas en vez de encargarlas a un fabricante.

Una vez diseñada las placas, se enviaron al fabricante con los parámetros de la tabla 8.11.

Características principales PCB	
Dimensiones	100x76mm
Grosor PCB	1.6mm
Capas	2
Máscara de soldadura	Negro
Grosor del cobre	0.35um
Material	FR4
Acabado superficial	HASL

Tabla 8.11 – Características técnicas PCB

Para mantener el precio bajo pero permitir expandir el sistema, no se poblaron los componentes que no fuesen totalmente necesarios para el funcionamiento de la planta. En la Figura 8.71 podemos ver la placa ya montada en la planta.



(a) Montaje de la placa en planta 1



(b) Montaje de la placa en planta 2

Figura 8.71 – Uniones entre elementos de la planta

8.4. Aprovisionamiento material fontanería

8.4.1. Conexionado

Para evitar fugas utilizamos conectores como los de la Figura 8.72, que con las arandelas de goma impiden que pierdan agua.



Figura 8.72 – Conectores

Todas las roscas empleadas en el proyecto son de 1/2' BSP.

Para el desagüe del depósito superior utilizamos una llave de paso con una rosca de 1/2" BSP y conexión directa para tubo de 20mm (Figura 8.73). La ventaja de utilizar este tipo de conector es que podremos variar el diámetro del desagüe y, al utilizar el tubo evitamos salpicaduras y el introducir burbujas de aire en la admisión de la bomba, lo que la haría cavitación.

En caso de que se quiera utilizar un diámetro exacto, hemos diseñado unos adaptadores (Figura 8.74) que permiten ajustar el tamaño del agujero de salida. Este tipo de adaptador se conecta a las roscas de 1/2', por lo que los podremos conectar tanto a la electroválvula como al propio desagüe. El diámetro por defecto que hemos escogido es de 10mm. En los archivos finales se adjunta el modelo paramétrico, con el que se pueden obtener múltiples diámetros de salida.

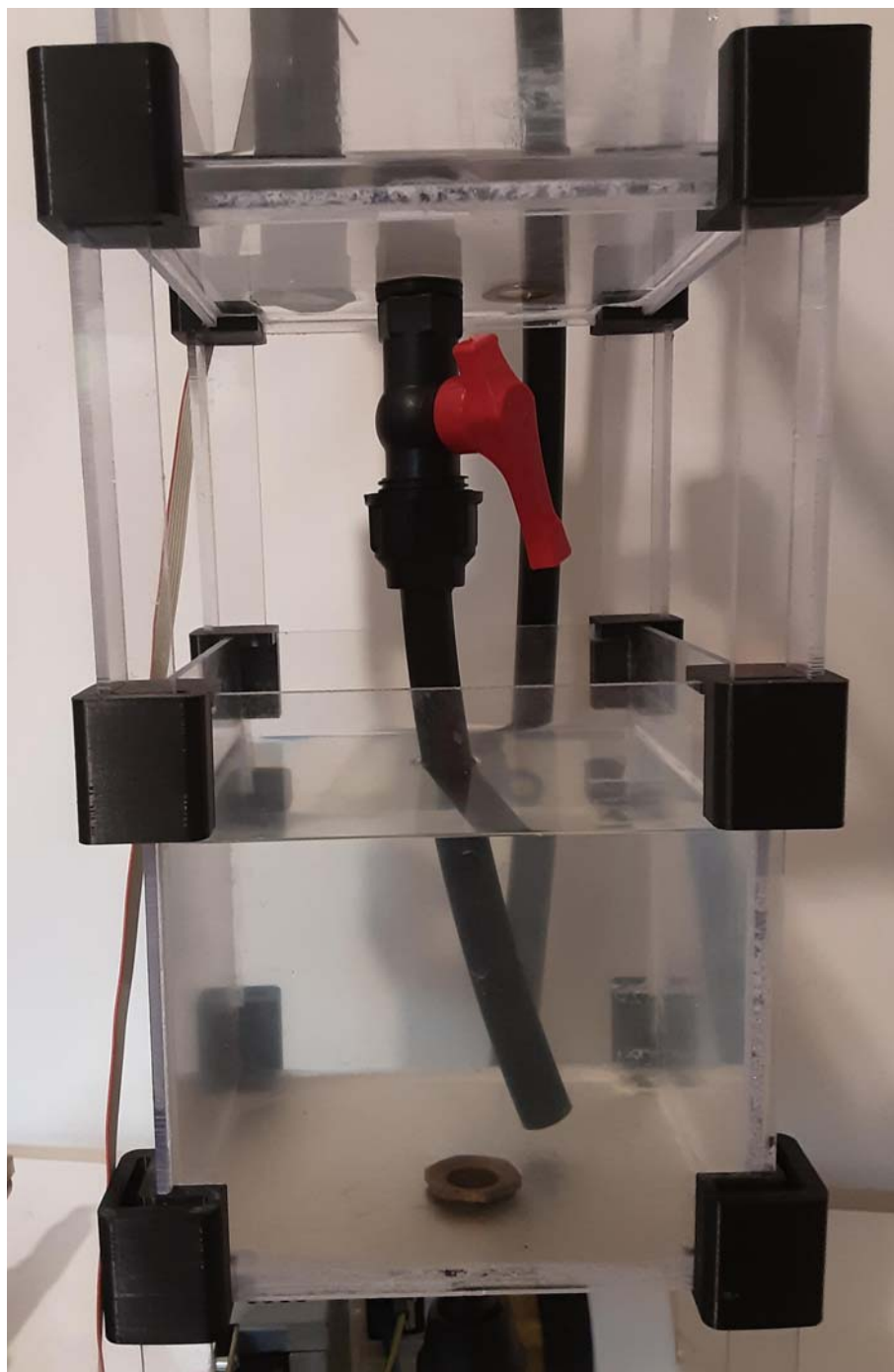


Figura 8.73 – Llave de paso



Figura 8.74 – Adaptador desagüe



Figura 8.75 – Montaje desagüe fijo



Figura 8.76 – Montaje electroválvula

Para las conexiones con tubería, utilizaremos un conector arponado como el de la Figura 8.77, con un diámetro de 20mm.



Figura 8.77 – Conector Arpón

Para las conexiones en codo, empleamos el conector de la Figura 8.78:



Figura 8.78 – Conector 90° 1/2' a 20mm

Este conector emplea la misma rosca que el motor y para la otra conexión utiliza un sistema parecido a una rosca de apriete, evitando fugas. La principal ventaja de utilizar este tipo de conector es que, al contrario que con los conectores de arpón, nos permite ajustar las distancias de la conexión sin arriesgarnos a tener fugas.

Para evitar salpicaduras, añadimos un codo más. En este caso en vez de tener 1 rosca de 1/2' y un conector de tubería, ambas conexiones son para tubería de 20mm.



Figura 8.79 – Conector 90° 20mm a 20mm

8.4.2. Tubería

Para las tuberías empleamos tubería de polietileno de 20mm, con un grosor de 2mm. Estas tuberías tienen la ventaja de ser rígidas, pero fácilmente moldeables si se calientan.

8.4.3. Sellado conexiones

Algunas de las dimensiones, sobre todo de las roscas metálicas, no son capaces de sellar de forma correcta y terminaban fugando. Para solucionar esto, utilizamos una pequeña cantidad de sellador de silicona en las roscas. Después de dejarlos secar durante 24 horas, no se detectó ninguna fuga. Aplicamos este producto a las entradas roscadas del motor y a la rosca del conector en arpón que alimenta al motor (Figura 8.78).

8.5. Programación

Como vimos en el apartado de requisitos de diseño, utilizaremos las mismas funciones de comunicación que se vienen usando en la escuela [3]. La ventaja de emplear estos códigos es que los programas escritos para las plantas de la escuela serán totalmente compatibles con las mini-plantas. Aunque estos códigos ya están escritos, vamos a explicar su funcionamiento ya que será necesario para entender la programación firmware de las mini-plantas.

8.5.1. Códigos DAQ

Para realizar la comunicación con las plantas desde Matlab se utilizan 4 funciones:

- `DAQ_Start()`: Que iniciará la comunicación con la planta y establece los parámetros de esta comunicación.
- `DAQ_Read()`: Con la que leeremos de la planta
- `DAQ_Write()`: Con la que actuaremos sobre la planta
- `DAQ_Stop()`: Que terminará la comunicación con la planta y reiniciará sus parámetros.

La comunicación se organiza en canales de entrada y canales de salida. Un canal es, simplemente, una variable sobre la que queramos escribir o leer y que estará asignada a un canal concreto. Por ejemplo, el canal 1 de lectura es la medida de nivel, y el canal 1 de salida, es la señal de control del motor.

`DAQ_Write()`: Esta función no recibe ningún parámetro de entrada y tiene que ser editada en la propia función. Los parámetros que editaremos serán el puerto COM a través del cual se realizará la comunicación y el baudrate, que establece la velocidad de transmisión de datos.

`DAQ_Read()`: La función `DAQ_Read` tampoco recibe parámetros de entrada, en cambio, definiremos cuantos parámetros de salida queremos leer. Por ejemplo, si solamente se quisiera leer el primer canal, el código sería el siguiente: `Canal1=DAQ_Read()`. Para dos canales, `[Canal1, Canal2]=DAQ_Read()` y así sucesivamente. Esta función fue diseñada para trabajar con

medidas analógicas del Arduino, que varían entre 0 y 255, y nos devolverá un valor escalado entre 0 y 100. Esto es muy importante si lo que queremos medir es, por ejemplo, una distancia y no un porcentaje de nivel.

DAQ_Write(): Su funcionamiento es prácticamente igual a la de DAQ_Read(), pero en este caso los canales de entrada se le incluirán en la llamada a la función. Por ejemplo,

DAQ_Write(Canal1, Canal2) escribiría en los dos primeros canales. Igual que DAQ_Read(), el valor que introducimos, de 0 a 100, será escalado a un valor entre 0 y 255.

DAQ_Stop(): Con esta función primero escribiremos un valor de 0 en todas las salidas de la planta para asegurarse de que no queda ningún elemento encendido y luego terminará la conexión.

Estas tres últimas funciones están diseñadas para trabajar a través del puerto serie. En el momento en el que se quiera realizar una lectura o una escritura, matlab empezará la comunicación y enviará un código en función de si queremos realizar una escritura o una lectura y del número de lecturas que queramos hacer. Después de esto, enviará los datos a través del puerto serie de forma ordenada hasta terminar la transmisión.

8.5.2. Firmware planta

Ya que no podemos modificar las funciones DAQ, tendremos que ajustar nuestra programación del ESP32 a éstas. El código se dividirá en 3 partes: inicialización, comunicación y acción.

En la primera parte, que se corresponde a las definiciones (código 14.1) y en el void_setup() (código 14.2), inicializaremos las variables necesarias, definiremos los pines como entradas o salidas y su tipo y iniciaremos las comunicaciones serial e I2C.

Una vez terminada la inicialización entraremos en el void_loop() (código 14.5) esperando a recibir datos por el puerto serie. Para mantenernos en esta parte, utilizaremos la función Serial.available(), que será distinto de 0 cuando recibamos datos. Cuando recibamos datos, procesaremos si se trata de una medida o de una escritura y, posteriormente, de cuantos canales. En caso de que sea una lectura, realizaremos la medida del canal seleccionado y los enviaremos por el puerto a través de la función Serial.Write().

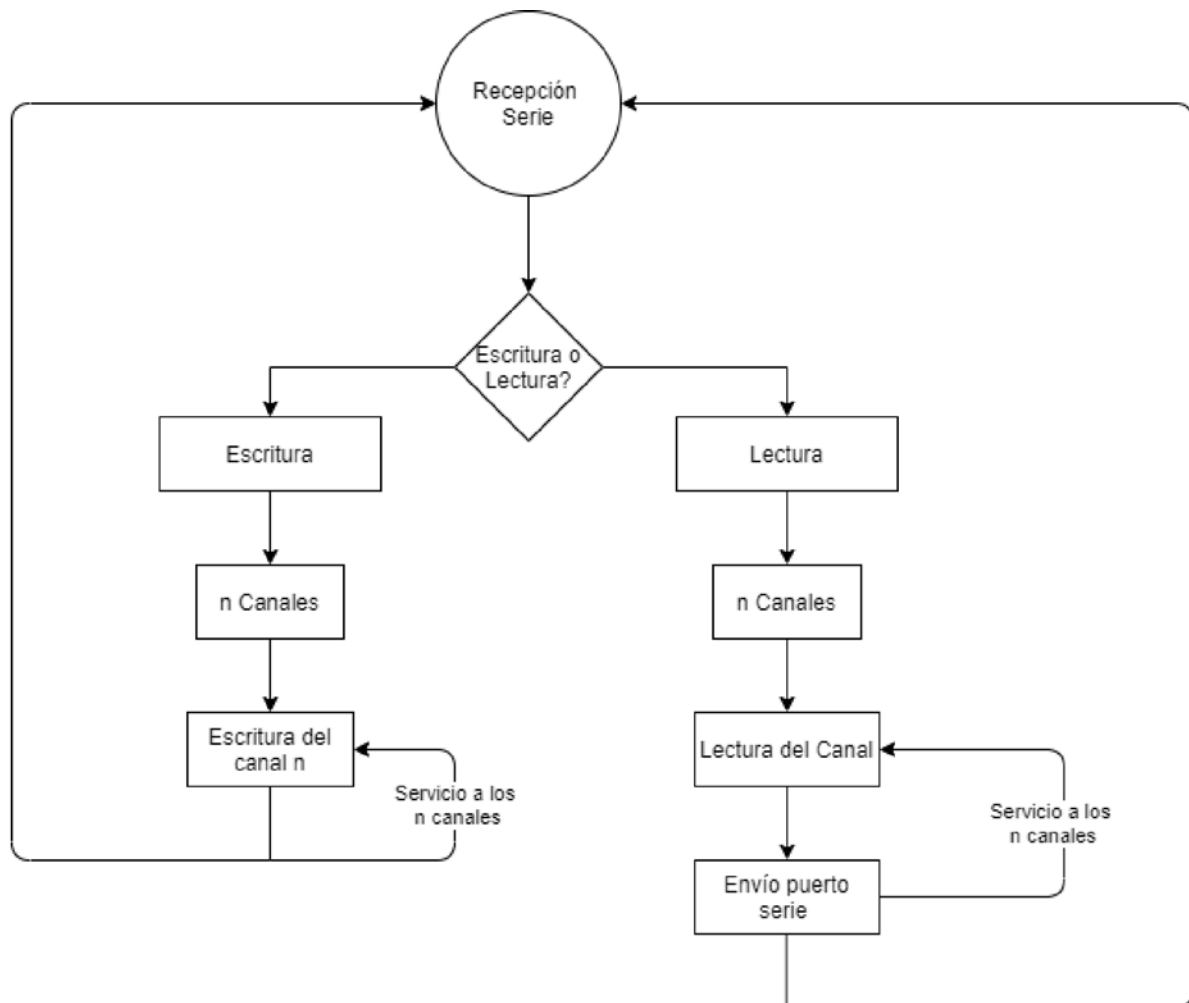


Figura 8.80 – Esquema general de comunicación

En la parte de acción, actuamos sobre la planta, que puede ser de varias maneras:

Para la lectura podemos leer los parámetros de la [Tabla 8.12](#)

Lectura		
Canal	Medición	Tipo de medida
Canal 0	Nivel	Lectura I2C
Canal 1	Señal Tacho	Frecuencia
Canal 2	Analógica 1	Analógica
Canal 3	Analógica 2	Analógica
Canal 4	Digital 1	Digital
Canal 5	Digital 2	Digital

Tabla 8.12 – Canales y señales de lectura

Para la lectura del nivel, hemos creado una función llamada `Sensor_Read()`. En ella realizaremos múltiples medidas del sensor para realizar un filtrado, y la escalaremos a un valor entre 0 y 255. Empleamos la librería VL6180X de Adafruit [15], que facilita enormemente la

comunicación con el sensor y nos permite ver si hubo un error en la medida.

