



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Máquina para el Post Procesado Automático de
Piezas de Resina Impresas en 3D (PrinCure 3D)

3D Printed Resin Parts Automatic Post
Processing Machine
(PrinCure 3D)

Autor

Cristián Bonafonte Calabia

Director

Juan Diego Jaria Gazol

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2022



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**Máquina para el Post Procesado Automático
de Piezas de Resina Impresas en 3D
(PrinCure 3D)**

**3D Printed Resin Parts Automatic Post
Processing Machine
(PrinCure 3D)**

424.21.60

Autor: Cristián Bonafonte Calabia

Director: Juan Diego Jaria Gazol

Fecha: 22 de Noviembre de 2022

ÍNDICE BREVE

1. Resumen	1
2. Abstract	4
3. Introducción al Proyecto	6
4. Fundamentos Teóricos del Proyecto	13
5. Desarrollo del Proyecto	52
6. Conclusiones	261
7. Bibliografía	263

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Resumen	1
1.1. Palabras clave	2
2. Abstract	4
3. Introducción al Proyecto	6
3.1. Por Qué este Proyecto	8
3.2. Objetivos del Proyecto	10
3.3. Etapas de Desarrollo	12
4. Fundamentos Teóricos del Proyecto	13
4.1. Fotopolimerización	14
4.1.1. Como Idea	14
4.1.2. Como Proceso Químico	15
4.2. Resinas Fotosensibles	18
4.2.1. Qué son estos Compuestos	18
4.2.2. Componentes Activos.....	19

INDICES

4.2.3. Salud y Seguridad	22
4.3. Proceso de Impresión con Resina	26
4.3.1. Técnicas de Impresión con Resina	26
4.3.1.1. Estereolitografía Invertida (SLA Inverted).....	27
4.3.1.2. Impresión Digital (MSLA/DLP).....	28
4.3.1.3. Estereolitografía de Baja Fuerza (LFS).....	29
4.3.2. Área de Trabajo.....	31
4.4. Proceso de Postprocesado con Resina	33
4.4.1. Importancia del Postprocesado	33
4.4.2. Etapas Clave del Postprocesado	34
4.4.2.1. Proceso de Lavado	34
4.4.2.1.1. Tipos de Disolvente.....	36
4.4.2.1.1.1. Alcoholes.....	36
4.4.2.1.1.2. Agua	37
4.4.2.1.2. Mecánicas de Eliminación de Residuos.....	39
4.4.2.1.2.1. Lavado Manual.....	39
4.4.2.1.2.2. Lavado con Agitador	39
4.4.2.1.2.3. Lavado con Ultrasonidos.....	40
4.4.2.2. Proceso de Curado	41
4.4.2.2.1. Variables Relevantes.....	42
4.4.2.2.1.1. Longitud de Onda.....	42
4.4.2.2.1.2. Tiempo	42
4.4.2.2.1.3. Flujo de Radiación	43
4.4.2.2.1.4. Transferencia de Calor	43
4.4.3. Ensayo Realizado por Formlabs	44
4.4.3.1. Cómo el Curado UV Afecta a las Propiedades Mecánicas de las Piezas Impresas Mediante Estereolitografía	44
5. Desarrollo del Proyecto	52
5.1. Fase 1 - Análisis de Antecedentes	53
5.1.1. Historia de la Estereolitografía	53
5.1.2. Análisis de Máquinas de Postprocesado Comerciales	56
5.1.2.1. Form Wash y Form Cure	56
5.1.2.1.1. Form Wash.....	56
5.1.2.1.2. Form Cure	60

5.1.2.2. Anycubic Wash & Cure 2.0	67
5.1.2.2.1. Despiece de los Componentes	69
5.1.2.2.1.1. Cuerpo Base	71
5.1.2.2.1.2. Lámpara	78
5.1.2.2.1.3. Cubeta de Lavado	80
5.1.2.2.1.4. Mecanismo de Movimiento	83
5.1.2.3. Elegoo Mercury X Bundle: Wash & Cure Station.....	84
5.2. Fase 2 - Planteamiento Primigenio del Conjunto de Componentes.....	90
5.2.1. Síntesis de Componentes de los Antecedentes	90
5.2.2. Listado de Grupos Elementales de Componentes.....	92
5.2.2.1. Fuente de Alimentación	92
5.2.2.2. Bloque de Relés	92
5.2.2.3. Placa Base.....	93
5.2.2.4. Bloque de Iluminación.....	93
5.2.2.5. Bloque Motriz.....	93
5.2.2.6. Bloque Térmico	94
5.3. Fase 3 - Planteamiento Funcional del Conjunto de Componentes	95
5.3.1. Diagrama de Bloques de Alto Nivel	96
5.3.2. Diagrama de Bloques de Medio Nivel	98
5.3.3. Diagrama de Bloques de Bajo Nivel	101
5.4. Fase 4 - Diseño de la Electrónica del Sistema	104
5.4.1. Selección de Componentes	105
5.4.1.1. Alimentación	106
5.4.1.1.1. Alimentación Entrada 12V.....	106
5.4.1.1.2. Fuente Conmutada (12V a 5V)	108
5.4.1.1.3. Switch Electrónico para la Alimentación	111
5.4.1.2. Interfaz de Usuario	112
5.4.1.2.1. Avisador Acústico	113
5.4.1.2.2. Controlador del Aparato	114
5.4.1.2.3. Visión de Instrucciones.....	115
5.4.1.3. Bloque Térmico	116
5.4.1.3.1. Calentador	117
5.4.1.3.2. Movimiento de Aire	119
5.4.1.3.3. Detección de Temperatura.....	120
5.4.1.4. Bloque de Iluminación.....	121

INDICES

5.4.1.4.1. Iluminación	121
5.4.1.4.2. Detección del Sellado.....	125
5.4.1.5. Bloque Motriz	126
5.4.1.5.1. Motor Paso a Paso	127
5.4.1.5.2. Driver de Control.....	128
5.4.1.6. Procesador	129
5.4.1.6.1. Microprocesador.....	129
5.4.1.6.2. Mecanismo de Reset.....	130
5.4.1.6.3. Comunicación USB	130
5.4.1.6.4. Comunicación SPI.....	130
5.4.1.6.5. Ventilador de Refrigeración General	131
5.4.1.7. Listado Global de Componentes	131
5.4.2. Diseño de los Esquemas Electrónicos	134
5.4.2.1. Esquema Principal.....	137
5.4.2.1.1. Alimentación	137
5.4.2.1.1.1. Alimentación Entrada 12V	138
5.4.2.1.1.2. Fuente Conmutada (12V a 5V).....	139
5.4.2.1.1.3. Switch Electrónico para la Alimentación.....	140
5.4.2.1.2. Interfaz de Usuario	141
5.4.2.1.3. Bloque Térmico.....	142
5.4.2.1.3.1. Calentador.....	142
5.4.2.1.3.2. Movimiento de Aire	143
5.4.2.1.3.3. Detección de Temperatura	144
5.4.2.1.4. Bloque de Iluminación	145
5.4.2.1.4.1. Iluminación	145
5.4.2.1.4.2. Detección del Sellado.....	146
5.4.2.1.5. Bloque Motriz	147
5.4.2.1.5.1. Driver de Control.....	147
5.4.2.1.6. Procesador	148
5.4.2.1.6.1. Microprocesador.....	148
5.4.2.1.6.2. Mecanismo de Reset.....	149
5.4.2.1.6.3. Comunicación USB	149
5.4.2.1.6.4. Comunicación SPI.....	150
5.4.2.1.6.5. Ventilador de Refrigerador General.....	151
5.4.2.2. Esquema para la Interfaz	151
5.4.2.2.1. Conector.....	152

5.4.2.2.2. Avisador Acústico	152
5.4.2.2.3. Pantalla	153
5.4.2.2.4. Encoder Rotativo	153
5.4.2.3. Esquema para la Iluminación	154
5.4.2.3.1. Conector	154
5.4.2.3.2. Fuente Conmutada 12V-3.85V	154
5.4.2.3.3. LEDs UV-A	155
5.4.3. Diseño de las Placas de Circuito Impreso (PCB)	156
5.4.3.1. Placa Principal	156
5.4.3.1.1. Preparación de la Superficie	157
5.4.3.1.2. Colocación de Componentes	158
5.4.3.1.3. Creación de Pistas y Plano	167
5.4.3.1.4. Introducción de Modelos 3D	175
5.4.3.2. Placa para la Interfaz	178
5.4.3.2.1. Preparación de la Superficie	178
5.4.3.2.2. Colocación de Componentes	179
5.4.3.2.3. Creación de Pistas y Plano	182
5.4.3.2.4. Introducción de Modelos 3D	184
5.4.3.3. Placa para la Iluminación	186
5.4.3.3.1. Preparación de la Superficie	186
5.4.3.3.2. Colocación de Componentes	187
5.4.3.3.3. Creación de Pistas y Plano	188
5.4.3.3.4. Introducción de Modelos 3D	190
5.4.4. Impresiones en el uso de KiCAD	191
5.5. Fase 5 - Planteamiento del Layout	193
5.5.1. Áreas Operativas de la Máquina	193
5.5.1.1. Área de Trabajo	194
5.5.1.2. Caja Electrónica/Negra	196
5.6. Fase 6 - Diseño de la Mecánica del Sistema	198
5.6.1. Selección del Modelo	199
5.6.2. Morfología General del Modelo	200
5.6.3. Modelado de los Nuevos Componentes	202
5.6.3.1. Cuerpo Base	203
5.6.3.1.1. Cubierta Superior Base	203
5.6.3.1.2. Cubierta Inferior Base	204

INDICES

5.6.3.1.3. Envoltura Lateral Base	205
5.6.3.1.4. Carcasa Detector IR.....	206
5.6.3.1.5. Soporte Guía Cables.....	207
5.6.3.1.6. Plataforma de Curado	208
5.6.3.1.7. Campana de Protección	209
5.6.3.1.8. Embellecedor Encoder	210
5.6.3.2. Lámpara	211
5.6.3.2.1. Cuerpo Lámpara.....	211
5.6.3.2.2. Mampara Lámpara.....	212
5.6.3.2.3. Cubierta Superior Lámpara	213
5.6.3.2.4. Tapeta Cuerpo Lámpara.....	214
5.6.3.3. Sistema de Calefacción	215
5.6.3.3.1. Carcasa Resistencia Térmica	215
5.6.3.3.2. Soporte Ventilador Resistencia.....	216
5.6.3.4. Cubeta de Lavado.....	217
5.6.3.4.1. Cubeta de Lavado	217
5.6.3.4.2. Agitador	218
5.6.3.4.3. Cesta Metálica.....	219
5.6.3.4.4. Junta Cubeta Tapa.....	220
5.6.3.4.5. Tapa de la Cubeta	221
5.6.3.5. Mecanismo de Movimiento	222
5.6.3.5.1. Soporte Motor Paso a Paso.....	222
5.6.3.5.2. Interfaz Movimiento Base.....	223
5.6.4. Impresiones en el Uso de Autodesk Inventor	224
5.7. Fase 7 - Diseño del Software del Sistema	225
5.7.1. Planteamiento de los Casos de Uso	225
5.7.2. Planteamiento de los Diagramas de Actividad	228
5.7.3. Descripción de los Bloques Algorítmicos	234
5.7.3.1. Diagrama General	234
5.7.3.1.1. Inclusión de Librerías	234
5.7.3.1.2. Definición de Entradas/Salidas	235
5.7.3.1.3. Definición de Variables Básicas.....	235
5.7.3.1.4. Definición de Estructuras Básicas	236
5.7.3.1.5. Definición de Relojes y Alarmas.....	237
5.7.3.1.6. Definición de Subrutinas.....	237
5.7.3.1.7. Setup	238

5.7.3.1.8. Declaración de Subrutinas.....	238
5.7.3.1.9. Loop.....	239
5.7.3.2. Rutina del Setup	239
5.7.3.2.1. Comprobación de Sistemas	239
5.7.3.2.2. Inicialización de Sistemas	240
5.7.3.3. Rutina del Loop	242
5.7.3.3.1. Menú Principal	242
5.7.3.3.2. Pantalla de Información	243
5.7.3.3.3. Modo de Lavado.....	244
5.7.3.3.3.1. Menú de Lavado	244
5.7.3.3.3.2. Menú de Edición.....	244
5.7.3.3.3.3. Proceso de Lavado.....	245
5.7.3.3.4. Modo de Curado	247
5.7.3.3.4.1. Menú de Curado.....	247
5.7.3.3.4.2. Menú de Edición.....	247
5.7.3.3.4.3. Proceso de Curado	248
5.8. Fase 8 - Elaboración de la Maqueta.....	251
5.8.1. Especificaciones de la Máquina FDM	252
5.8.2. Concesiones al Diseño	253
5.8.3. Proceso de Construcción	254
5.8.3.1. Obtención de los Archivos STL	254
5.8.3.1.1. Autodesk Inventor	254
5.8.3.1.2. KiCAD	256
5.8.3.2. Escalado de los Modelos	256
5.8.3.3. Preparación de los Archivos GCode	258
5.8.3.4. Impresión de las Piezas	259
5.8.3.5. Ensamblado de las Piezas.....	260
6. Conclusiones.....	261
7. Bibliografía.....	263