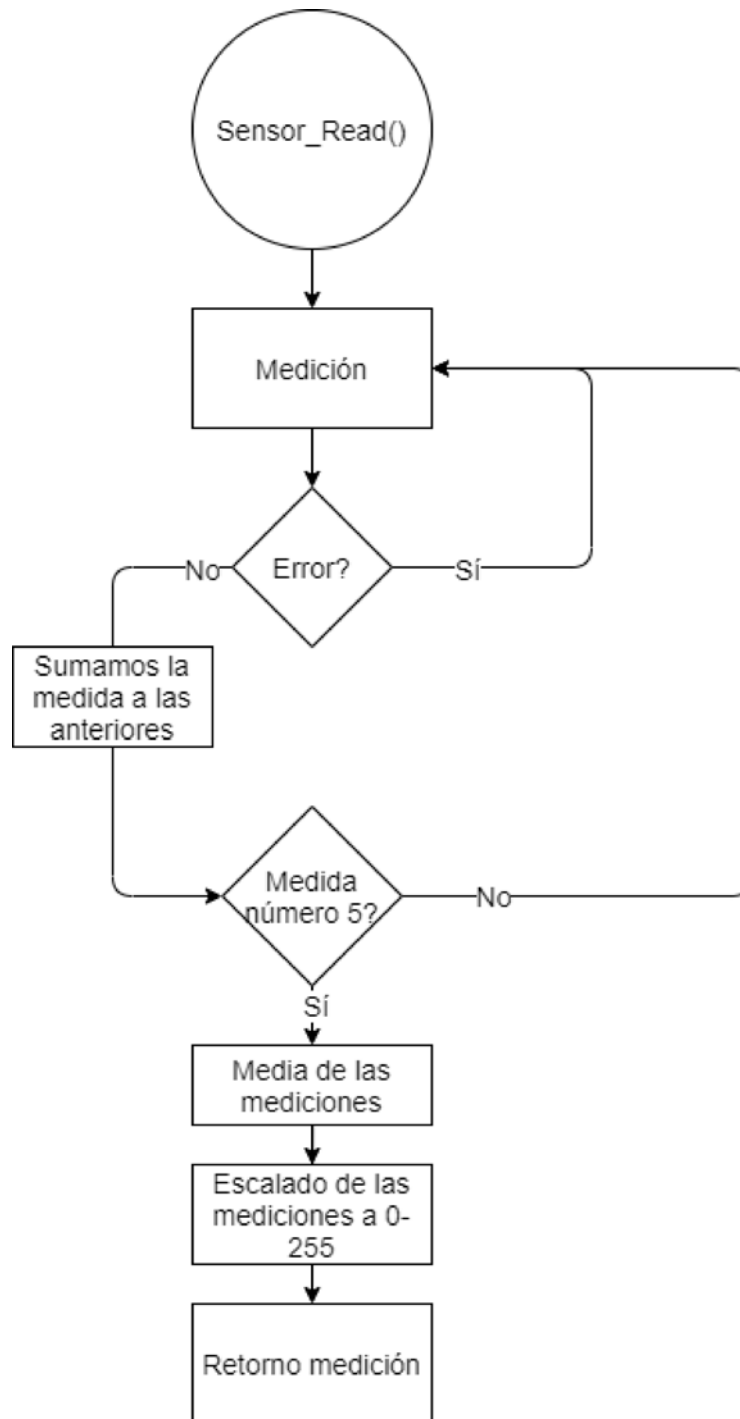


Figura 8.81 – Función Sensor_Read()

Para la lectura de la frecuencia de la señal Tacho, asociada al canal 1, se creó una función Freq_Read(Canal,timeout) que medirá el tiempo que pasa el canal seleccionado a nivel alto después de haber estado a nivel bajo y antes de que haya un timeout, en cuyo caso devolverá un 0. Sabiendo que la señal de entrada tiene un ciclo de trabajo del 50%, obtenemos la frecuencia fácilmente. En este caso, mandamos la medida de frecuencia directamente, que tendrá un valor entre 0 y 255 ya que si la multiplicásemos por 2.55 (y así contrarrestar el es-

caldo de Matlab) antes de enviarla, nos pasaríamos de los 8 bits del mensaje. Para obtener el valor real de esta medida, solo tendremos que multiplicarla por 2.55 en Matlab.

El resto de las medidas, tanto analógicas como digitales, se realizaron directamente con las funciones propias del ESP32, `digitalRead` y `analogRead()` con la consideración de que la medida analógica del ESP32 es de 12 bits, por lo que enviamos solo los 8 más significativos.

Para la escritura tenemos las señales recogidas en la Tabla 8.13.

Escritura		
Canal	Señal	Tipo de Señal
Canal 0	Control Bomba	PWM @10Khz
Canal 1	Electrovalvula	Digital
Canal 2	Salida 1	GPIO
Canal 3	Salida 2	GPIO
Canal 4	Analógica 1	Analógica
Canal 5	Analógica 2	Analógica

Tabla 8.13 – Canales y señales de salida

Para las salidas PWM hemos definido una resolución de 8 bits y 10 KHz, por lo que podremos mandar la señal a la planta directamente con la función `ledcWrite(CanalPWM, Dato)`, que generará la señal con un ancho de pulso proporcional a la variable `Dato`.

Para las salidas digitales, empleamos directamente la función `DigitalWrite(Canal,Dato)` en función de si la señal enviada por Matlab es 0 o cualquier otro valor.

Las señales GPIO no se han configurado como PWM, y funcionan de la misma forma que la señal del motor, pero se pueden cambiar fácilmente a cualquier tipo de salida.

Y finalmente, para las salidas analógicas utilizamos la función nativa `dacWrite(Canal, Dato)`. Esta señal también es de 8 bits, por lo que la mandaremos directamente a la función de salida.

8.5.3. Seguridad

Comprobaremos en todo momento el estado de los flotadores. Si el nivel lógico pasa de estar a nivel alto con la resistencia de pull-up a un nivel bajo, significa que el depósito inferior está casi vacío y debemos apagar la bomba. Realizaremos esta comprobación dos veces, la primera a la hora de recibir los datos, ya que al ser la comunicación bloqueante no podemos asegurar que el nivel se mantenga entre lecturas. Y la segunda, que se ejecutará fuera del apartado de comunicaciones.

8.6. Calibración y comprobación del funcionamiento del sistema

Una vez montada la planta siguiendo el Anexo 14.1, se realizó una calibración del sensor. Para ello lo primero fue vaciar por completo el depósito superior y anotaron múltiples medidas. Posteriormente se llenó el depósito con 4 litros de agua, y se anotaron las medidas. Con estos

dos valores del sensor, el superior y el inferior, realizamos la calibración de la planta. En el código 14.1 disponemos de dos variables a las que asignaremos el valor con la planta llena y con la planta vacía respectivamente: `int Nivel_0=20;` `int Nivel_100=135;` El motivo de realizar esta calibración es que, al utilizar el flotador, no medimos directamente la superficie del agua, por lo que tendremos un pequeño error de offset. Finalmente, se añadieron 0.5l más de agua, para cubrir el volumen de agua de las tuberías y la bomba.

8.6.1. Regulador ejemplo

Para comprobar el correcto funcionamiento de la planta, programaremos un sencillo regulador. Para calcular los parámetros del regulador utilizaremos el método de Relay Feedback Simplificado[2]. Con este método realizaremos un control de histéresis: Si el nivel de la planta está por debajo de 45, la señal de control será 100 y si está por encima de 55, la señal será 0. Con este método tan sencillo haremos oscilar al sistema y podremos obtener los parámetros críticos, con los que calcularemos nuestro regulador. En nuestro caso emplearemos una ventana de histéresis centrada en 50, y con una amplitud de 10.

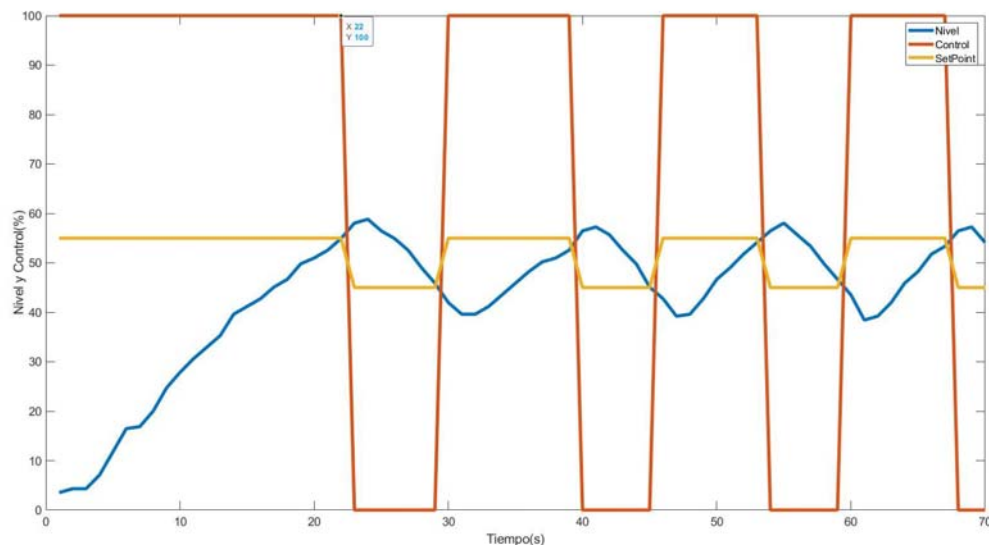


Figura 8.82 – Señales empíricas

Con esas señales y la tabla 8.14, calculamos los parámetros del regulador deseado:

Parámetros obtenidos		Regulador					
Ventana histéresis	10			P	PI	PD	PID
Kc	3.5081	Parámetros del regulador	Kp	$0.5 \cdot Kc$	$0.45 \cdot Kc$	$0.8 \cdot Kc$	$0.6 \cdot Kc$
A	18.82		Ti	0	$Tc/1.2$	0	$0.6 \cdot Kc$
TC	14		Td	0	0	$0.8 \cdot TC$	$TC/8$

Tabla 8.14 – Parámetros de la planta y fórmulas para cada regulador.

Por lo tanto, se obtuvieron los parámetros de la Tabla 8.15.

Parámetros obtenidos		Regulador					
Ventana histéresis	10	Parámetros del regulador	Kp	P	PI	PD	PID
Kc	3.5081			1.75	01.58	2.8	2.1
A	18.82			0	15.68	0	11.292
TC	14	Td	0	0	1.75	1.75	

Tabla 8.15 – Parámetros de la planta y parámetros para cada regulador deseado.

Una vez calculados los parámetros del regulador PI, lo implementamos en la planta y obtuvimos la respuesta de la Figura 8.83, para un set point del 40 %

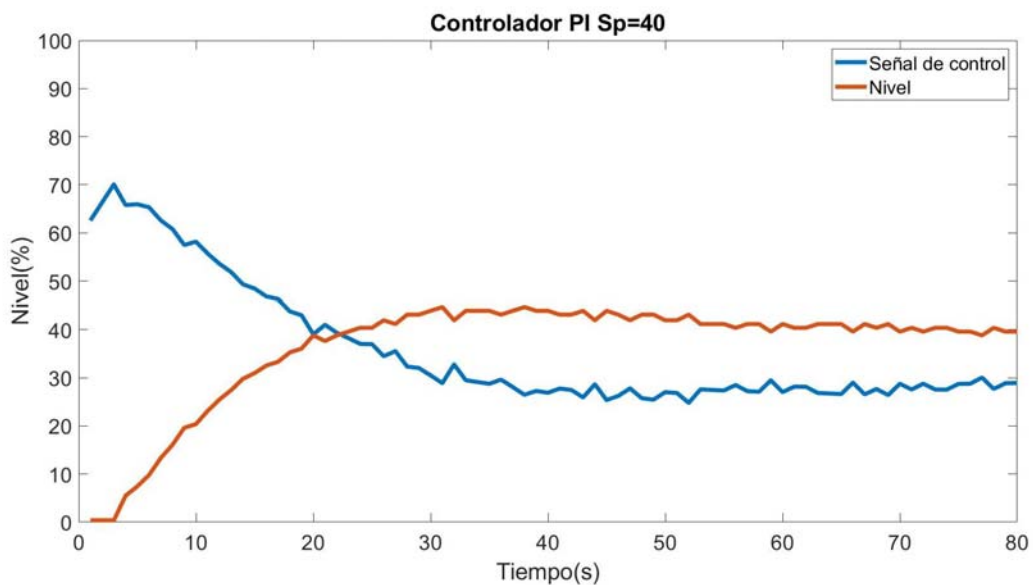


Figura 8.83 – Regulador PI

9 ORDEN DE PRIORIDAD ENTRE LOS DOCUMENTOS

1. Planos
2. Pliego de Condiciones
3. Presupuesto
4. Memoria

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MINIPLANTA DE CONTROL DE NIVEL MEDIANTE ARDUINO O PLACA SIMILAR.

ANEXOS

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JULIO DE 2021

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JAVIER PRADO PICO

Índice del documento ANEXOS

10 DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA	121
11 CÁLCULOS	124
11.1 Cálculo del caudal de la bomba	124
11.2 Alimentación	125
11.3 Anchos de pista circuitos de potencia	126
11.4 Anchos de pista señales	126
12 ANEXOS EN FUNCIÓN DEL ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL TFG	128
12.1 Seguridad	128
12.2 Medio ambiente	128
12.3 Eficiencia energética	128
12.4 Emplazamiento del proyecto, Geotécnicos, etc.	128
12.5 Gestión de residuos	128
13 ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA	128
13.1 Estudio Básico de Seguridad y Salud o Estudio de Seguridad y Salud, según corresponda	128
13.2 Estudio de Impacto Ambiental	128
14 OTROS ANEXOS	129
14.1 Montaje de la planta	129
14.2 Códigos de programación	133
14.2.1 Arduino	133
14.3 Matlab	143
14.4 Tiempos y material necesario para la impresión 3D	147

10 DOCUMENTACIÓN DE PARTIDA



ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

ASIGNACIÓN DE TRABAJO FIN DE GRADO

En virtud de la solicitud efectuada por:

En virtud da solicitude efectuada por:

APELLIDOS, NOMBRE: Prado Pico, Javier

APELIDOS E NOME:

Fecha de Solicitud: FEB2021

Fecha de Solicitude:

Alumno de esta escuela en la titulación de Grado en Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática, se le comunica que la Comisión de Proyectos ha decidido asignarle el siguiente Trabajo Fin de Grado:

O alumno de esta escola na titulación de Grado en Enxeñería en Electrónica Industrial e Automática, comunícaselle que a Comisión de Proxectos ha decidido asignarlle o seguinte Traballo Fin de Grado:

Título T.F.G: Diseño, e implementación de miniplanta de control de nivel mediante Arduino o placa similar.

Número TFG: 770G01A217

TUTOR:(Titor) Quintián Pardo, Héctor

COTUTOR/CODIRECTOR: Esteban Jove Pérez

La descripción y objetivos del Trabajo son los que figuran en el reverso de este documento:

A descrición e obxectivos do proxecto son os que figuran no reverso deste documento.

Ferrol a Miercoles, 23 de Junio del 2021

Retirei o meu Traballo Fin de Grado o día _____ de _____ do ano _____

Fdo: Prado Pico, Javier

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVO:OBJETO:

El objeto de este Trabajo Final de Grado es el de diseñar e implementar una miniplanta de control de nivel de agua mediante placas de bajo coste tipo Arduino o similar. Dicha planta será modular, diseñada en 3D con materiales de bajo coste y fácil adquisición. Se diseñará tanto la planta 3D, como la placa PCB necesaria para conectarse a la planta de nivel, y todos los componentes electrónicos necesarios.

ALCANCE:

Estudio del dispositivo electrónico y material a emplear.

Análisis de las distintas configuraciones de la miniplanta.

Implementación de los circuitos de adaptación de señales necesarios en PCB.

Diseño de carcasa 3D tanto para los depósitos como para placa PCB.

Implementación física y testeo del sistema.

11 CÁLCULOS

11.1. Cálculo del caudal de la bomba

Para realizar el cálculo del caudal de la bomba se empleó el software matlab, que además realiza la comunicación con la planta. El proceso para el cálculo fue el siguiente:

En primer lugar se cerró la llave de paso para mantener todo el volumen de agua dentro del depósito superior. Una vez hecho esto se introduce la consigna de potencia. En nuestro caso realizamos medidas cada 10% de potencia y se almacena en un vector la evolución del nivel. En la Figura 11.1 vemos la evolución del nivel para una entrada del 30 %.

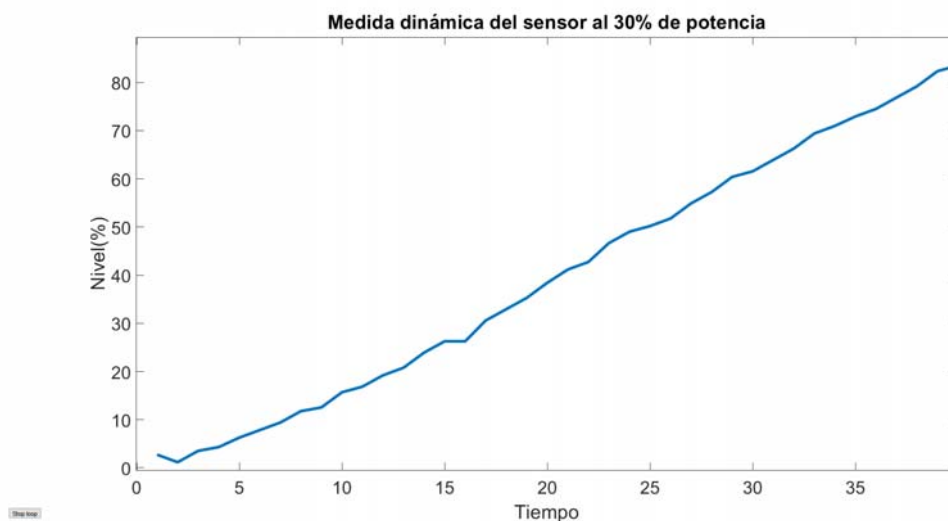


Figura 11.1 – Evolución del caudal para una potencia del 30 %

Para evitar errores en la medida, no se cogen los valores del inicio de la medición y se realiza una aproximación con la herramienta Basic fitting de Matlab, que nos aproximará la gráfica a una recta.

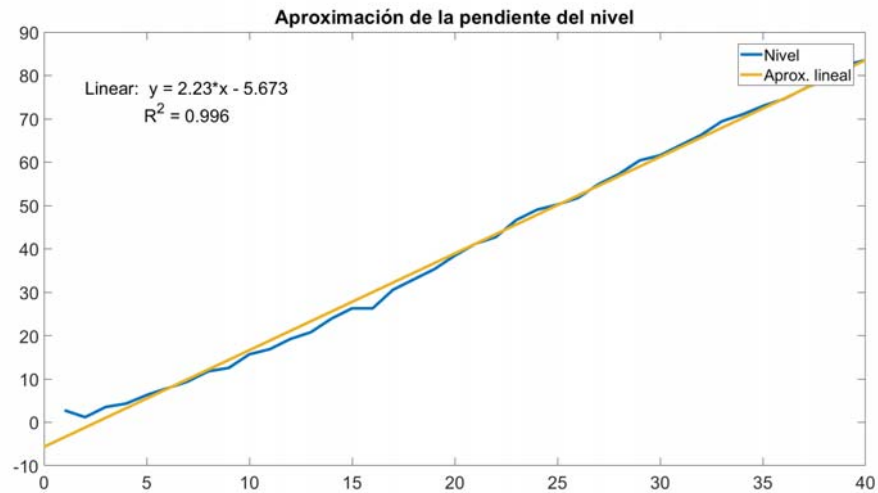


Figura 11.2 – Aproximación lineal a la evolución del caudal

Al hacer esto obtendremos la pendiente, para el caso del 30 % de potencia, la pendiente es 2.23. Con este valor y con un periodo de muestreo de 1 segundo, obtenemos la variación de nivel por segundo. que es de un 2.23 % por segundo. Sabiendo que la base de nuestro depósito es de 170mm x 170mm y que al escalar el nivel de 0 a 100%, un 1 % en Matlab equivale a 1.4mm en la planta, obtenemos la variación del nivel de la planta por segundo en mm³ por segundo. Convertimos este valor a litros por minuto y lo graficamos para cada valor de potencia, obteniendo la gráfica:

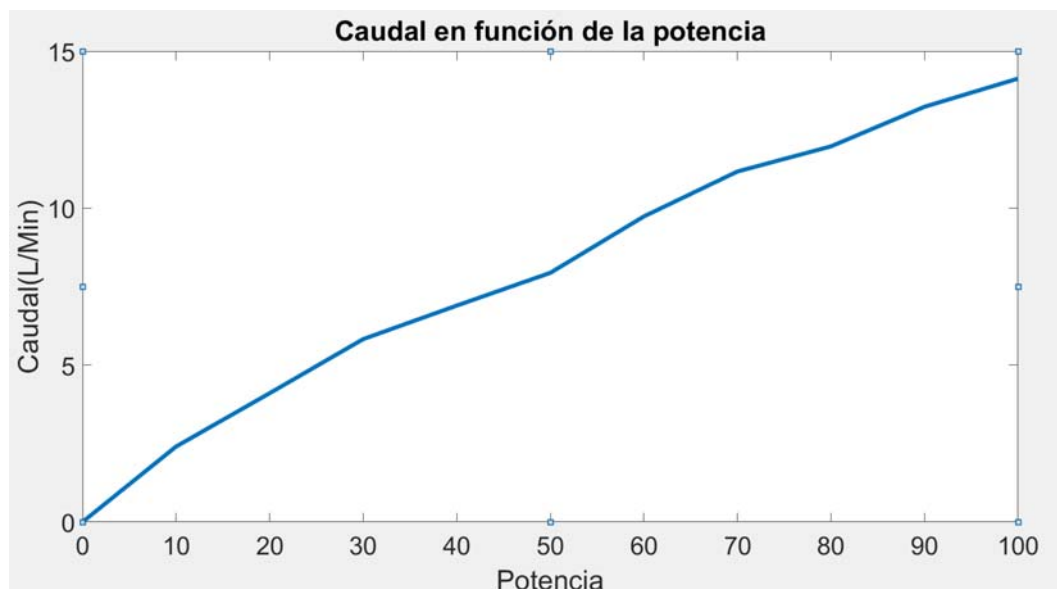


Figura 11.3 – Caudal(L/min) para cada rango de potencia

11.2. Alimentación

En la siguiente tabla recogemos los consumos de cada una de las partes del proyecto, con las que calcularemos la potencia de la fuente de alimentación. Para la tarjeta de adquisición

tomamos un valor de corriente superior a lo que realmente va a consumir en la versión final para tener en cuenta pérdidas en la conversión del regulador conmutado y la posible expansión del sistema

	Tensión	Corriente	Potencia
Bomba	24VDC	2.3A	55W
Electroválvula	24VDC	100mA	2.4W
Tarjeta de adquisición	5V	1.5A	7.5W
Potencia total			64.9W

Tabla 11.1 – Tensiones, corrientes y potencias de los elementos de la planta

11.3. Anchos de pista circuitos de potencia

Como se ve en el apartado anterior, la mayor parte de la corriente circulará a través de las pistas de 24V que van al motor, que será de 2.3A como máximo. Si sumamos todas las corrientes, suponiendo una eficiencia de conversión del regulador conmutado del 90 % obtenemos que la corriente que consume 0.34A, obteniendo así un consumo total máximo en la pista de alimentación de 2.74A, que aproximaremos a 3A. Para realizar los cálculos de los anchos de pista se utilizó la herramienta PCB calculator, incluida en el software Kicad.

Los parámetros de entrada y salida fueron los recogidos en la Figura 11.4 Con ese ancho de conductor como mínimo, finalmente utilizamos un ancho de pista de 0.75mm en las PCBs. Introduciendo este valor en la calculadora, obtenemos un valor de corriente máxima de 3.3A cumpliendo las condiciones de temperatura.

11.4. Anchos de pista señales

Las pistas que se emplearon para las señales soportarán una corriente muy pequeña, por ello se ha empleado un ancho de pista del doble de las capacidades técnicas de fabricante, siendo el ancho de pista final de 0.25mm. Con este valor de pista, el programa nos devuelve los valores de la Figura 11.5, que nos permite hasta 1.5A.

Calculadora de placas

Reguladores Ancho de pista Espaciado eléctrico TransLine Atenuadores RF Código color Clases de placas

Parámetros:

Intensidad: **3** A

Aumento de temperatura: 35 grados C

Longitud del conductor: 70 mm

Resistividad: 1.72e-8 Óhmetro

Pistas de la capa externa:

Ancho de pista: 0,639125 mm

Grosor de pista: 0.035 mm

Área de sección: 0,0223694 mm x mm

Resistencia: 0,0538236 Ohm

Caída de voltaje: 0,161471 Volt

Pérdida de potencia: 0,484412 Vatios

Pistas de la capa interna:

Ancho de pista: 1,66264 mm

Grosor de pista: 0.035 mm

Área de sección: 0,0581926 mm x mm

Resistencia: 0,0206899 Ohm

Caída de voltaje: 0,0620698 Volt

Pérdida de potencia: 0,186209 Vatios

Si especifica uno d ellos anchos de pista, se calculará la intensidad máxima admitida. También se calculará el ancho necesario de la otra pista para admitir esa corriente. Los valores de control se muestran en negrita.

Los calculos son válidos para intensidades de hasta 35A (externos) o 17,5A (internos), la temperatura aumenta hasta 100°C y las pistas tendrán un ancho de 10mm (400mil). La fórmula, del IPC 2221, es

$$I = K * dT^{0.44} * (W*H)^{0.725}$$

donde:

I = intensidad máxima en amperios

dT = aumento de temperatura sobre ambiente en °C

W,H = ancho y grosor en mils

K = 0,024 para pistas internas y 0,048 para externas

Figura 11.4 – Anchos de pista para circuitos de potencia

Calculadora de placas

Reguladores Ancho de pista Espaciado eléctrico TransLine Atenuadores RF Código color Clases de placas

Parámetros:

Intensidad: 1,51907 A

Aumento de temperatura: 35 grados C

Longitud del conductor: 70 mm

Resistividad: 1.72e-8 Óhmetro

Pistas de la capa externa:

Ancho de pista: 0.25 mm

Grosor de pista: 0.035 mm

Área de sección: 0,00875 mm x mm

Resistencia: 0,1376 Ohm

Caída de voltaje: 0,209024 Volt

Pérdida de potencia: 0,317523 Vatios

Pistas de la capa interna:

Ancho de pista: 0,65036 mm

Grosor de pista: 0.035 mm

Área de sección: 0,0227626 mm x mm

Resistencia: 0,0528938 Ohm

Caída de voltaje: 0,0803494 Volt

Pérdida de potencia: 0,122056 Vatios

Si especifica uno d ellos anchos de pista, se calculará la intensidad máxima admitida. También se calculará el ancho necesario de la otra pista para admitir esa corriente. Los valores de control se muestran en negrita.

Los calculos son válidos para intensidades de hasta 35A (externos) o 17,5A (internos), la temperatura aumenta hasta 100°C y las pistas tendrán un ancho de 10mm (400mil). La fórmula, del IPC 2221, es

$$I = K * dT^{0.44} * (W*H)^{0.725}$$

donde:

I = intensidad máxima en amperios

dT = aumento de temperatura sobre ambiente en °C

W,H = ancho y grosor en mils

K = 0,024 para pistas internas y 0,048 para externas

Figura 11.5 – Anchos de pista para señales

12 ANEXOS EN FUNCIÓN DEL ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL TFG

12.1. Seguridad

Al tratarse de un prototipo, no aplica.

12.2. Medio ambiente

Al tratarse de un prototipo, no aplica.

12.3. Eficiencia energética

Al tratarse de un prototipo, no aplica.

12.4. Emplazamiento del proyecto, Geotécnicos, etc.

Al tratarse de un prototipo, no aplica.

12.5. Gestión de residuos

Al tratarse de un prototipo, no aplica.

13 ESTUDIOS CON ENTIDAD PROPIA

Al tratarse de un prototipo, no aplica.

13.1. Estudio Básico de Seguridad y Salud o Estudio de Seguridad y Salud, según corresponda

Al tratarse de un prototipo, no aplica.

13.2. Estudio de Impacto Ambiental

Al tratarse de un prototipo, no aplica.

14 OTROS ANEXOS

14.1. Montaje de la planta

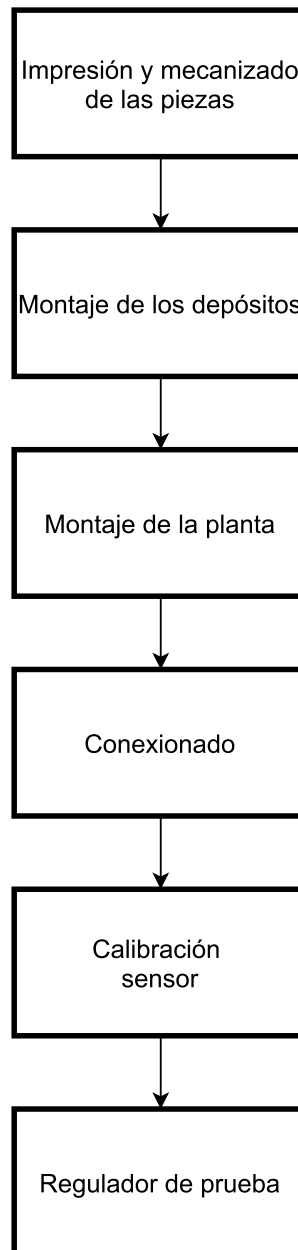


Figura 14.1 – Secuencia de montaje

Una vez impresas y mecanizadas las piezas el montaje es muy sencillo. El primer paso es aplicar el pegamento a las esquinas y laterales de la planta como se ve en la Figura 14.2(a) e introducir en las muescas los paneles laterales con la parte más larga hacia arriba 14.2(b). Repetir este paso para los cuatro laterales.

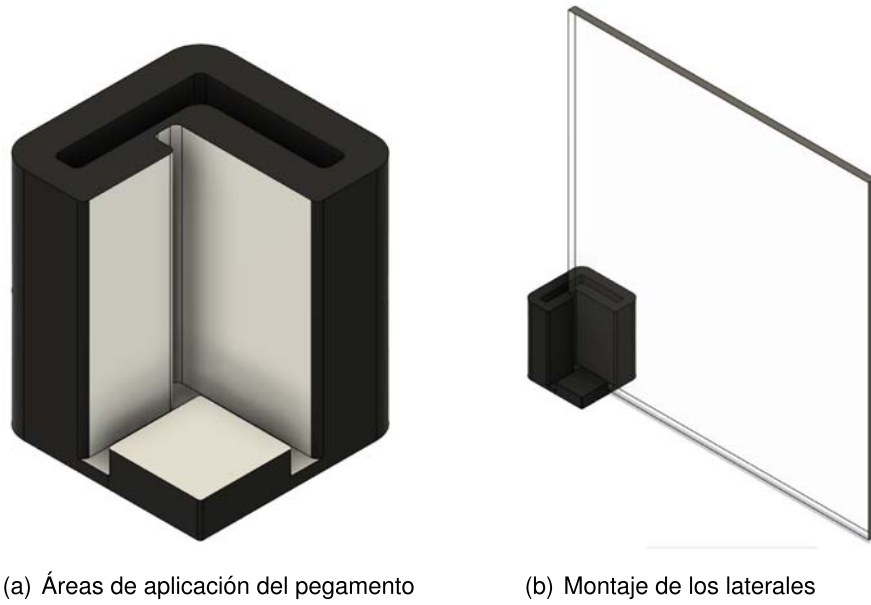


Figura 14.2 – Montaje del depósito 1

Después de esto se unen los cuatro laterales entre ellos (Figura 14.3(a)) y se introduce la pieza central (Figura 14.3(b)).

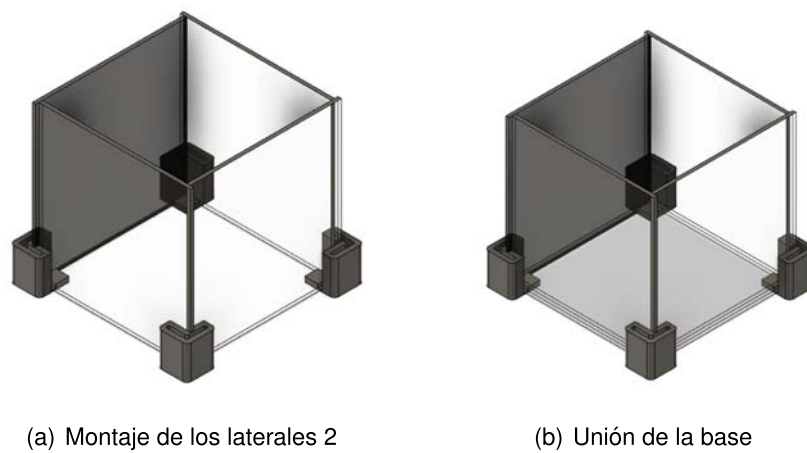


Figura 14.3 – Montaje del depósito 2

Finalmente, se introducen las esquinas superiores, también impregnadas en pegamento (Figura 14.4)

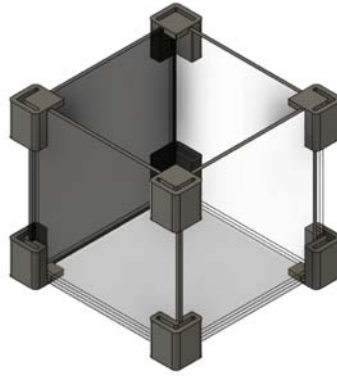


Figura 14.4 – Montaje de las esquinas superiores

Llegado a este punto es recomendable aplicar presión a las uniones para que se adhieran perfectamente. El cemento plástico tardará poco en ser rígido, pero tarda 24 horas en alcanzar su máxima rigidez. Una vez la estructura sea rígida, podemos aplicar el cemento en todas las uniones entre los paneles como se ve en la Figura 14.5. Si a las 24 horas encontramos fugas, se puede añadir una silicona en estas uniones.



Figura 14.5 – Aplicación del pegamento

Repetir el mismo proceso para los dos depósitos.

Ahora para el montaje de la base, lo primero será presentar el motor con el conector en codo a 90° y los elevadores sobre la base. Presentar el cubo encima para marcar el agujero de entrada del motor. La manera más sencilla para montar el depósito es, una vez realizado el agujero, primero introducir el rácor y el conector arponado con sus correspondientes arandelas de silicona. El segundo pasó será añadir 5cm de tubería al conector arponado e introducirlo en el conector en codo.

En el caso de que se detecten fugas, se le puede añadir silicona a la rosca, que evitará que pierda agua, pero permitirá que se desmonte.

Montaremos el depósito superior y los elevadores.

El siguiente paso será añadir el otro conector en codo del motor, la tubería hacia el depósito superior y el conector en codo que verterá el agua. En el depósito superior se añade el montaje del sensor 14.7



Figura 14.6 – Conexión del motor

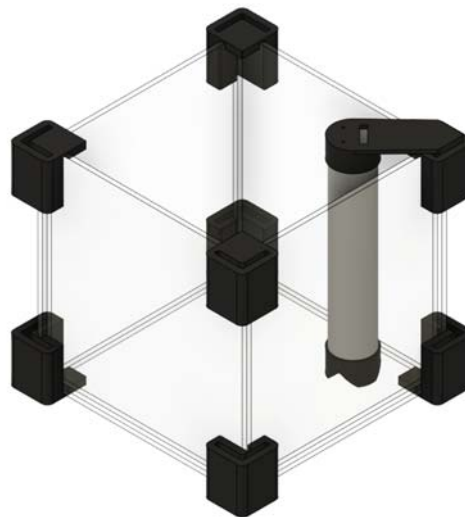


Figura 14.7 – Montaje sensor

Tanto la electroválvula como la válvula manual se posicionaron a mano, evitando que caiga agua sobre la entrada del motor y se taladraron los agujeros de 20mm de diámetro.

A la hora de colocar el regulador conmutado en la PCB, es vital comprobar la tensión de salida de este y ajustarla a 5V antes de conectar el ESP32. Realizar la misma comprobación para la fuente de 24 VDC ajustando el potenciómetro.

Finalmente se colocan en la base las piezas restante: Fuente de alimentación, PCB, seta de emergencia y botón de encendido, y se cablearon entre ellos.