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Equipamiento de Formlabs; Form 3, Form Wash y Form Cure	7
Ilustración 2 - Equipo de Protección Individual Básico	22
Ilustración 3 - Espectro UV (www.weuvcare.com)	23
Ilustración 4 - Comparativa de Polímeros Bloqueadores de Radiación UV-A [17] ...	24
Ilustración 5 - Dibujo Conceptual de Estereolitografía por Charles Hull [5]	27
Ilustración 6 - Form 2 de Formlabs (SLA Inverted).....	28
Ilustración 7 - Diferencias Conceptuales entre Técnicas Fotogramétricas (filament2print.com).....	29
Ilustración 8 - Form 3 de Formlabs	30
Ilustración 9 - Modo de Funcionamiento del LFS (Formlabs)	30
Ilustración 10 - Área de Trabajo Doméstica para Impresión con Resina	31
Ilustración 11 - Simulación de Contraste Pieza Con/Sin PostProceso.....	33
Ilustración 12 - Pieza con Lavado Incorrecto (Modelo 3D: ArchVillain Games) ..	35
Ilustración 13 - Pieza con Lavado Correcto (Modelo 3D: ArchVillain Games)	35
Ilustración 14 - Resina "Water Washable" marca Elegoo	37
Ilustración 15 - Avisos de Riesgo en Botella de Alcohol Etílico.....	37
Ilustración 16 - Lavado de Piezas Impresas con Resina Soluble en Agua	38
Ilustración 17 - Juego de Vasos de Precipitados.....	39
Ilustración 18 - Anycubic Wash & Cure 2.0 (Agitador Magnético)	40
Ilustración 19 - Ejemplo de Limpiador por Ultrasonidos Comercial (www.todoerografia.com).....	40
Ilustración 20 - Definición Visual de Longitud de Onda (www.wikipedia.org) ...	42
Ilustración 21 - Orientación de las Capas en las Probetas Fabricadas [20, Fig. 1]	45
Ilustración 22 - Cámara de Curado Simple Formlabs [20, Fig. 2]	46
Ilustración 23 - Cámara de Curado Avanzada Formlabs [20, Fig. 3]	46

Ilustración 24 - Espectro Longitud de Onda Matriz LED 405nm 10W [20, Fig. 6]	47
Ilustración 25 - Efecto de la Longitud de Onda sobre la Tensión de Rotura en Resina Clear V2 [20, Fig. 8]	48
Ilustración 26 - Efecto de la Longitud de Onda sobre el Módulo en Resina Clear V2 [20, Fig. 9]	48
Ilustración 27 - Efecto de la Temperatura sobre la Tensión de Rotura en Resina Clear V2 [20, Fig. 10]	49
Ilustración 28 - Efecto de la Temperatura sobre el Módulo en Resina Clear V2 [20, Fig. 11]	49
Ilustración 29 - Efecto del Flujo de Radiación en Resina Clear V2 (60°C/60min) [20, Fig. 12]	50
Ilustración 30 - Form Wash (Vista General).....	56
Ilustración 31 - Form Cure (Contacto con Superficie de Trabajo)	57
Ilustración 32 - Form Wash (Compartimentos Laterales).....	58
Ilustración 33 - Form Wash (Interior del Tanque)	58
Ilustración 34 - Form Wash (Menú de Software)	60
Ilustración 35 - Form Cure	61
Ilustración 36 - Form Cure (Sección Inferior Posterior)	61
Ilustración 37 - Form Cure (Bisagra)	62
Ilustración 38 - Form Cure (Interior)	63
Ilustración 39 - Form Cure (Bajo la Plataforma).....	63
Ilustración 40 - Form Cure (Módulo de Calefacción)	64
Ilustración 41 - Form Cure (Menú Principal)	65
Ilustración 42 - Anycubic Wash & Cure (www.anycubic.com)	67
Ilustración 43 - Anycubic Wash & Cure 2.0	68
Ilustración 44 - Anycubic Wash & Cure Plus (www.anycubic.com)	68
Ilustración 45 - Conjunto W&C Anycubic "Lámpara"	69
Ilustración 46 - Conjunto W&C Anycubic "Cubeta de Lavado"	70

INDICES

Ilustración 47 - Conjunto W&C Anycubic "Mecanismo de Movimiento"	70
Ilustración 48 - Máquina W&C Anycubic; Cubierta Superior Base (Vista Superior)	71
Ilustración 49 - Máquina W&C Anycubic; Cubierta Superior Base (Vista Inferior)	72
Ilustración 50 - Máquina W&C Anycubic; Cubierta Inferior Base	72
Ilustración 51 - Máquina W&C Anycubic; Envolvura Lateral Base (Orificios Interfaz)	73
Ilustración 52 - Máquina W&C Anycubic; Envolvura Lateral Base (Orificios Alimentación).....	73
Ilustración 53 - Máquina W&C Anycubic; Envolvura Lateral Base (Vista Interior)	74
Ilustración 54 - Máquina W&C Anycubic; Envolvura Lateral Base (Rejilla de Ventilación)	74
Ilustración 55 - Máquina W&C Anycubic; Carcasa Detector IR	75
Ilustración 56 - Máquina W&C Anycubic; Soporte-Guía Cables.....	75
Ilustración 57 - Máquina W&C Anycubic; Plataforma de Curado	76
Ilustración 58 - Máquina W&C Anycubic; Campana de Protección.....	76
Ilustración 59 - Embellecedor Encoder.....	77
Ilustración 60 - Máquina W&C Anycubic; Izq. Tapeta Cuerpo Lámpara con Mamparas, Dcha. Cuerpo Lámpara	78
Ilustración 61 - Máquina W&C Anycubic; Cubierta Superior Lámpara	79
Ilustración 62 - Máquina W&C Anycubic; Cubeta de Lavado (Vista Exterior)	80
Ilustración 63 - Máquina W&C Anycubic; Cubeta de Lavado (Inserto Interno).....	80
Ilustración 64 - Máquina W&C Anycubic; Agitador.....	81
Ilustración 65 - Máquina W&C Anycubic; Cesta Metálica.....	81
Ilustración 66 - Anycubic Wash & Cure 2.0 (Uso de los Soportes en Fase de Lavado) [31].....	82
Ilustración 67 - Máquina W&C Anycubic; Tapa de la Cubeta y Junta Tapa Cubeta	82