14.2. Códigos de programación

14.2.1. Arduino

Código 14.1: Definiciones de las entradas y salidas

```
//Frecuencias y resolucion PWM
#define PWM_FREQ    10000
#define Analog_Resolution  8
//////////Salidas//////////
//Canal 0 -->Pwm Motor
#define Canal_0_Salida 4 //PIN
#define LEDC_CHANNEL_0  0 //Canal PWM;

//Canal 1 --> Electrovalvula
#define Canal_1_Salida  27 //PIN

//Canal 2 --> OUT 1
#define Canal_2_Salida  18 //PIN
#define LEDC_CHANNEL_1  1 //Canal PWM;

//Canal 3 --> OUT 2
#define Canal_3_Salida  19 //PIN
#define LEDC_CHANNEL_2  2 //Canal PWM;

//Canal 4 --> DA1
#define Canal_4_Salida  25 //PIN

//Canal 5 -->DA2
#define Canal_5_Salida  26 //PIN
//////////Entradas//////////
#define Canal_0_Entrada  0 // I2C
#define Canal_1_Entrada  5 // TACHO
#define Canal_2_Entrada  32 //IN1
#define Canal_3_Entrada  33 // IN2
#define Canal_4_Entrada  34 // Flotador 1
#define Canal_5_Entrada  35 // Flotador 2

//////////Sensor//////////
#include <Wire.h>
```

```
#include "Adafruit_VL6180X.h"
Adafruit_VL6180X sensor = Adafruit_VL6180X();
int Sensor_Read();
//Calibracion del sensor
int Nivel_0=20;
int Nivel_100=135;
```

Código 14.2: Void Setup

```
//ConFiguracion de las salidas.
//Canal 0 -->Pwm Bomba
//Canal de generacion, Frecuencia y resolucion
ledcSetup(LEDC_CHANNEL_0, PWM_FREQ , Analog_Resolution);
//Pin de salida y Canal de generacion PWM
ledcAttachPin(Canal_0_Salida, LEDC_CHANNEL_0);
//Canal 1-->Electrovalvula
pinMode(Canal_1_Salida , OUTPUT);
//Canal 2--> OUT1
pinMode(Canal_2_Salida , OUTPUT);
//Canal de generacion, Frecuencia y resolucion
ledcSetup(LEDC_CHANNEL_1, PWM_FREQ , Analog_Resolution)
//Pin de salida y Canal de generacion PWM;
ledcAttachPin(Canal_2_Salida, LEDC_CHANNEL_1);
//Canal 3--> OUT 2
//Canal de generacion, Frecuencia y resolucion
ledcSetup(LEDC_CHANNEL_2, PWM_FREQ , Analog_Resolution);
//Pin de salida y Canal de generacion PWM
ledcAttachPin(Canal_3_Salida, LEDC_CHANNEL_2);

//Canal 3--> DA1
//Canal 5--> DA2

//Las inicializamos a 0
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0);
digitalWrite(Canal_1_Salida, LOW) ;
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_1, 0);
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_2, 0);
dacWrite(Canal_4_Salida, 0);
dacWrite(Canal_5_Salida, 0);

//ConFiguracion de las Entradas
//Entrada 0 -->Sensor I2C
Serial.begin(115200);
Wire.begin();
sensor.begin();
//Entrada 1 -->Motor tachometer
```

```

pinMode(Canal_1_Entrada, INPUT);
//Flotadores
//Entrada 4
pinMode(Canal_4_Entrada, INPUT_PULLUP);
//Entrada 5
pinMode(Canal_5_Entrada, INPUT_PULLUP);

}

```

Código 14.3: Lectura de nivel

```

int Sensor_Read() { //Realiza la lectura del nivel
    int medida = 0;
    int media = 0;
    int i = 0;
    uint8_t status;
    for (i = 0; i <= 4; i++) {
        do {
            medida = (sensor.readRange());
            status = (sensor.readRangeStatus());
            delay(20);
        } while (!(status == VL6180X_ERROR_NONE));

        media = medida + media;
    }
    media = media / 5;

    if (media < Nivel_0) {
        media = Nivel_0;
    } else if (media > Nivel_100) {
        media = Nivel_100;
    }

    media = map(media, Nivel_0, Nivel_100, 255, 0);
    return media;
}

```

Código 14.4: Lectura de frecuencia

```

int Freq_Read(int Entrada) {
    uint32_t Pulso = 0;
    int Freq = 0;
    //Espera a un flanco de subida con un timeout de 200ms
    Pulso = pulseIn(Entrada, HIGH, 200);
    if (Pulso == 0) { //timeout

```

```
    Freq = 0;
} else {
    Freq = 500000 / Pulso;
}
return Freq;
}
```


Código 14.5: Void loop

```
void loop() {
  int Comando = 0; // Valor inicial para el comando 0
  int Dato = 0;
  if (Serial.available() > 0) {
    // Leemos el valor recibido
    Comando = Serial.read();
    // Comprobamos si lo que queremos es hacer una Generacion
    //y procesamos cada bloque de canales por separado
    if (bitRead(Comando, 7) == 0 && bitRead(Comando, 6) == 1) { // Salida
      // Comprobamos el numero de canales a Salida, y los procesamos
      switch (Comando & 0x07) {
        case 0: //Canal 0
          while (Serial.available() <= 0); //PWM Bomba
          Dato = Serial.read();
          Dato = map(Dato, 0, 255, 30.6, 255); //Escalado para evitar la zona muerta

          if (Dato <= 0) {
            ledcWrite(LED_CHANNEL_0, 0); //Evitamos valores negativos
          }
          //Comprobamos el estado del flotador antes de escribir.
          else if (digitalRead(Canal_4_Entrada) == HIGH) {
            ledcWrite(LED_CHANNEL_0, Dato);
          }
          else {
            ledcWrite(LED_CHANNEL_0, 0);
          }

          break;

        case 1: // Canal 0 y Canal 1
          while (Serial.available() <= 0); //PWM Bomba
          Dato = Serial.read();
          Dato = map(Dato, 0, 255, 30.6, 255); //Escalado para evitar la zona muerta
          if (Dato <= 0) {
            ledcWrite(LED_CHANNEL_0, 0); //Evitamos valores negativos
          }
          //Comprobamos el estado del flotador antes de escribir.
          else if (digitalRead(Canal_4_Entrada) == HIGH) {
            ledcWrite(LED_CHANNEL_0, Dato);
          }
          else {
            ledcWrite(LED_CHANNEL_0, 0);
          }

          while (Serial.available() <= 0); //Electrovalvula
          Dato = Serial.read();
        }
      }
    }
  }
}
```

```
    if (Dato == 0) {
        digitalWrite(Canal_1_Salida, LOW);
    } else {
        digitalWrite(Canal_1_Salida, HIGH);
    }
    break;

case 2: //Canal 0, Canal 1 y Canal 2
    while (Serial.available() <= 0); //PWM Motor
    Dato = Serial.read();
    Dato = map(Dato, 0, 255, 30.6, 255); //Escalado para evitar la zona muerta
    if (Dato <= 0) {
        ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0); //Evitamos valores negativos
    }
    //Comprobamos el estado del flotador antes de escribir.
    else if (digitalRead(Canal_4_Entrada) == HIGH) {
        ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, Dato);
    }
    else {
        ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0);
    }

    while (Serial.available() <= 0); //Electrovalvula
    Dato = Serial.read();
    if (Dato == 0) {
        digitalWrite(Canal_1_Salida, LOW);
    } else {
        digitalWrite(Canal_1_Salida, HIGH);
    }
    while (Serial.available() <= 0); //OUT 1
    Dato = Serial.read();
    ledcWrite(LEDC_CHANNEL_1, Dato);
    break;

case 3: // Canal 0, Canal 1, Canal 2 y Canal 3
    while (Serial.available() <= 0); //PWM Motor
    Dato = Serial.read();
    Dato = map(Dato, 0, 255, 30.6, 255); //Escalado para evitar la zona muerta
    if (Dato <= 0) {
        ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0); //Evitamos valores negativos
    }
    //Comprobamos el estado del flotador antes de escribir.
    else if (digitalRead(Canal_4_Entrada) == HIGH) {
        ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, Dato);
    }
    else {
        ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0);
    }
}
```

```

while (Serial.available() <= 0); //Electrovalvula
Dato = Serial.read();
if (Dato == 0) {
    digitalWrite(Canal_1_Salida, LOW);
} else {
    digitalWrite(Canal_1_Salida, HIGH);
}
while (Serial.available() <= 0); //OUT1
Dato = Serial.read();
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_1, Dato);
while (Serial.available() <= 0); //OUT2
Dato = Serial.read();
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_2, Dato);
break;

case 4: //Canal 0, Canal 1, Canal 2, Canal 3 y Canal 4
while (Serial.available() <= 0); //PWM Motor
Dato = Serial.read();
Dato = map(Dato, 0, 255, 30.6, 255); //Escalado para evitar la zona muerta
if (Dato <= 0) {
    ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0); //Evitamos valores negativos
}
//Comprobamos el estado del flotador antes de escribir.
else if (digitalRead(Canal_4_Entrada) == HIGH) {
    ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, Dato);
}
else {
    ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0);
}

while (Serial.available() <= 0); //Electrovalvula
Dato = Serial.read();
if (Dato == 0) {
    digitalWrite(Canal_1_Salida, LOW);
} else {
    digitalWrite(Canal_1_Salida, HIGH);
}
while (Serial.available() <= 0); //OUT1
Dato = Serial.read();
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_1, Dato);
while (Serial.available() <= 0); //OUT2
Dato = Serial.read();
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_2, Dato);
while (Serial.available() <= 0); //DA1
Dato = Serial.read(); // Recibimos el dato correspondiente al Canal 4
dacWrite(Canal_4_Salida, Dato);
break;

case 5: //Canal 0, Canal 1, Canal 2, Canal 3, Canal 4 y Canal 5

```

```

while (Serial.available() <= 0); //PWM Motor
Dato = Serial.read();
Dato = map(Dato, 0, 255, 30.6, 255); //Escalado para evitar la zona muerta
if (Dato <= 0) {
    ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0); //Evitamos valores negativos
}
//Comprobamos el estado del flotador antes de escribir.
else if (digitalRead(Canal_4_Entrada) == HIGH) {
    ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, Dato);
}
else {
    ledcWrite(LEDC_CHANNEL_0, 0);
}

while (Serial.available() <= 0); //Electrovalvula
Dato = Serial.read();
if (Dato == 0) {
    digitalWrite(Canal_1_Salida, LOW);
} else {
    digitalWrite(Canal_1_Salida, HIGH);
}
while (Serial.available() <= 0); //OUT1
Dato = Serial.read();
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_1, Dato);
while (Serial.available() <= 0); //OUT2
Dato = Serial.read();
ledcWrite(LEDC_CHANNEL_2, Dato);
while (Serial.available() <= 0); //DA1
Dato = Serial.read();
dacWrite(Canal_4_Salida, Dato);
while (Serial.available() <= 0); //DA2
Dato = Serial.read(); // Recibimos el dato correspondiente al Canal 5
dacWrite(Canal_5_Salida, Dato);
break;
}
}

else if (bitRead(Comando, 7) == 1) { //Lectura de entradas
    int range = 0;
    uint8_t status;
    switch ((Comando >> 3) & 0x07) {
        case 0: //Sensor
            Serial.write((Sensor_Read()));
            break;

        case 1: // Adquirir senal por Canal 0 y Canal 1
            Serial.write((Sensor_Read())); //Nivel
            Serial.write(lowByte(Freq_Read(Canal_1_Entrada)));
            break;
    }
}

```

```
case 2: // Adquirir senal por Canal 0, Canal 1 y Canal 2
    Serial.write((Sensor_Read())); //Nivel
    Serial.write(lowByte(Freq_Read(Canal_1_Entrada)));
    Dato = analogRead(Canal_2_Entrada); //IN1
    Dato = Dato >> 4;
    Serial.write(lowByte(Dato));
    break;

case 3: // Adquirir senal por Canal 0, Canal 1, Canal 2 y Canal 3
    Serial.write((Sensor_Read())); //Nivel
    Serial.write(lowByte(Freq_Read(Canal_1_Entrada))); //Motor tachometer
    Dato = analogRead(Canal_2_Entrada); //IN1
    Dato = Dato >> 4;
    Serial.write(lowByte(Dato));
    Dato = analogRead(Canal_3_Entrada); //IN2
    Dato = Dato >> 4;
    Serial.write(lowByte(Dato));

    break;

case 4: // Adquirir senal por Canal 0, Canal 1, Canal 2, Canal 3 y Canal 4
    Serial.write((Sensor_Read())); //Nivel
    Serial.write(lowByte(Freq_Read(Canal_1_Entrada))); //Motor tachometer
    Dato = analogRead(Canal_2_Entrada); //IN1
    Dato = Dato >> 4;
    Serial.write(lowByte(Dato));
    Dato = analogRead(Canal_3_Entrada); //IN2
    Dato = Dato >> 4;
    Serial.write(lowByte(Dato));
    Serial.write(digitalRead(Canal_4_Entrada)); //Flotador1

    break;

case 5: // Adquirir senal por Canal 0, Canal 1, Canal 2, Canal 3, Canal 4 y Canal 5
    Serial.write((Sensor_Read())); //Nivel
    Serial.write(lowByte(Freq_Read(Canal_1_Entrada))); //Motor tachometer
    Dato = analogRead(Canal_2_Entrada); //IN1
    Dato = Dato >> 4;
    Serial.write(lowByte(Dato));
    Dato = analogRead(Canal_3_Entrada); //IN2
    Dato = Dato >> 4;
    Serial.write(lowByte(Dato));
    Serial.write(digitalRead(Canal_4_Entrada) * 255); //Flotador1
    Serial.write(digitalRead(Canal_5_Entrada) * 255); //Flotador2
    break;
}
}
}
```

```
if (digitalRead(Canal_4_Entrada) == LOW) {  
    ledcWrite(LED_CHANNEL_0, 0);  
}  
}
```

14.3. Matlab

Código 14.6: Código regulador PI de ejemplo

```
%Borramos las variables y el comand window
clear
clc
%Comprobamos si hay algun puerto de comunicaciones abierto. Si es asi, lo cerramos
if ~isempty(instrfind)
    fclose(instrfind);
    delete(instrfind);
end
%Iniciamos la comunicacion
DAQ_Start();

%Parametros del regulador calculado
Kp=1.58;
Ts=1
Ti=15.68;
t=0;
%%Setpoint de 40
Sp=40;
%Variables
Control=[0 0 0];
Nivel=[0 0 0];
Error=[0 0 0];
while (1)
    tic
    %Actualizamos el valor del nivel
    Nivel(3)=Nivel(2);
    Nivel(2)=Nivel(1)
    Nivel(1)=DAQ_Read()

    %Actualizamos el valor del error
    Error(3)=Error(2);
    Error(2)=Error(1);
    Error(1)=sp-Nivel(1);

    %%Actualizamos y Calculamos la senal de control
    Control(3)=Control(2);
    Control(2)=Control(1);
    %Formulas PI discretizado
    Control(1)=Control(2)+Error(1)*Kp-Error(2)*Kp*(Ti/(Ti+Ts))

    %Ajustamos la salida
    if Control(1)>100
        Control(1)=100;
```

```
elseif Control(1)<0
    Control(1)=0;
end
DAQ_Write(Control(1));
t=t+1

%Graficamos la salida
plot(t,Nivel(1),'*b')
hold on
plot(t,Control(1),'*r')
hold on;

%Guardamos los valores en un vector
ControlVector=[ControlVector Control(1)];
NivelVector=[NivelVector Nivel(1)];

pause(1-toc)

end
```

Código 14.7: Código cálculo parámetros críticos del sistema

```
%Comprobamos si hay algun puerto de comunicaciones abierto. Si es asi, lo cerramos
if ~isempty(instrfind)
    fclose(instrfind);
    delete(instrfind);
end
%Iniciamos la comunicacion
DAQ_Start();

%Inicializacion de las variables
Maximo=[0 0 0 0];
Minimo=[0 0 0 0];
Nivel=[0 0 0 0];
Periodo=[0 0 0 0];
Kc=0;
sp=0;
centro=50;
NivelVector=[];
ControlVector=[];
SpVector=[];
centro=50;

while(Kc==0) %Ejecutamos el codigo mientras no calcule Kc
    tic
    %Actualizamos los valores del nivel
    Nivel(3)=Nivel(2);
    Nivel(2)=Nivel(1);
```



```

Nivel(1)=DAQ_Read();    %% Lectura del nivel

%Calculamos la senal de control
if Nivel(1)<centro-5    %Ventana de histeresis.
    sp=centro+5;        %calculamos el setpoint.
    Control(1)=100;
end
if Nivel(1)>centro+5
    sp=centro-5;
    Control(1)=0;
end

DAQ_Write(Control(1));  %%Escritura de potencia

%%% Cálculo de los puntos maximos
%Se ha detectado un maximo.
if (Nivel(2)>Nivel(1)&& Nivel(2)>Nivel(3)) Nivel(1)
    Maximo(3)=Maximo(2);
    Maximo(2)=Maximo(1);
    Maximo(1)=Nivel(2);
    %Guardamos el momento en el que se detecto el ultimo maximo.

    Periodo(3)=Periodo(2);
    Periodo(2)=Periodo(1);
    Periodo(1)=tiempo-2;
end

%%% Cálculo de los puntos minimos para calcular la amplitud.
if (Nivel(2)<Nivel(1)&& Nivel(2)<Nivel(3))
    Minimo(3)=Minimo(2);
    Minimo(2)=Minimo(1);
    Minimo(1)=Nivel(2);
end









%%% Cálculo de los valores criticos del sistema
if ((abs(Maximo(1)-Maximo(2))<1 && (abs(Maximo(2)-Maximo(3))<1))&& ((Maximo(3)~=0)))
%Comprobamos que los 3 valores son iguales con una tolerancia maxima de 1%
%y que sean distintos de 0
    A=Maximo(2)-Minimo(2) %Calculamos la amplitud
    Tc=Periodo(2)-Periodo(3) %Calculamos TC
    Kc=(4*50)/(pi*sqrt((A^2)-(5^2))) %Calculamos KC
end
tiempo=tiempo+1;
NivelVector=[NivelVector Nivel(1)]
ControlVector=[ControlVector Control(1)]
SpVector=[SpVector sp];
%Graficar Setpoint.
plot(tiempo,SpVector,'r',tiempo,NivelVector,'b',tiempo,ControlVector,'m');
hold on
legend('SP','Nivel','Control'); %Leyenda grafico.

```

```
    pause(1-toc);  
end
```

14.4. Tiempos y material necesario para la impresión 3D

En este apartado se recogen los tiempos de impresión y pesos de las piezas impresas en 3D.

Tiempos de impresión y material empleado					
Pieza	Material por pieza	Tiempo por pieza	Nº de piezas	Material total	Tiempo total
	14g	1h y 7min	8	112g	8h y 55min
	14g	1h y 7min	8	112g	8h y 55min
	148g	11h y 34min	1	148g	11h y 34min
	34g	2h y 47min	1	34g	12h y 47min
	8g	0h y 38min	1	8g	0h y 38min
	3g	0h y 19min	1	3g	0h y 19min
	1g	0h y 6min	1	1g	0h y 6min
	5g	0h y 20 min	1	1g	0h y 20min
Totales				423g	43h y 34min

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MINIPLANTA DE CONTROL DE NIVEL MEDIANTE ARDUINO O PLACA SIMILAR.

PLANOS

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

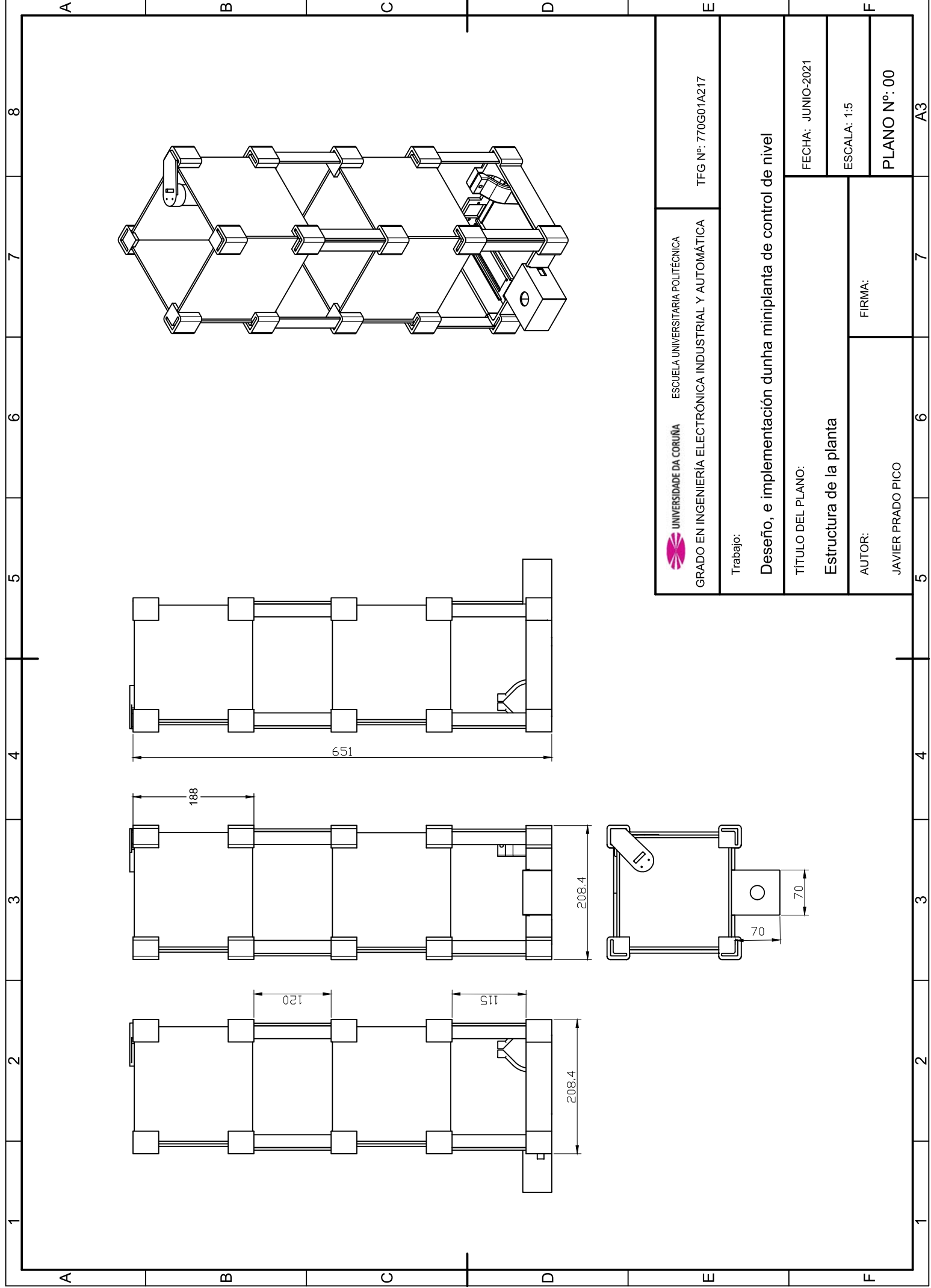
FECHA: JULIO DE 2021

AUTOR: EL/LA ALUMNO/A

Fdo.: JAVIER PRADO PICO

Índice de planos

1	Estructura de la planta	151
2	Estructura explosionada de la planta	152
3	Depósito	153
4	Depósito explosionado	154
5	Esquina inferior	155
6	Esquina superior	156
7	Base depósito	157
8	Lateral depósito	158
9	Elevador	159
10	Montaje Sensor	160
11	Explosión sensor	161
12	Entrada de agua sensor	162
13	Soporte sensor	163
14	Disco Flotador	164
15	Vaina Sensor	165
16	Base estructura	166
17	Soporte seta emergencia	167
18	Desagüe fijo 10mm	168
19	Plantillas para corte del policarbonato	169
20	Front y Botom Silk PCB	170
21	Capa frontal y trase de cobre PCB	171
22	Esquema electrónico PCB	172



A B C D E F

1 2 3 4 5 6 7 8

UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
 GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Estructura de la planta

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

FECHA: JUNIO-2021

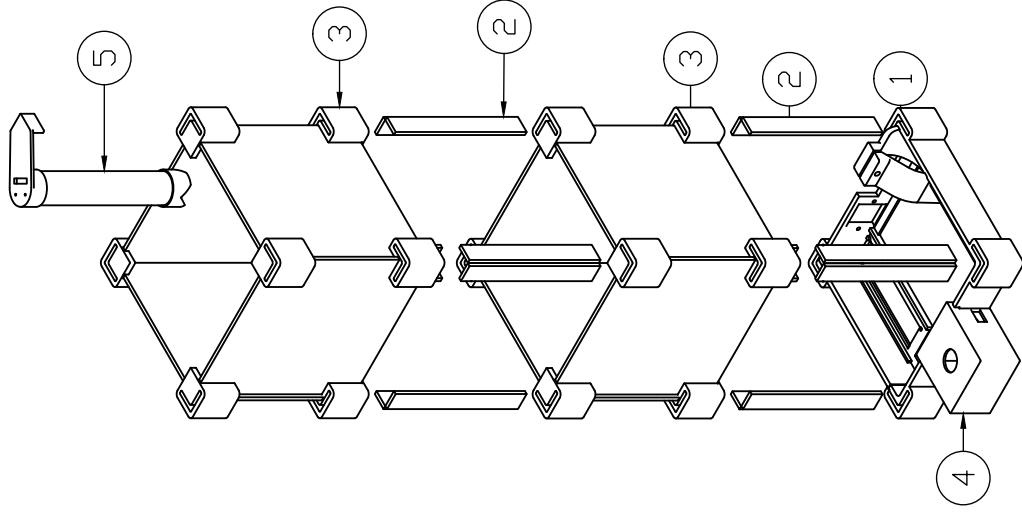
ESCALA: 1:5

PLANO Nº: 00

A3

A B C D E F

1 2 3 4 5 6 7 8



Listado de piezas

Número	Cantidad	Nombre
1	1	Base estructura
2	16	Elevadores
3	2	Depósito
4	1	Soporte Seta
5	1	Sensor


UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
 GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA
 TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:
Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:		FECHA: JUNIO-2021	
Explosión estructura de la planta		ESCALA: 1:5	
AUTOR:	FIRMA:	PLANO Nº: 01	
JAVIER PRADO PICO		6	7

1

2

3

4

A

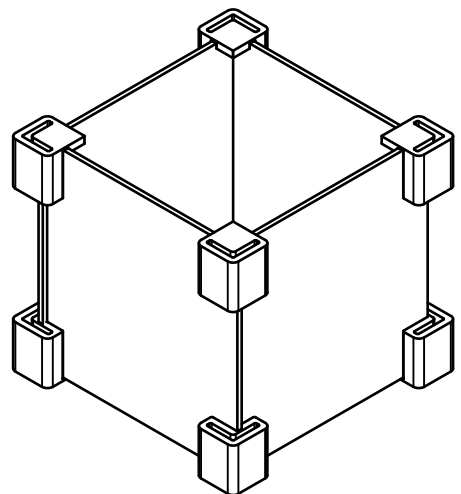
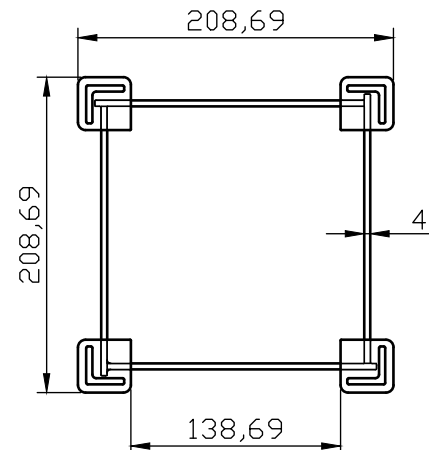
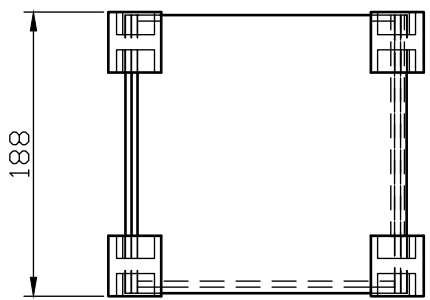
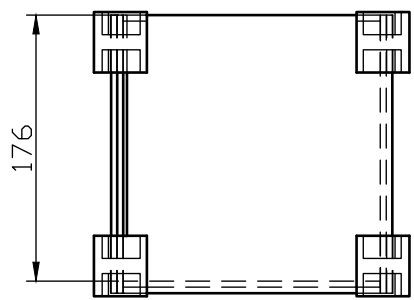
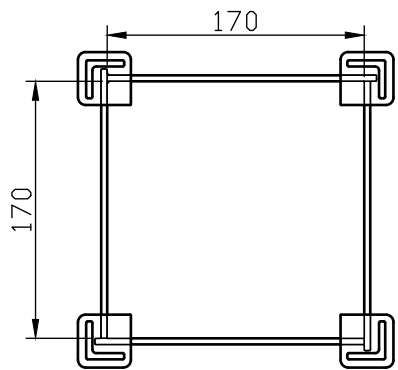
B

C

D

E

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Depósito miniplanta

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:5

AUTOR:

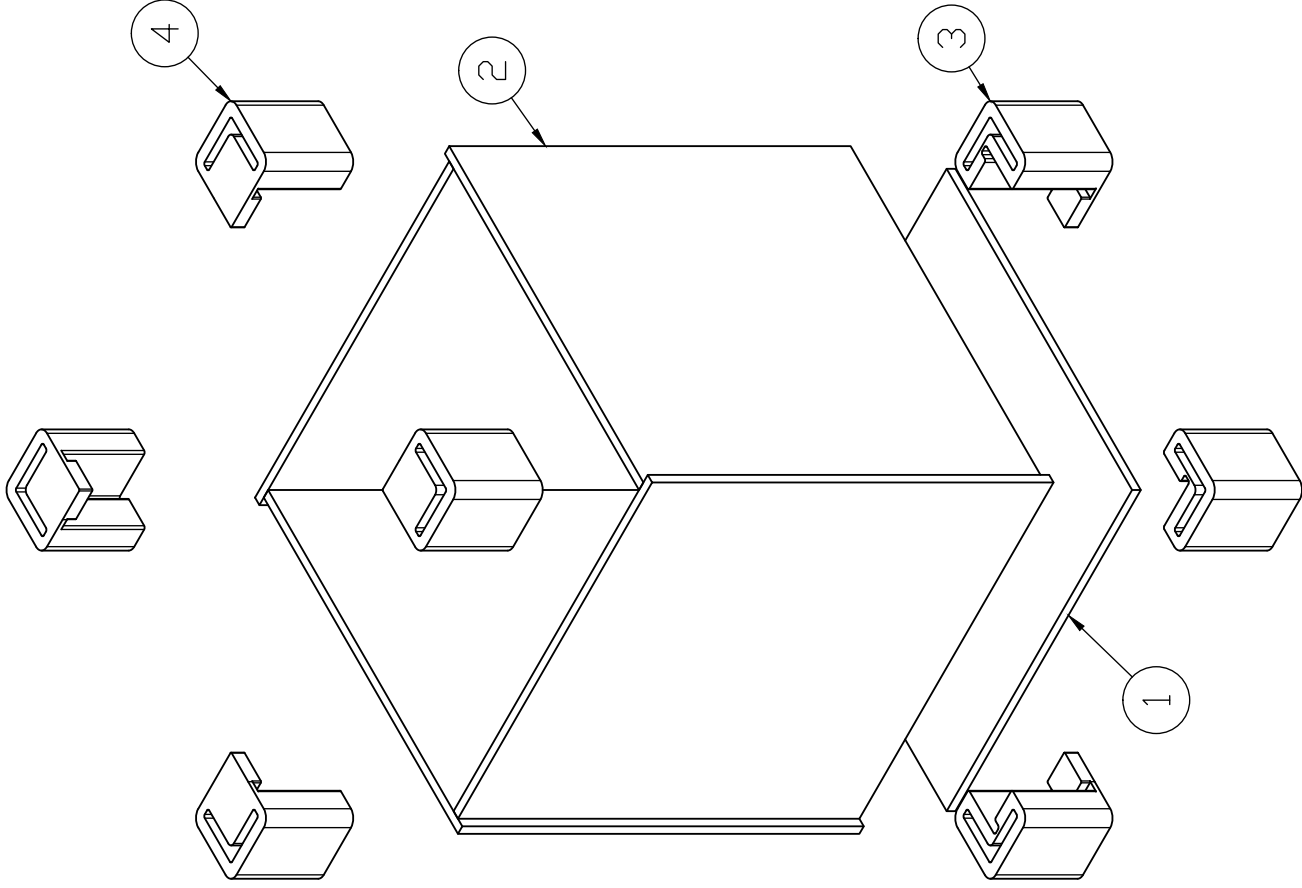
JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 02

Listado de piezas

Número	Cantidad	Nombre
1	1	Base
2	4	Lateral
3	4	Esquina inferior
4	4	Esquina superior




UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
 GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA
 TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Explosión depósito miniplanta

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

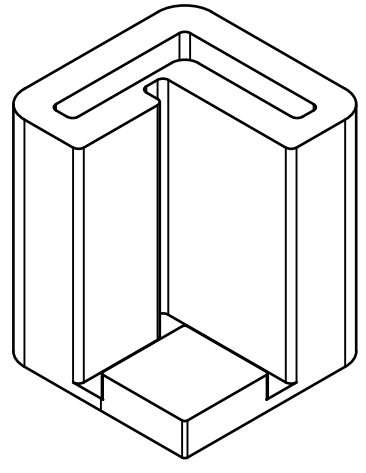
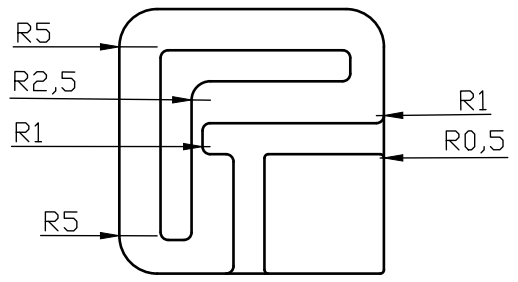
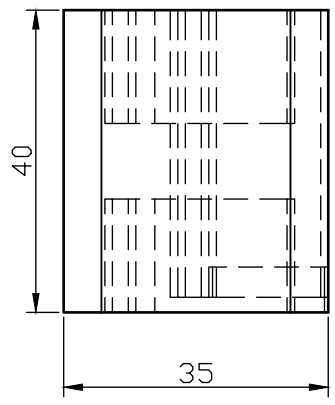
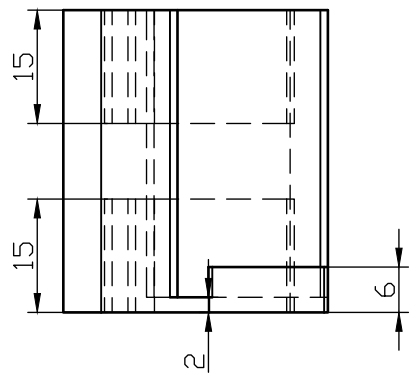
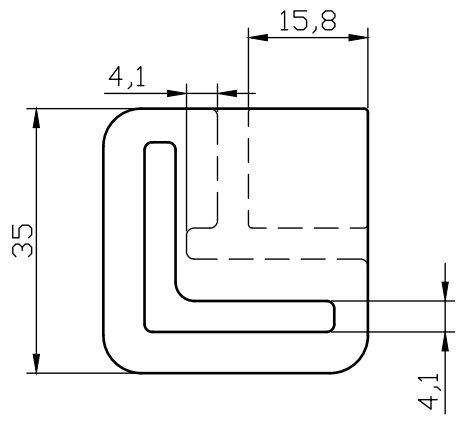
FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:2