Ilustración 68 - Máquina W&C Anycubic; Soporte Motor Paso a Paso	83
Ilustración 69 - Máquina W&C Anycubic; Interfaz Movimiento Base	83
Ilustración 70 - Elegoo Mercury X Bundle: Wash & Cure Station [Youtube: Just Vlad].....	84
Ilustración 71 - Elegoo Mercury X Cure Station (Base) [Youtube: Just Vlad]	85
Ilustración 72 - Elegoo Mercury X Bundle (Vista Inferior) [Youtube: Just Vlad] ..	85
Ilustración 73 - Elegoo Mercury X Wash Station (Interior) [Youtube: Just Vlad]	86
Ilustración 74 - Elegoo Mercury X Cure Station (Interior) [Youtube: Just Vlad] ..	87
Ilustración 75 - Elegoo Mercury X Cure Station (Superficie Superior) [Youtube: Just Vlad]	87
Ilustración 76 - Elegoo Mercury X (Barras Matrices LED) [Youtube: Just Vlad] ..	88
Ilustración 77 - Elegoo Mercury X Wash Station (Pieza Agitadora) [Youtube: Just Vlad].....	88
Ilustración 78 - Diagrama de Alto Nivel	96
Ilustración 79 - Diagrama de Medio Nivel.....	98
Ilustración 80 - Diagrama de Bajo Nivel.....	101
Ilustración 81 - Protección de Polaridad Inversa con MOSFET [33]	106
Ilustración 82 - Caso de Alimentación Inversa [33]	107
Ilustración 83 - Consola de Entrada (WEBENCH® Power Designer)	108
Ilustración 84 - Diagrama de la Fuente Conmutada Seleccionada (WEBENCH® Power Designer)	109
Ilustración 85 - Gráfica de Eficiencia para la Fuente Conmutada (12V - 5V) (WEBENCH® Power Designer).....	110
Ilustración 86 - Switch Electrónico de Alimentación Arduino UNO Rev3 [35] ...	111
Ilustración 87 - Ilustración de un Buzzer (De Google Imágenes).....	113
Ilustración 88 - Encoder Rotativo (De Google Imágenes)	114
Ilustración 89 - Pantalla LCD 16x2 con su Controlador Adicional Integrado (De Google Imágenes)	115
Ilustración 90 - Radiador Eléctrico Seleccionado (12V/150W) [36]	117

INDICES

Ilustración 91 - Ventilador 60x60x10 (mm) (De Google Imágenes).....	119
Ilustración 92 - Sensor de Temperatura DFR0198 (De Google Imágenes)	120
Ilustración 93 - Medición de Distancia entre Lámpara y Centro de la Plataforma de Curado en Anycubic Wash&Cure 2.0	122
Ilustración 94 - Gráfica Comparativa Corriente-Tensión-Potencia [37, p. 7] ...	123
Ilustración 95 - Fuente Conmutada (12V a 3.85V) (WEBENCH® Power Designer)	124
Ilustración 96 - Módulo Detector IR Arduino (De Google Imágenes)	125
Ilustración 97 - Motores Paso a Paso (De Google Imágenes)	127
Ilustración 98 - Controlador para el Motor Paso a Paso DRV8825 (De Google Imágenes).....	128
Ilustración 99 - Encapsulado del ATmega328PB (De Google Imágenes)	129
Ilustración 100 - PCB Principal Wash&Cure 2.0 Anycubic	134
Ilustración 101 - PCB Interfaz de Usuario Wash&Cure 2.0 Anycubic	135
Ilustración 102 - PCB Lámpara Wash&Cure 2.0 Anycubic	135
Ilustración 103 - Elegoo Mercury X Bundle; Placa Base Máquina Lavado	136
Ilustración 104 - Elegoo Mercury X Bundle; Placa Base Máquina Curado	136
Ilustración 105 - Esquema Electrónico General Placa Principal	137
Ilustración 106 - Esquema Electrónico Subsistema Alimentación Entrada 12V	138
Ilustración 107 - Esquema Electrónico Subsistema Fuente Conmutada (12V a 5V)	139
Ilustración 108 - Esquema Electrónico Subsistema Switch Electrónico para la Alimentación	140
Ilustración 109 - Método de Conexión entre Placa Principal y Placa Interfaz de Usuario	141
Ilustración 110 - Esquema Electrónico Subsistema Calentador.....	142
Ilustración 111 - Esquema Electrónico Subsistema Movimiento de Aire.....	143
Ilustración 112 - Esquema Electrónico Subsistema Detección de Temperatura	144
Ilustración 113 - Esquema Electrónico Subsistema Iluminación	145

Ilustración 114 - Esquema Electrónico Subsistema Detección del Sellado	146
Ilustración 115 - Esquema Electrónico Subsistema Driver de Control	147
Ilustración 116 - Esquema Electrónico Subsistema Microprocesador	148
Ilustración 117 - Esquema Electrónico Subsistema Mecanismo de Reset	149
Ilustración 118 - Esquema Electrónico Subsistema Comunicación USB.....	149
Ilustración 119 - Esquema Electrónico Subsistema Comunicación SPI.....	150
Ilustración 120 - Esquema Electrónico Subsistema Ventilador de Refrigeración General	151
Ilustración 121 - Esquema Electrónico Subsistema Conector Placa Interfaz	152
Ilustración 122 - Esquema Electrónico Subsistema Avisador Acústico Placa Interfaz	152
Ilustración 123 - Esquema Electrónico Subsistema Pantalla Placa Interfaz.....	153
Ilustración 124 - Esquema Electrónico Subsistema Encoder Rotativo Placa Interfaz	153
Ilustración 125 - Esquema Electrónico Subsistema Conector Placa Iluminación	154
Ilustración 126 - Esquema Electrónico Subsistema Fuente Conmutada (12V a 3.85V) Placa Iluminación	154
Ilustración 127 - Esquema Electrónico Subsistema LEDs UV-A Placa Iluminación	155
Ilustración 128 - Definición Perímetro Placa Principal.....	157
Ilustración 129 - Colocación de Componentes sobre Placa Principal	158
Ilustración 130 - Subsistema Alimentación Entrada 12V PCB Principal	159
Ilustración 131 - Subsistema Switch Electrónico Alimentación PCB Principal ...	159
Ilustración 132 - Subsistema Fuente Alimentación Conmutada 5V PCB Principal	160
Ilustración 133 - Conector para Placa Interfaz de Usuario PCB Principal	160
Ilustración 134 - Subsistema Microprocesador PCB Principal.....	161
Ilustración 135 - Subsistema Mecanismo de Reset PCB Principal.....	161