PLANO Nº: 03

A3

1 2 3 4



A
B
C
D
E
F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Esquina inferior

FECHA: JUNIO-2021

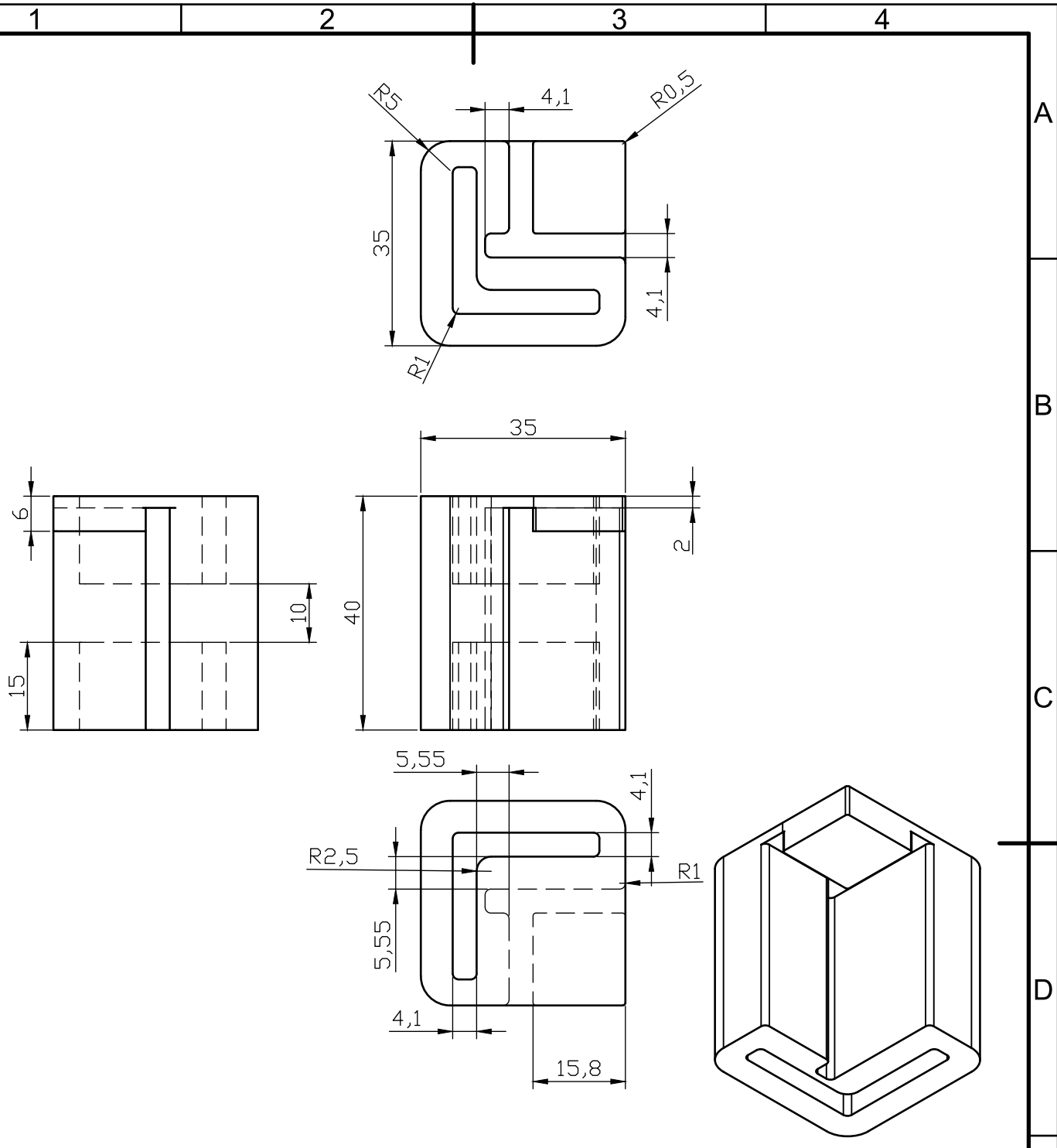
ESCALA: 1:1

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 04



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Esquina Superior

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:1

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 05

1

2

3

4

A

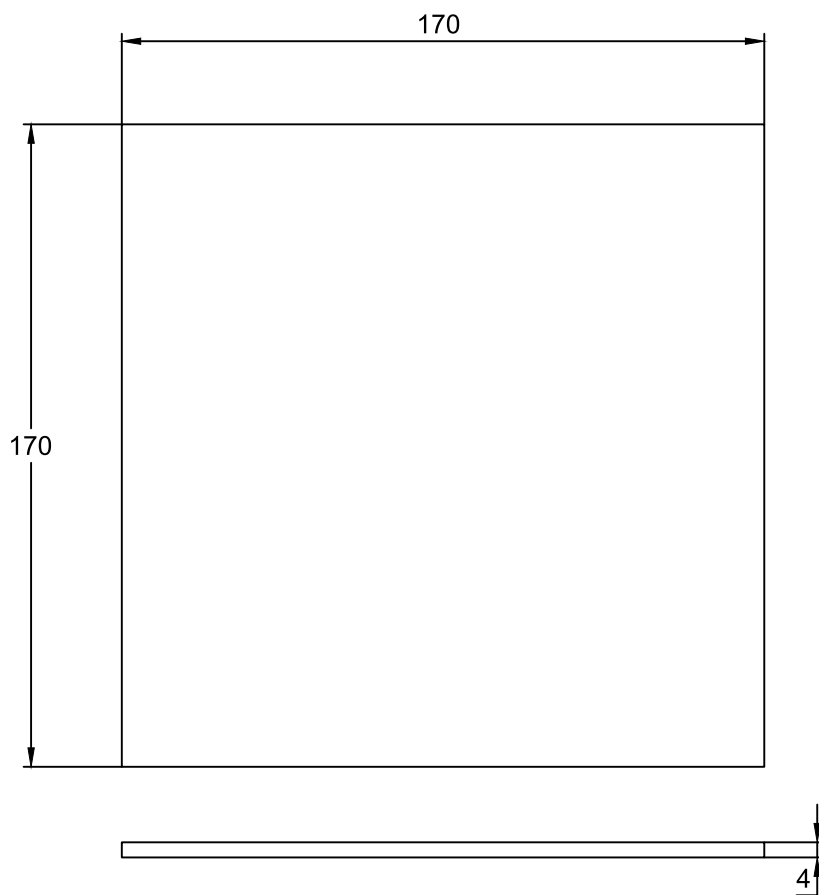
B

C

D

E

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Base depósito

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:2

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 06

A4

1

2

3

4

A

B

C

D

E

F

178

184

4



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Lateral depósito

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:2

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 07

A4

1

2

3

4

A

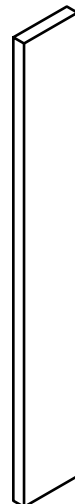
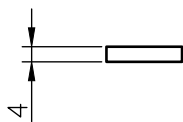
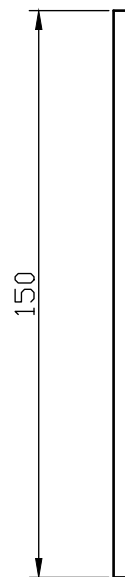
B

C

D

E

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

TÍTULO COMPLETO DEL TFG

TÍTULO DEL PLANO:

Elevador

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:1

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

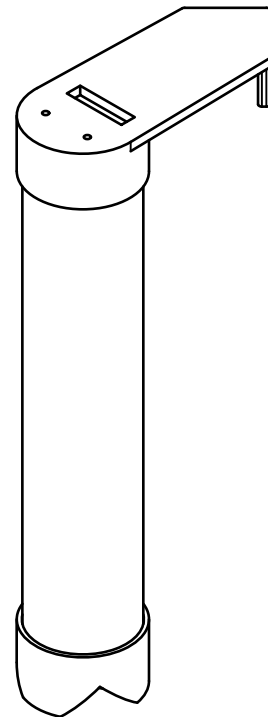
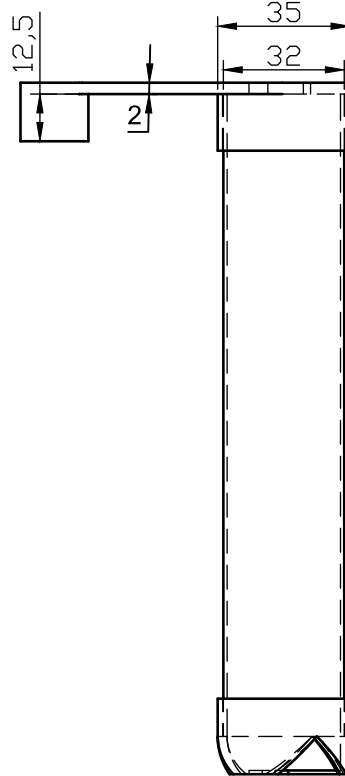
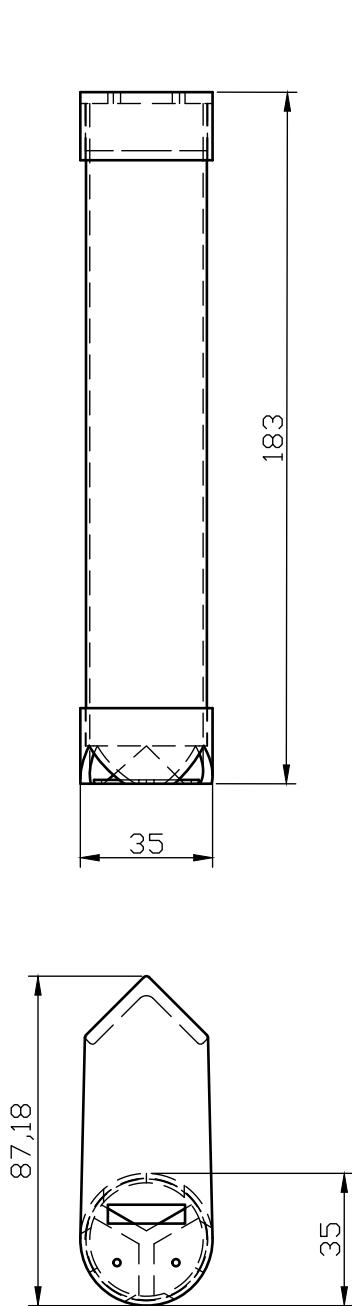
PLANO Nº: 08

1

2

3

4



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Montaje tubo sensor

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:2

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 09

A4

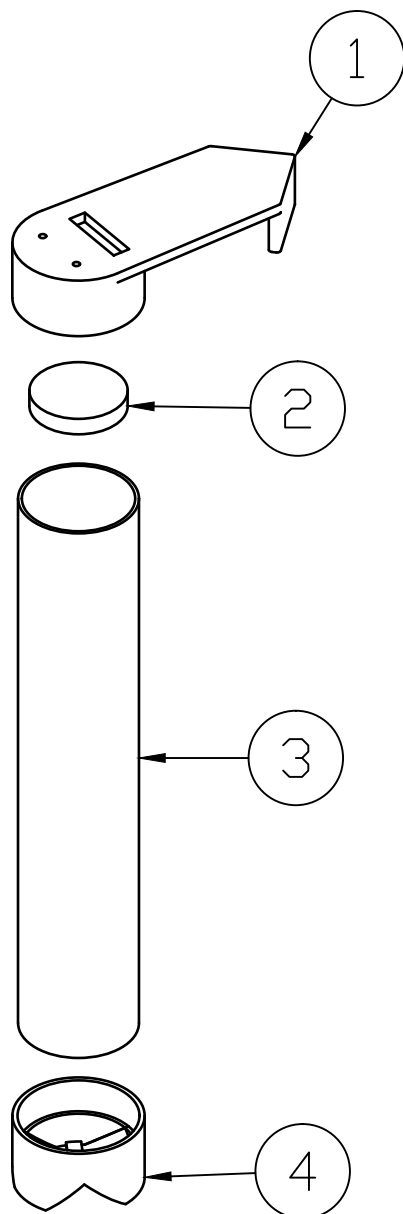
1

2

3

4

Listado de piezas



Número	Cantidad	Nombre
1	1	Soporte sensor
2	1	Disco flotador
3	1	Vaina sensor
4	1	Entrada agua



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Explosión sensor

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:2

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 10

1

2

3

4

A

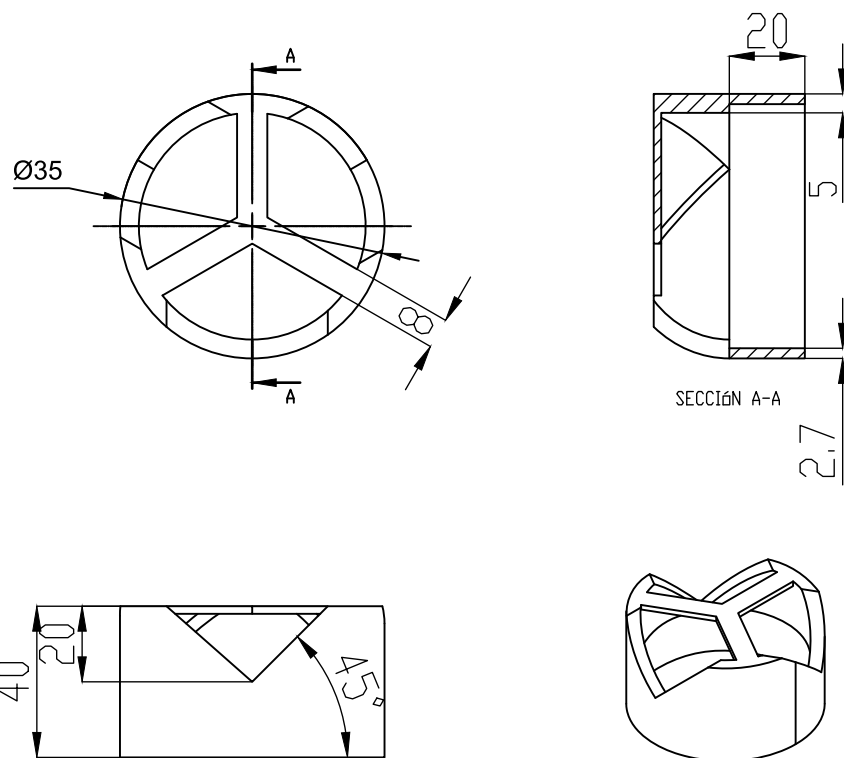
B

C

D

E

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Entrada de agua

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:2

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 11

A4

1

2

3

4

A

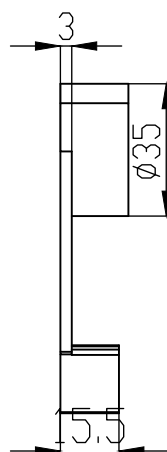
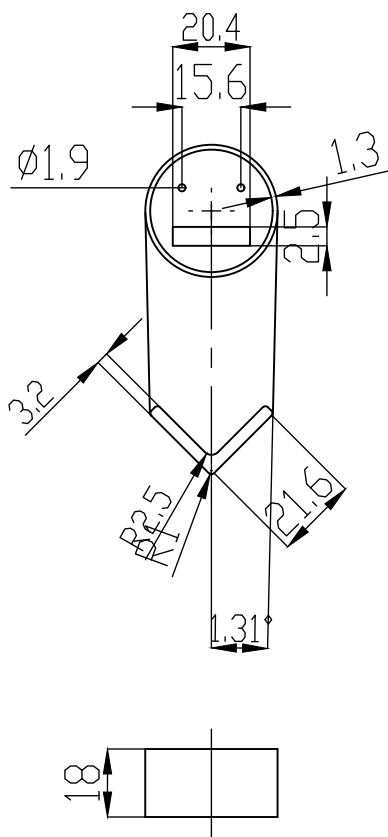
B

C

D

E

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Soporte sensor

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:2

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 12

A4

1

2

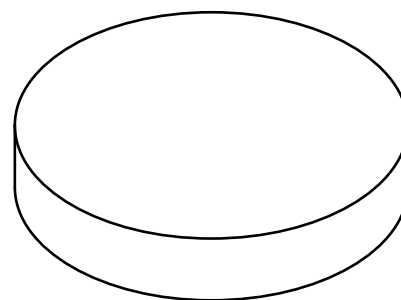
3

4

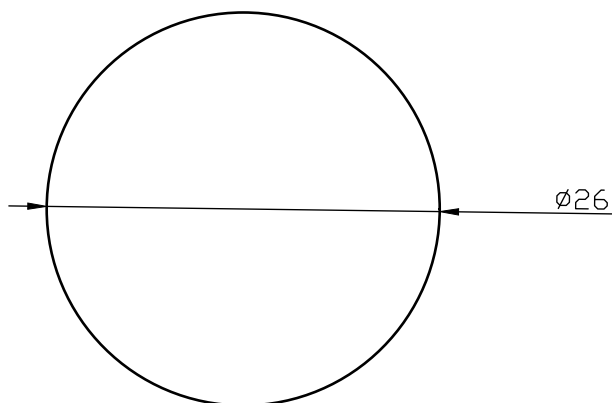
A



B



C



D



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

E

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Disco flotador

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 2:1

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 13

F

A4

1

2

3

4

A

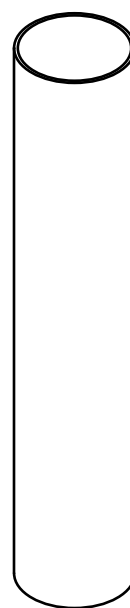
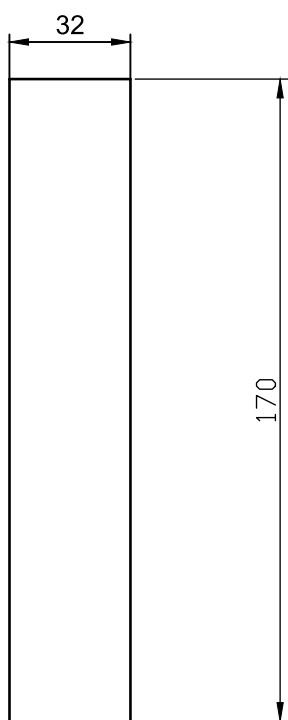
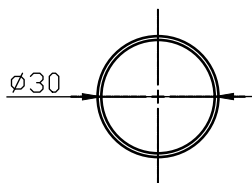
B

C

D

E

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01045

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Vaina sensor

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:2

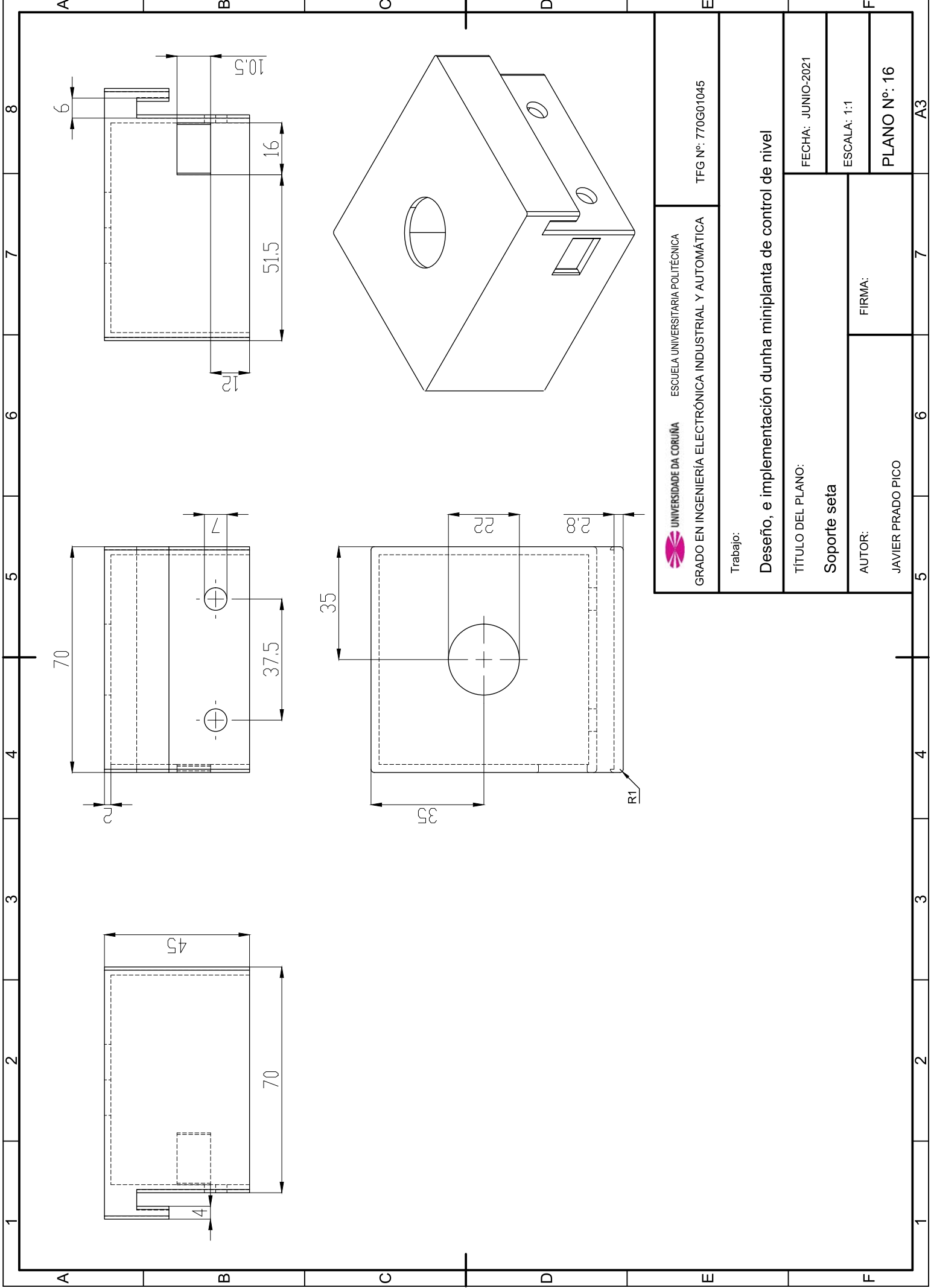
AUTOR:


JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 14

A4



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	TEG Nº: 770G01045		
	Trabajo: Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel		
TÍTULO DEL PLANO: Soporte seta			
AUTOR: JAVIER PRADO PICO	FIRMA:		
FECHA: JUNIO-2021	ESCALA: 1:1		
PLANO Nº: 16			
5	6	7	8

A 1 2 3 4 5 6 7 8

A B C D E F

A3

1

2

3

4

A

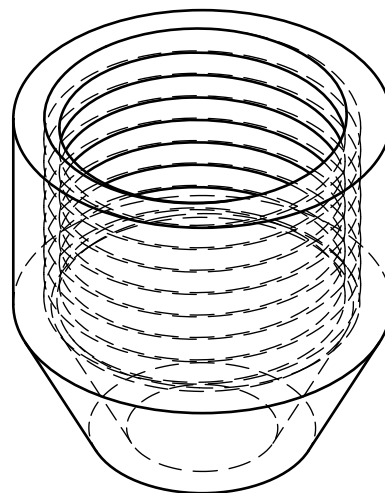
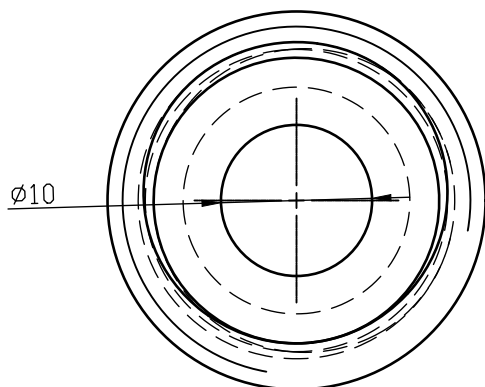
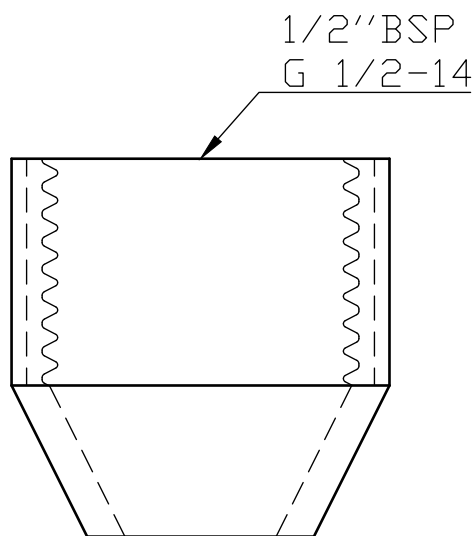
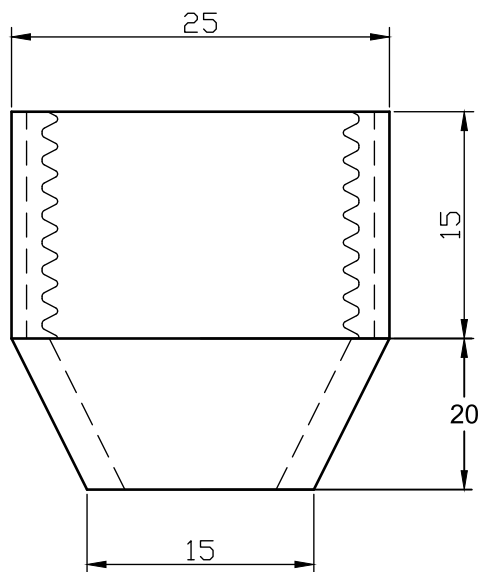
B

C

D

E

F



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Desagüe fijo 10mm

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 2:1

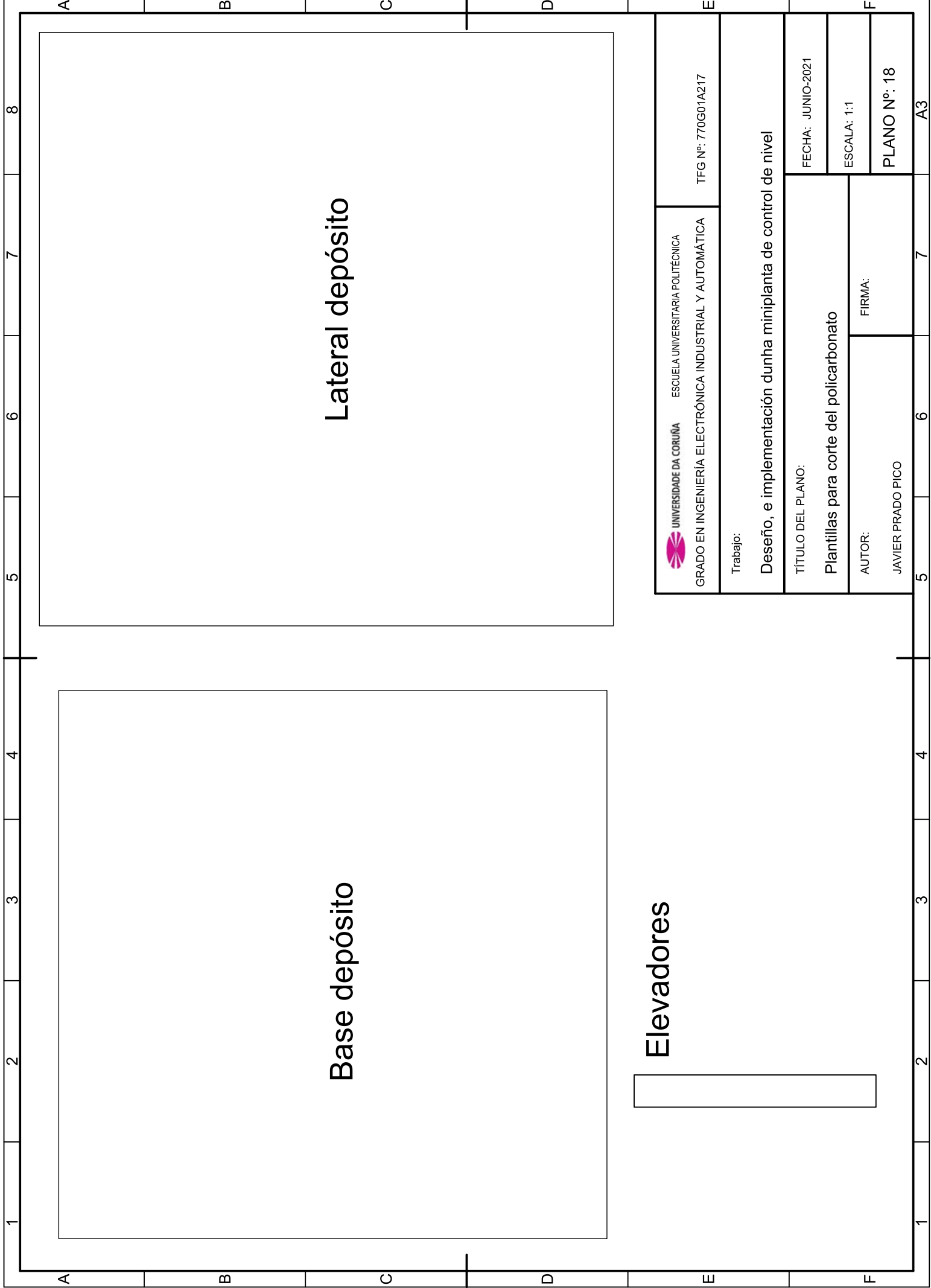
AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 17


A4



Base depósito

Lateral depósito

Elevadores

 UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	TFG Nº: 770G01A217
	Trabajo: Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel
TÍTULO DEL PLANO: Plantillas para corte del policarbonato	
AUTOR: JAVIER PRADO PICO	FIRMA:
FECHA: JUNIO-2021	
ESCALA: 1:1	
PLANO Nº: 18	
A3	

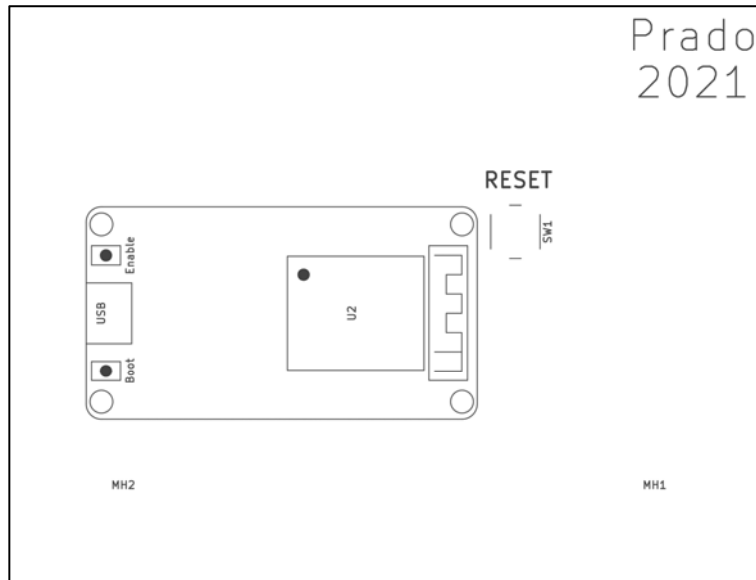
1

2

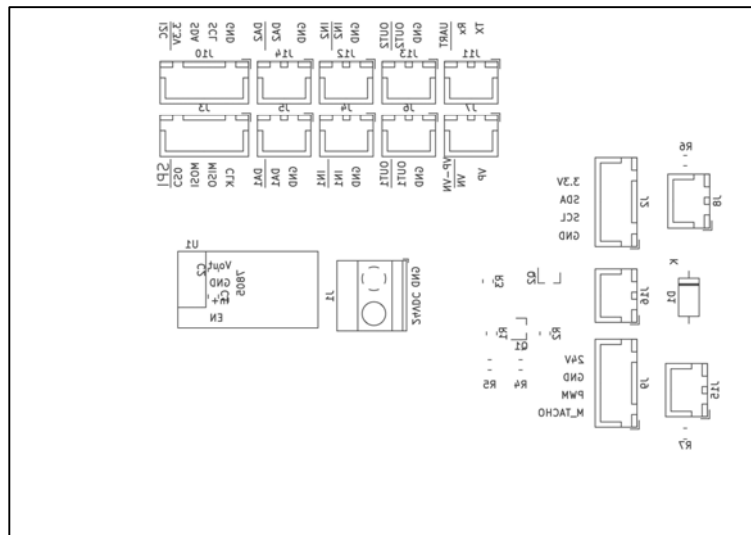
3

4

Front



Botom



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Front y Botom Silk PCB

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:1

AUTOR:

JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

PLANO Nº: 19

A4

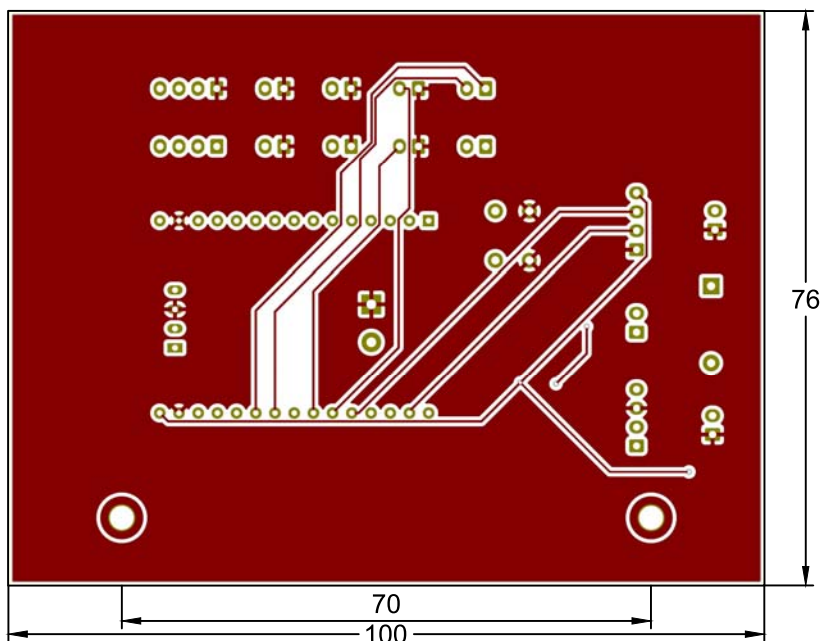
1

2

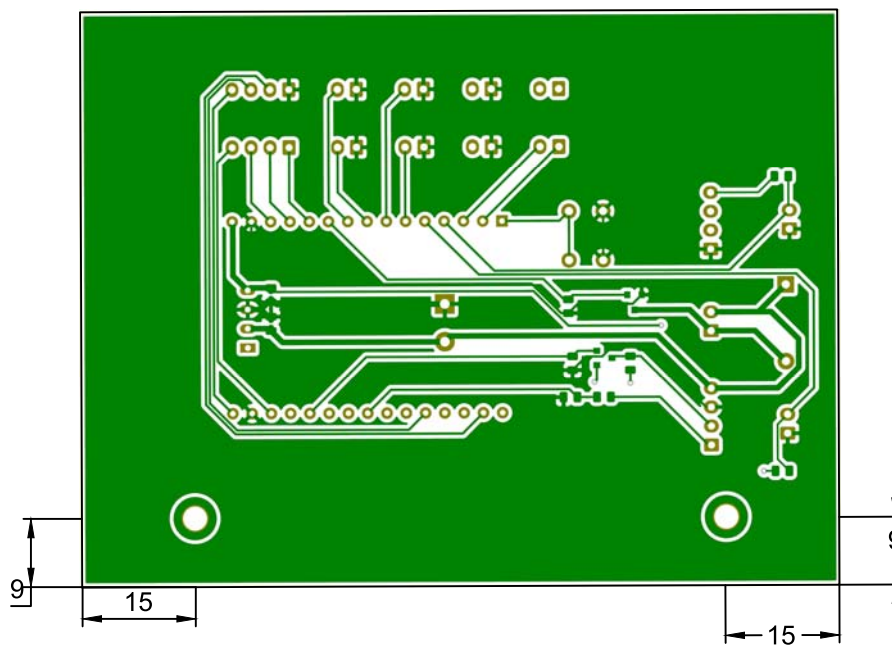
3

4

Front



Botom



Nota: Las distancias acotadas son con respecto al centro del agujero.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG Nº: 770G01A217