INDICES

Ilustración 136 - Subsistema Comunicación USB PCB Principal	162
Ilustración 137 - Subsistema Comunicación SPI PCB Principal	162
Ilustración 138 - Subsistema Ventilación General PCB Principal	163
Ilustración 139 - Subsistema Resistencia Térmica PCB Principal.....	163
Ilustración 140 - Subsistema Ventilador PCB Principal	164
Ilustración 141 - Subsistema Sensor Temperatura PCB Principal.....	164
Ilustración 142 - Subsistema Control Motor Paso a Paso PCB Principal.....	165
Ilustración 143 - Subsistema Sensor IR PCB Principal.....	165
Ilustración 144 - Subsistema LEDs UV-A PCB Principal	166
Ilustración 145 - Creación de Pistas y Planos sobre Placa Principal	168
Ilustración 146 - Pistas para Alimentación 5V Placa Principal	169
Ilustración 147 - Pistas para GND en Capa Superior PCB Principal.....	170
Ilustración 148 - Plano para Alimentación a 12V Placa Principal	171
Ilustración 149 - Planos Locales 12V Fuente Conmutada 12 a 5 voltios.....	172
Ilustración 150 - Planos Locales 12V LEDs UV-A	172
Ilustración 151 - Plano Local Alimentación 12V Ventilador Sistema de Calefacción	173
Ilustración 152 - Plano Local Alimentación 12V Resistencia Térmica	173
Ilustración 153 - Plano para GND Placa Principal.....	174
Ilustración 154 - Renderizado 3D General PCB Principal.....	175
Ilustración 155 - Renderizado 3D Vista Cenital PCB Principal	176
Ilustración 156 - Renderizado 3D Vista Inferior PCB Principal	177
Ilustración 157 - Definición Perímetro Placa Interfaz	178
Ilustración 158 - Colocación de Componentes sobre Placa Interfaz.....	179
Ilustración 159 - Subsistema Conector Placa Principal en PCB Interfaz	179
Ilustración 160 - Subsistema Avisador Sonoro PCB Interfaz	180
Ilustración 161 - Subsistema Pantalla PCB Interfaz	180
Ilustración 162 - Subsistema Encoder Rotativo PCB Interfaz	181

Ilustración 163 - Creación de Pistas y Planos sobre Placa Interfaz	182
Ilustración 164 - Conexiones Capa Superior PCB Interfaz.....	183
Ilustración 165 - Conexiones Capa Inferior PCB Interfaz	183
Ilustración 166 - Renderizado 3D General PCB Interfaz	184
Ilustración 167 - Renderizado 3D Vista Cenital PCB Interfaz.....	184
Ilustración 168 - Renderizado 3D Vista Inferior PCB Interfaz	185
Ilustración 169 - Definición Perímetro Placa Iluminación	186
Ilustración 170 - Colocación de Componentes sobre Placa Iluminación	187
Ilustración 171 - Creación de Pistas y Planos sobre Placa Iluminación.....	188
Ilustración 172 - Plano Alimentación 12V Placa Iluminación	189
Ilustración 173 - Plano Alimentación 3.85V Placa Iluminación.....	189
Ilustración 174 - Plano de GND Placa Iluminación	189
Ilustración 175 - Renderizado 3D General PCB Iluminación	190
Ilustración 176 - Renderizado 3D Vista Cenital PCB Iluminación	190
Ilustración 177 - Layout Básico en Referencia a Antecedentes	193
Ilustración 178 - Área de Trabajo en el Layout	194
Ilustración 179 - Estructuración del Volumen Superior.....	195
Ilustración 180 - Caja Electrónica/Negra en el Layout.....	196
Ilustración 181 - Estructuración del Volumen Inferior	197
Ilustración 182 - Área de Trabajo Wash&Cure 2.0 Anycubic	200
Ilustración 183 - Caja Electrónica/Negra Wash&Cure 2.0 Anycubic.....	201
Ilustración 184 - PrinCure 3D; Cubierta Superior Base	203
Ilustración 185 - PrinCure 3D; Cubierta Inferior Base	204
Ilustración 186 - PrinCure 3D; Envoltura Lateral Base	205
Ilustración 187 - PrinCure 3D; Carcasa Detector IR.....	206
Ilustración 188 - PrinCure 3D; Soporte-Guía Cables	207
Ilustración 189 - PrinCure 3D; Plataforma de Curado	208
Ilustración 190 - PrinCure 3D; Campana de Protección	209

INDICES

Ilustración 191 - Embellecedor Encoder.....	210
Ilustración 192 - PrinCure 3D; Cuerpo Lámpara.....	211
Ilustración 193 - PrinCure 3D; Mampara Lámpara.....	212
Ilustración 194 - PrinCure 3D; Cubierta Superior Lámpara	213
Ilustración 195 - PrinCure 3D; Tapeta Cuerpo Lámpara	214
Ilustración 196 - PrinCure 3D; Carcasa Resistencia Térmica	215
Ilustración 197 - PrinCure 3D; Soporte Ventilador Resistencia	216
Ilustración 198 - PrinCure 3D; Cubeta de Lavado.....	217
Ilustración 199 - PrinCure 3D; Agitador	218
Ilustración 200 - PrinCure 3D; Cesta Metálica.....	219
Ilustración 201 - PrinCure 3D; Junta Cubeta Tapa.....	220
Ilustración 202 - PrinCure 3D; Tapa de la Cubeta	221
Ilustración 203 - PrinCure 3D; Soporte Motor Paso a Paso	222
Ilustración 204 - PrinCure 3D; Interfaz Movimiento Base	223
Ilustración 205 - Diagrama de Casos de Uso	226
Ilustración 206 - Diagrama de Actividad General	229
Ilustración 207 - Diagrama de Actividad del Setup.....	230
Ilustración 208 - Diagrama de Actividad del Loop	231
Ilustración 209 - Diagrama de Actividad para el Proceso de Lavado	232
Ilustración 210 - Diagrama de Actividad para el Proceso de Curado	233
Ilustración 211 - Simulación Gráfica del Menú Principal	242
Ilustración 212 - Simulación Gráfica del Menú Sobre.....	243
Ilustración 213 - Simulación Gráfica del Menú de Lavado	244
Ilustración 214 - Simulación Gráfica del Menú de Edición del Modo de Lavado	244
Ilustración 215 - Simulación Gráfica del Menú de Pausa (Lavado)	245
Ilustración 216 - Simulación Gráfica de la Pantalla Mostrada durante el Proceso de Lavado.....	246
Ilustración 217 - Simulación Gráfica del Menú de Curado	247

Ilustración 218 - Simulación Gráfica del Menú de Edición del Modo de Lavado	247
Ilustración 219 - Diagrama de Actividad para el Proceso de Curado Señalando los Bucles	249
Ilustración 220 - Simulación Gráfica del Menú de Pausa (Curado)	250
Ilustración 221 - Simulación Gráfica de la Pantalla Mostrada durante el Proceso de Lavado	250
Ilustración 222 - Sistema 3D FDM Seleccionado para Fabricación de Maqueta	252
Ilustración 223 - Autodesk Inventor; Submenú "Enviar a Servicio de Impresión 3D" 1	254
Ilustración 224 - Autodesk Inventor; Submenú "Enviar a Servicio de Impresión 3D" 2	255
Ilustración 225 - Autodesk Inventor; Submenú "Enviar a Servicio de Impresión 3D" 3	255
Ilustración 226 - KiCAD; Exportar en STEP.....	256
Ilustración 227 - Ultimaker Cura; Escalado de Modelos 3D	257
Ilustración 228 - Ultimaker Cura; Preparación del GCode	258
Ilustración 229 - Impresión 3D de la Pieza "Cuerpo Lámpara"	259
Ilustración 230 - Maqueta Completa de PrinCure 3D.....	260