Trabajo:

Deseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO:

Capa frontal y trase de cobre PCB

FECHA: JUNIO-2021

ESCALA: 1:1

AUTOR:

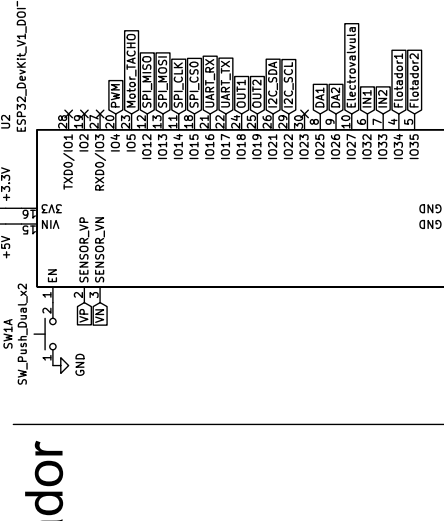
JAVIER PRADO PICO

FIRMA:

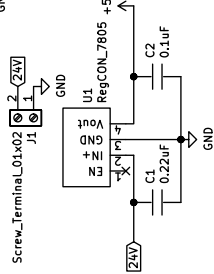
PLANO Nº: 20

A4

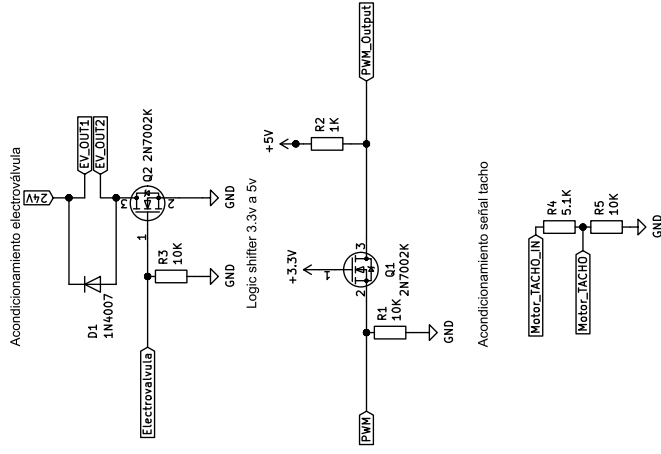
Microcontrolador



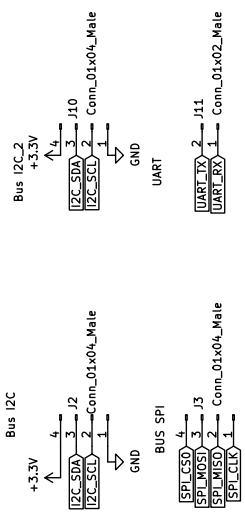
Alimentación



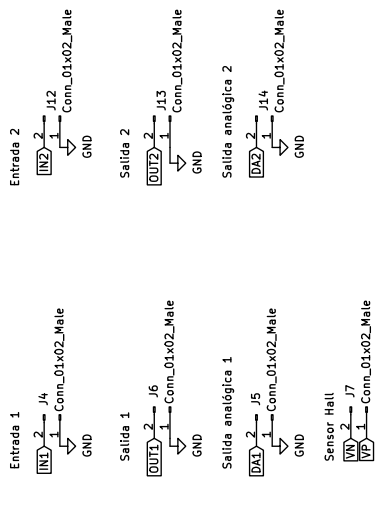
Acondicionamiento



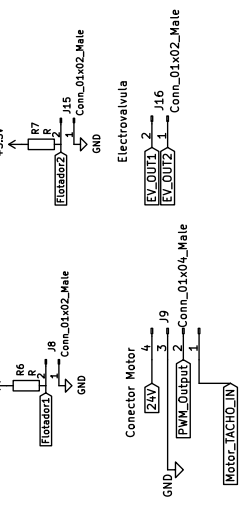
Comunicaciones



GPIOs



Conexión externo



UNIVERSIDADE DA CORUÑA ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Trabajo: TFG Nº: 770G01A217
Diseño, e implementación dunha miniplanta de control de nivel

TÍTULO DEL PLANO: Esquema electrónico PCB	FECHA: JUNIO-2021
AUTOR: JAVIER PRADO PICO	ESCALA: S/E
FIRMA:	PLANO Nº: 21

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MINIPLANTA DE CONTROL DE NIVEL MEDIANTE ARDUINO O PLACA SIMILAR.

PLIEGO DE CONDICIONES

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JULIO DE 2021

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JAVIER PRADO PICO

Índice del documento PLIEGO DE CONDICIONES

No se contempla un pliego de condiciones.

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MINIPLANTA DE CONTROL DE NIVEL MEDIANTE ARDUINO O PLACA SIMILAR.

MEDICIONES

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JULIO DE 2021

AUTOR: EL ALUMNO

Fdo.: JAVIER PRADO PICO

Índice del documento MEDICIONES

15 Miniplantas de control	182
15.1 Material impreso en 3D	182
15.2 Material mecanizado	183
15.3 Material eléctrico, electrónico y de fontanería	183
15.4 PCB	186
16 Licencias de software	189
17 Mano de obra	189

15 Miniplantas de control

15.1. Material impreso en 3D












Estructura: Impresión 3D			
Imagen	Descripción	Cantidad	Peso total(g)
	Esquina superior	8	112
	Esquina inferior	8	112
	Base	1	148
	Caja Seta	1	34
	Soporte sensor	1	8
	Entrada sensor	1	3
	Flotador sensor	1	1
	Desagüe fijo 10mm	1	5










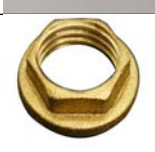
Tabla 15.1 – Listado de mediciones de piezas impresas en 3D

15.2. Material mecanizado

Estructura: mecanizado		
Imagen	Descripción	Cantidad
	Base Polycarbonato	2
	Lateral Polycarbonato	8
	Elevadores	16

15.3. Material eléctrico, electrónico y de fontanería

Componentes Eléctricos, electrónicos y de fontanería		
Imagen	Descripción	Cantidad
	Bomba de agua	1
	Fuente de alimentación	1
	Electroválvula	1
	Seta de emergencia	1
	Sensor	1
	Tornillo M1.7x5mm	2

	Conector IEC-C14	1
	Fusible 0.6A	1
	Interruptor de nivel	1
	Interruptor encendido	1
	Codo 90° Rosca 1/2 20mm	2
	Codo 90° 20mm - 20mm	1
	Llave de paso 1/2''	1
	Tubería 20mm	1m
	Conector Espiga	1
	Tuerca Corredora 1/2''	2
	Junta silicona 1/2''	6














	Racor 1/2" Macho	2
	Tubo PVC	15cm
	Cemento plástico	0.5

Tabla 15.3 – Listado de mediciones de Componentes Eléctricos, electrónicos y de fontanería

15.4. PCB

Componentes PCB			
Imagen	Descripcion	Referencia	Cantidad
	ESP32	U2	1
	Resistencia película gruesa 1K 1% - 1/8W	R2	1
	Resistencia película gruesa 10K 1% - 1/8W	R1,R3,R5-R7	5
	Resistencia película gruesa 5.1K 1% - 1/8W	R4	1
	Mosfet 2n7002K	Q1,Q2	2
	Diodo 1N4007	D1	1
	Condensador cerámico 0.22uF	C1	1
	Condensador cerámico 0.1uF	C2	1
	Micro interruptor	SW1	1
	Regulador conmutado	U1	1

	Zócalo JST PCB 15 pines 2.54p	U2	2
	Zócalo JST PCB 4 pines 2.54p	U1	1
	Conector JST PCB 4 pines 2.54p	U1	1
	Conector JST XH 4 pines 2.54p Macho	J2,J3,J9,J10	4
	Conector JST XH 4 pines 2.54p Hembra	-	2
	Conector JST XH 3 pines 2.54p Hembra	-	1
	Conector JST XH 2 pines 2.54p Macho	J4-J8,J11-J16	11
	Conector JST XH 2 pines 2.54p Hembra	-	1
	Conector KF301 2 pines	J1	1
	Conector faston 6.3mm	-	5
	Conector faston 4.8mm	-	2

	Conector horquilla SV 1.25-4	-	7
	Cable 1.5mm2 Fase	-	20cm
	Cable 1.5mm2 Neutro	-	40cm
	Cable 1.5mm2 Tierra	-	20cm
	Cable 1.5mm2 Rojo	-	40cm
	Cable 1.5mm2 Negro	-	40cm
	Cable plano 0.34mm2 4 hilos	-	1m
	PCB FR4	-	1

Tabla 15.4 – Listado de mediciones para la PCB

16 Licencias de software

Software empleado	
Software	Horas de uso
Matlab R2020b	70
Orcad Capture CIS	20
Autodesk Fusion 360	450
Autodesk AutoCAD 2020	30

Tabla 16.1 – Lista de mediciones de las licencias software

17 Mano de obra

Mano de obra		
Software empleado	Cat. profes.	Tiempo(h)
Diseño gráfico en 3D de la miniplanta	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	500
Montaje de la planta	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	40
Análisis y diseño electrónico	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	60
Programación	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	80
Puesta en marcha y calibración	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	20
Redacción del proyecto	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	300

Tabla 17.1 – Lista de mediciones de la mano de obra

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MINIPLANTA DE CONTROL DE NIVEL MEDIANTE ARDUINO O PLACA SIMILAR.

PRESUPUESTO

PETICIONARIO: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA

AVDA. 19 DE FEBREIRO, S/N

15405 - FERROL

FECHA: JULIO DE 2021

AUTOR: EL ALUMNO










Fdo.: JAVIER PRADO PICO

Índice del documento PRESUPUESTO



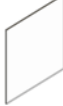

18 Miniplanta de control	195
18.1 Piezas impresas en 3D	195
18.2 Piezas mecanizadas	196
18.3 Dispositivos eléctricos, electrónicos y de fontanería	197
18.4 PCB	199
19 Licencias de software	202
20 Mano de obra	202
21 PRESUPUESTO FINAL	203

18 Miniplanta de control

18.1. Piezas impresas en 3D

Estructura: Impresión 3D					
Imagen	Descripción	Cantidad	Peso total(g)	Precio unitario(€)	Precio total(€)
	Bobina filamento	1	1000	15	6.34
	Esquina superior	8	112	1.68	-
	Esquina inferior	8	112	1.68	-
	Base	1	148	2.22	-
	Caja Seta	1	34	0.51	-
	Soporte sensor	1	8	0.12	-
	Entrada sensor	1	3	0.05	-
	Flotador sensor	1	1	0.02	-
	Desagüe fijo 10mm	1	5	0.08	-
Importe total					6.34

18.2. Piezas mecanizadas

Piezas mecanizadas					
Imagen	Descripción	Nº de piezas	Área(mm2)	Precio unitario(€)	Precio total(€)
	Plancha de polycarbonato 100x10x0.4cm	1	500000	16.99	12.50
	Base	2	28900	0.98	-
	Laterales	8	32752	1.11	-
	Elevadores	16	3000	0.10	-
Importe total					12.50












18.3. Dispositivos eléctricos, electrónicos y de fontanería

Componentes Eléctricos, electrónicos y de fontanería				
Imagen	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
	Bomba de agua	1	25.93€	25.93€
	Fuente de alimentación	1	9.67€	9.67€
	Electroválvula	1	3.18€	3.18€
	Seta de emergencia	1	2.12€	2.12€
	Sensor	1	1.21€	1.21€
	Conector IEC-C14	1	1.17€	1.17€
	Fusible 0.6A	1	1.20€	1.20€
	Interruptor de nivel	1	1.05€	1.05€
	Interruptor encendido	1	0.24€	0.24€
	Tornillo M1.7x5mm	2	0.02€	0.04€

	Cable IEC-C14	1	4€	4€
	Codo 90° Rosca 1/2 20mm	2	1.20€	2.40€
	Codo 90° 20mm - 20mm	1	1.20€	1.20€
	Llave de paso 1/2"	1	3.24€	3.24€
	Tubería 1/2"	1m	0.45€	0.45€
	Conector Espiga	1	3.01€	3.01€
	Tuerca Corredora 1/2"	2	0.57€	1.14€
	Junta silicona 1/2"	6	0.17€	1.02€
	Racor 1/2" Macho	2	1.30€	2.60€
	Tubo PVC	15cm	0.12€	0.12€
	Cemento plástico	0.5	11.25€	5.62€
Importe total dispositivos eléctricos, electrónicos y de fontanería				70.61€

18.4. PCB

Componentes PCB				
Imagen	Descripcion	Cantidad	Precio unitario	Precio total
	ESP32	1	4€	4€
	Cable micro-usb	1	1.50€	1.50€
	Resistencia película gruesa 1K 1% - 1/8W	1	0.005€	0.005€
	Resistencia película gruesa 10K 1% - 1/8W	5	0.005€	0.025€
	Resistencia película gruesa 5.1K 1% - 1/8W	1	0.005€	0.005€
	Mosfet 2n7002K	2	0.043€	0.086€
	Diodo 1N4007	1	0.009€	0.009€
	Condensador cerámico 0.22uF	1	0.005€	0.005€
	Condensador cerámico 0.1uF	1	0.005€	0.005€
	Micro interruptor	1	0.10€	0.10€

	Regulador conmutado	1	0.49€	0.49€
	Zócalo JST PCB 15 pines 2.54p	2	0.045€	0.09€
	Zócalo JST PCB 4 pines 2.54p	1	0.012€	0.012€
	Conector JST PCB 4 pines 2.54p	1	0.012€	0.012€
	Conector JST XH 4 pines 2.54p Macho	4	0.017€	0.068€
	Conector JST XH 4 pines 2.54p Hembra	2	0.086€	0.172€
	Conector JST XH 3 pines 2.54p Hembra	1	0.068€	0.068€
	Conector JST XH 2 pines 2.54p Macho	11	0.017€	0.187€
	Conector JST XH 2 pines 2.54p Hembra	1	0.052€	0.052€
	Conector KF301 2 pines	1	0.12€	0.12€
	Conector faston 6.3mm	5	0.029€	0.145€

	Conector faston 4.8mm	2	0.029€	0.058€
	Conector horquilla SV 1.25-4	7	0.025€	0.175€
	Cable 1.5mm2 Fase	20cm	0.18€	0.036€
	Cable 1.5mm2 Neutro	40cm	0.18€	0.072€
	Cable 1.5mm2 Tierra	20cm	0.18€	0.036€
	Cable 1.5mm2 Rojo	40cm	0.18€	0.072€
	Cable 1.5mm2 Negro	40cm	0.18€	0.072€
	Cable plano 0.34mm2 4 hilos	1m	0.63€	0.63€
	PCB FR4	1	1.70€	1.70€
Importe total				10€

19 Licencias de software

Presupuestos software empleado			
Software	Horas de uso (h)	Precio unitario	Precio total(€)
Matlab R2020b	70	800€/año	6.39
Orcad Capture CIS	20	531€/año	1.21
Autodesk Fusion 360	450	352€/año	18.08
Microsoft Office Professional Plus 2016 : Excell	20	135€/año	0.31
Autodesk AutoCAD 2020	30	291€/mes	11.73
Importe total			35.72

Tabla 19.1 – Costes licencias de software

20 Mano de obra

Mano de obra				
Software empleado	Cat. profes.	Tiempo(h)	P.uni(€/h)	P.tot.(€/h)
Diseño gráfico en 3D de la miniplanta	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	500	20	1000
Montaje de la planta	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	40	20	800
Análisis y diseño electrónico	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	60	20	1200
Programación	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	80	20	1600
Puesta en marcha y calibración	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	20	20	400
Redacción del proyecto	Ing. Téc. Ind. Esp. en Electrónica y Automática	300	20	6000
Importe total				11000

21 PRESUPUESTO FINAL

Presupuesto Final			
Descripción		Importe(€)	Importe Bloque(€)
Mini-planta de control	Piezas impresas en 3D	6.34	99.80
	Piezas mecanizadas	12.50	
	Dispositivos eléctricos, electrónicos y de fontanería	70.61	
	PCB	10	
Software	Licencias de software	35.72	35.72
Mano de obra	Mano de obra Ing. Tec, Ind. Esp. en Electrónica y Automática	11000	11000
Total			11135.52
Total + 18% de IVA			13139.91

El coste total asciende a la cantidad de **TRECE MIL CIENTO TREINTA Y NUEVE EUROS CON NOVENTA Y UN CÉNTIMOS DE EURO (13.137,68€)**