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Medidas de Salida Fuentes de Iluminación Estudio Formlabs	47
Tabla 2 - Listado de Componentes Sistema de Alimentación	131
Tabla 3 - Listado de Componentes Sistema de Interfaz de Usuario	132
Tabla 4 - Listado de Componentes Sistema Térmico	132
Tabla 5 - Listado de Componentes Sistema de Iluminación	132
Tabla 6 - Listado de Componentes Sistema de Movimiento	132
Tabla 7 - Listado de Componentes Sistema de Procesador	133



INDICES

1. RESUMEN

Con la constante evolución de las tecnologías de impresión 3D a lo largo de esta última década, se ha incrementado, entre el sector doméstico y el sector semiprofesional, el empleo de máquinas que utilizan resina fotosensible como materia prima. No obstante, debido a la complejidad de estos materiales, surge la necesidad de emplear máquinas especializadas que realicen un necesario postprocesado a las piezas impresas.

Este proyecto focaliza su atención en el diseño de una máquina para el postprocesado de estas piezas teniendo en cuenta las ya existentes para este tipo de mercados, analizando sus puntos fuertes y débiles, con la idea de traer un elemento ya presente en las máquinas de mayor gama que, según los estudios, permite a las piezas impresas alcanzar su plenitud estructural, un sistema de calefacción.

--

With the constant evolution of 3D printing technologies over the last decade, the use of machines that use photosensitive resin as raw material has increased in the domestic and semi-professional sectors. However, due to the complexity of these materials, there is a need to use specialised machines that carry out the necessary post-processing of the printed parts.

This project focuses on the design of a machine for the post-processing of these parts, taking into account those already existing for this type of market, analysing their strengths and weaknesses, with the idea of bringing in an element already present in the top of the range machines which, according to the studies, allows the printed parts to reach their structural fullness, a heating system.

1.1. PALABRAS CLAVE

Con el objetivo de esclarecer la comprensión de la materia almacenada en este documento, se presentan los términos clave más relevantes.

- **Impresión 3D:** Técnica de fabricación, también denominada "Fabricación Aditiva", cuyo principio de funcionamiento básico es el de apilar sucesivamente capas de material de forma discreta llegando a construir, finalmente, una pieza en tres dimensiones determinada.
- **Fotoiniciador:** Se trata de una molécula diseñada específicamente para reaccionar ante un estímulo provocado por una radiación electromagnética de una longitud de onda determinada. Su efecto consiste en crear puentes moleculares entre cadenas poliméricas y otros compuestos derivados.
- **Resina Fotosensible:** Se trata de un material viscoso, derivado de las resinas epoxi y las resinas acrílicas, que contiene, además de los monómeros y aglutinantes típicos en estos materiales: moléculas fotoiniciadoras, diluyentes, flexibilizadores, estabilizadores, aditivos cromáticos y otros compuestos.
- **Fotopolimerización:** Se trata de un proceso químico que involucra cadenas moleculares típicas en materiales poliméricos y moléculas que reaccionan ante una longitud de onda determinada, los fotoiniciadores. Al efectuarse este proceso, los fotoiniciadores inician y catalizan uniones con el resto de las cadenas solidificando la resina expuesta a la radiación.
- **Estereolitografía:** Una técnica de impresión 3D. Su principio de funcionamiento se basa en la fotopolimerización de resina fotosensible de forma aditiva sobre una superficie móvil, creando una figura con una geometría determinada.
- **Curado:** En términos de Impresión 3D, más concretamente en el proceso de la estereolitografía, se utiliza este término para referirnos al grado de exposición que ha tenido el material fotopolimérico ante la radiación electromagnética clave. Así como cuando se quiere hacer referencia a las diferentes etapas de exposición que se dan a lo largo del proceso de impresión 3D mediante estereolitografía.

- **Postprocesado:** Parte fundamental en el proceso de impresión 3D mediante estereolitografía, debido al gran incremento de las propiedades mecánicas que sufren las piezas, así como de la mejoría estética en la superficie de estas. Este proceso consta de un lavado inicial en un disolvente que limpia la superficie de la pieza retirando la resina sobrante y dejando expuesta la resina solidificada, un curado secundario que mejora las propiedades mecánicas de la pieza impresa y un pulido para todas aquellas superficies cuyo acabado no sea considera aceptable.

2. ABSTRACT

Con la constante evolución de las tecnologías de impresión 3D a lo largo de esta última década, se ha incrementado, entre el sector doméstico y el sector semiprofesional, el empleo de máquinas que utilizan resina fotosensible como materia prima. Sin embargo, debido al estado en el que se encuentran las piezas justo tras su fabricación, débiles y blandas, y a la complejidad que supone el correcto empleo de estos materiales, surge la necesidad de emplear equipos especializados que realicen un necesario postprocesado a las piezas impresas.

Dentro de este procesado tras la fabricación hay dos etapas que conviene diferenciar, la etapa de lavado y la etapa de curado, respectivamente dispuestas en orden de ejecución. Siendo el lavado una etapa más preparatoria que ejecutiva, es en el curado donde la pieza adquiere sus propiedades mecánicas finales, únicamente si las condiciones son las apropiadas.

El proyecto focaliza su atención en el diseño de una máquina para el postprocesado de este tipo de piezas teniendo en cuenta los equipos existentes para los segmentos de mercado ya expuestos. Así, el último objetivo será integrar un elemento ya presente en las máquinas de mayor gama que, según los estudios, permite a las piezas impresas alcanzar su plenitud estructural, un sistema de elevación de la temperatura.

Tras realizar el oportuno análisis de los antecedentes disponibles, en el proyecto se sigue una metodología, dividida en varias fases, que consiste en abordar secuencialmente las tres áreas de conocimiento necesarias para el diseño de la máquina; la electrónica, la mecánica y la programación, haciendo más hincapié en las dos primeras. En cada uno de los bloques, inicialmente se preparan los conocimientos más básicos, organizándolos y desarrollándolos, hasta conseguir el producto final oportuno que permita avanzar con la máquina de forma global.

A la conclusión, se obtiene el diseño de una máquina compacta para el completo postprocesado de piezas impresas en resina, basada en uno de los equipos ya disponibles en el mercado, habiendo integrado exitosamente el nuevo sistema de calefacción en cada una de las tres áreas abordadas. Y, siendo una de las conclusiones más valiosas del trabajo, se expone la facilidad para permitir que los usuarios de impresoras 3D, domésticos o semiprofesionales, alcancen nuevas cotas dentro del rango para las propiedades mecánicas en sus piezas que pueden alcanzar.

With the constant evolution of 3D printing technologies over the last decade, the use of machines that use photosensitive resin as raw material has increased in the domestic and semi-professional sectors. However, due to the weak and soft state of the parts immediately after manufacture and the complexity involved in the correct use of these materials, there is a need to use specialised equipment to carry out the necessary post-processing of the printed parts.

Within this post-manufacturing processing, there are two stages that should be differentiated, the washing stage and the curing stage, respectively arranged in order of execution. Since washing is a preparatory rather than an executive stage, it is in the curing stage that the piece acquires its final mechanical properties, only if the conditions are appropriate.

The project focuses on the design of a machine for the post-processing of this type of part, taking into account existing equipment for the market segments already described. Thus, the final objective will be to integrate an element already present in the top-of-the-range machines which, according to the studies, allows the printed parts to reach their structural fullness, a temperature elevation system.

After carrying out the appropriate analysis of the available background, the project follows a methodology, divided into several phases, which consists of sequentially addressing the three areas of knowledge necessary for the design of the machine; electronics, mechanics and programming, with more emphasis on the first two. In each of the blocks, the most basic knowledge is initially prepared, organised and developed, until the appropriate end product is achieved that allows the machine to progress globally.

At the conclusion, the design of a compact machine for the complete post-processing of resin-printed parts is obtained, based on one of the machines already available on the market, having successfully integrated the new heating system in each of the three areas addressed. And, as one of the most valuable conclusions of the work, it exposes the facility to allow users of 3D printers, domestic or semi-professional, to reach new heights within the range for the mechanical properties in their parts that they can achieve.

3. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

Con la creciente evolución de las tecnologías de impresión 3D durante esta última década, no es inusual saber de alguien que acabe de empezar o ya esté habituado a su uso. Debido a esto, a que gran cantidad de personas y empresas ya están trabajando con estas técnicas, se ha producido un avance más rápido y sustancial de las mismas que causa el desarrollo de nuevas y mejoradas máquinas que optimizan los procesos de fabricación y/o postprocesado.

Una de las tecnologías de más reciente popularización es la conocida como "estereolitografía", una técnica que consiste en la fabricación de piezas mediante la solidificación discreta de una resina fotosensible. Grandes empresas como 3D Systems y otras más pequeñas como FormLabs, Anycubic o Elegoo han propiciado en mayor o menor medida la expansión del empleo de esta técnica, gracias a la puesta en marcha de proyectos de creación de máquinas especializadas que puedan trabajar con esta tecnología. Sin embargo, a pesar de que esta forma de trabajo ya lleva unos cuantos años de "rodaje" no ha sido hasta hace poco que se ha comenzado el desarrollo y perfeccionamiento de máquinas que gestionen el postprocesado de las piezas, es decir, maquinaria especializada que facilita el proceso de postprocesado llegando a reducirlo a pequeñas acciones que cualquier usuario sea capaz de realizar sin mayor inconveniente y con poca formación.

Alguna de las ramas de avances más populares es la que investiga nuevos hallazgos para mejorar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados para imprimir, consiguiendo que las piezas finales sean más resistentes y duraderas ante los esfuerzos externos que puedan soportar. En este campo tanto empresas como usuarios independientes han realizado investigaciones sobre qué procesos son los más aconsejables y cuál es el mejor modo de llevarlos a cabo, para una técnica como la estereolitografía es todavía más relevante donde el postprocesado es parte esencial del proceso global de impresión. Como resultado de estas investigaciones se obtienen máquinas que gestionan el postprocesado basándose en ciertas condiciones de funcionamiento que aplican sobre las piezas impresas.

FormLabs fue la primera empresa que se lanzó a diseñar una pareja de máquinas de escritorio, la Form Cure y la Form Wash, que son capaces de llevar a cabo de forma simple las tareas requeridas; lavar y curar. No deja de hacer falta un operario humano para poder gestionar el proceso completo, debiendo mover las piezas de una máquina a otra.



Ilustración 1 - Equipamiento de Formlabs; Form 3, Form Wash y Form Cure

Anycubic ha sido otra de las marcas más recientes que han dado el salto al pretender innovar en este campo, llegando a sacar hasta la fecha tres máquinas, evoluciones consecutivas, que logran aunar lo que las de Formlabs hacen por separado, no sin sacrificar alguna característica de por medio. Con este equipo, el trabajo que debe hacer el operario es menor y más simple, evitando más perturbaciones que puedan ocasionar generar un fallo durante el proceso.

Y así, otras empresas independientes han emprendido diferentes caminos sacando al mercado sus propias máquinas, con diversos costes, que realizan algunas funciones simples que pueden llegar a satisfacer a un gran rango de usuarios. Máquinas que requieren de una dependencia total del usuario, ya que no llegan a cerrar todo el proceso y precisan de una mayor intervención humana a la hora de recorrer todo el postprocesado. Es el caso de la "Elegoo Mercury".

Por último, siempre queda lugar a la innovación personal que los usuarios de impresoras 3D aportan al sector. Es el caso de máquinas de curado de diseño y elaboración domésticas que pueden llegar a satisfacer los requerimientos más básicos en una impresión con resina.

Las puertas a la innovación y al descubrimiento de nuevas y mejores formas de realizar los procesos están siempre abiertas para todos aquellos interesados a aventurarse a ello, este Trabajo de Fin de Grado pretende ser un buen ejemplo de ello.

3.1. POR QUÉ ESTE PROYECTO

Las tecnologías de impresión 3D, a pesar de haber sido inventadas hace varias décadas, son técnicas de fabricación de componentes que se han popularizado enormemente en la última década a nivel doméstico, semiprofesional y profesional. Es por esto por lo que el sector en el que se desenvuelven no deja de evolucionar constantemente con nuevas máquinas, materiales y protocolos de trabajo de forma casi constante. Esto es visible en ferias, webinars y coloquios, como la feria "Addit3D" celebrada en Junio de 2022 en Bilbao, España, entre otras muchos eventos relacionados, donde se presentan todas estas novedades.

Este Trabajo de Final de Grado toma contacto en una de las técnicas de trabajo más emergentes en el sector doméstico y semiprofesional por su detalle y posibilidades, la estereolitografía. Como se comentará en apartados más avanzados, a diferencia de la popular técnica FDM, este modo de fabricación requiere de un postprocesado que incluye dos etapas básicas; un lavado y un curado. El lavado de la pieza trata de limpiar la superficie de la figura de restos de resina no curada que hayan podido quedar durante la impresión.

La etapa de curado será el momento en el que la pieza adquiera una mayor rigidez y consistencia, es de ambos el de mayor criticidad. Si se expone la pieza a unas condiciones óptimas se conseguirá que este proceso sea más efectivo logrando una pieza final de mejores propiedades. Por el contrario, dependiendo de cómo se modifiquen dichas condiciones las propiedades que adquiera la pieza final también variarán, resultando en una pieza que pueda incluso llegar a ser completamente defectuosa. Este ha sido un efecto muy estudiado por la comunidad "maker" en internet y por empresas del sector en busca del perfeccionamiento de sus equipos, por lo que uno de estos estudios se analizará para recopilar más información sobre la que poder trabajar.

A groso modo, se pueden resumir las condiciones de postprocesado en cuatro variables concretas con posibilidad de modificación de cara a variar el resultado de la pieza final; longitud de onda, tiempo, flujo de radiación y transferencia de calor. Las máquinas disponibles que se pueden encontrar en el mercado para el sector doméstico o semiprofesional (pequeña empresa), por debajo de los 500€, generalmente suelen tener en cuenta hasta tres de estas cuatro variables, obviando el incremento de temperatura.



A consecuencia, no se llegan a tener máquinas dentro de este rango de precio y volumen, para estos sectores, que permita postprocesar las piezas teniendo en cuenta las dos partes del proceso y las cuatro variables fundamentales que sacarán a la luz las mejores propiedades de los materiales utilizados.

Ahora, resulta lógico pensar cuál será el siguiente paso que estas máquinas deberán dar, este proyecto va a adoptar dicha idea como su meta a la hora de plantear un diseño que integre la transferencia de calor, sugiriendo un avance que ayude a optimizar la impresión 3D mediante estereolitografía en el sector doméstico y semiprofesional.

3.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Antes de definir los objetivos de este proyecto, es necesario comentar las circunstancias bajo las que se ha desarrollado y, adecuadamente, poder argumentar el hecho de que alguno de los objetivos puede ser ligeramente diferentes a los expuestos dentro de la descripción de la primigenia propuesta inicialmente presentada, aunque no en su título.

En la fecha en la que se comienza el planteamiento de este trabajo, el 12 de Febrero de 2021, un evento no previsto azotó a la normalidad a través de todo el mundo, la pandemia del COVID-19. A consecuencia de este impacto, múltiples mercados tecnológicos vieron afectada su actividad por demandas de producto mayores u otros contratiempos de naturaleza similar. La crisis de los semiconductores, agravada por este suceso, y el encarecimiento en el coste de múltiples infraestructuras y productos ocasionada por la actual guerra de Ucrania ha imposibilitado, en múltiples ocasiones, las tareas para conseguir ciertos componentes electrónicos esenciales o pago de materiales, resultado virtualmente imposible de llevar a cabo con el tiempo y el presupuesto disponibles la fabricación real de este proyecto.

Tomando esto como precedente, se tomará a lo largo del proyecto un rumbo ligeramente distinto para mostrar físicamente el trabajo realizado sobre el documento, la fabricación de una maqueta ilustrativa impresa en 3D.

Ahora, como ya se ha enunciado en el apartado anterior, la idea para el desarrollo de este proyecto es plantear un diseño que integre un sistema térmico, una de las cuatro variables citadas, en una máquina con las características pertinentes de los sectores comentados. Sin embargo, no es un trabajo con el objetivo de diseñar una nueva máquina original, a nivel estructural, electrónico o informático, no tiene ambición alguna en ese sentido. Lo que se pretende es basarse en las máquinas ya disponibles para diseñar un sistema similar que permita incorporar este conjunto térmico dentro de sí y, de alguna manera, demostrar que es completamente factible.

Para ello, se abarcará toda la inmensidad de la potencial máquina, centrando el trabajo en lo que se consideran las áreas más relevantes para la inclusión de este sistema, el diseño electrónico, con un planteamiento, preparación y estudio para el diseño de esquemas electrónicos y placas de circuito impreso que permita a la máquina ejercer las funciones para las que estará diseñada; y el diseño mecánico de la máquina, con un planteamiento, preparación y orientación para el diseño de un sistema mecánico que dé soporte al sistema electrónico y permita a la máquina operar con un diseño elegante y funcional.

Sin embargo, también se realizará una aproximación al diseño del software, planteamiento y análisis de la situación hasta un punto muy próximo al diseño del mismo código, que deberá reunir las áreas mecánica y electrónica, permitiendo una óptima interacción operario-máquina.

De igual modo, para poder preparar toda la realización de este trabajo y permitir que cualquier lector sea capaz de entenderlo posteriormente, se pretende dar un contexto lo suficientemente amplio de la materia como para comprender qué es la impresión 3D mediante resina, cómo funciona internamente, cómo funciona a nivel de usuario, por qué es necesario el postprocesado y qué fases tiene y dar un poco más de contexto a la innovación propuesta para este trabajo.

3.3. ETAPAS DE DESARROLLO

El planteamiento de este trabajo abarca “toda la inmensidad” de la máquina planteada, por lo que se abarcarán las diferentes áreas de conocimiento operativas estudiadas a lo largo del grado de Ingeniería Mecatrónica.

- **Área Mecánica:** Necesaria para completar el diseño estético - estructural del aparato, que deberá ser elegante y funcional, tanto a nivel interno (la propia máquina) como externo (la relación operario - máquina).
- **Área Electrónica:** Necesaria para desarrollar el entorno electrónico en el que se basará el funcionamiento del aparato y que le permitirá ejercer las funciones para las cuales estará diseñado.
- **Área Software:** Necesaria para enlazar las áreas Mecánica y Electrónica, de modo que puedan trabajar como un único organismo. También permitirá una óptima interacción operario - máquina, pudiendo este primero acceder a todas las funcionalidades del aparato de la forma más simple e intuitiva posible.

De este modo, para el correcto planteamiento, diseño y puesta en marcha de las áreas recién comentadas, será necesario un planteamiento previo de las fases de desarrollo del producto, que deberán comprender todas las áreas de conocimiento para poder ponerlas en marcha sin el lastre de carecer de la información e investigación necesarias para ello. Por ende, se plantean las siguientes fases.

- **Fase 0:** Preparación de Propuesta y Planteamiento Inicial.
- **Fase 1:** Búsqueda de Antecedentes.
- **Fase 2:** Planteamiento Primigenio del Conjunto de Componentes.
- **Fase 3:** Planteamiento Funcional del Conjunto de Componentes.
- **Fase 4:** Diseño de la Electrónica del Sistema.
- **Fase 5:** Planteamiento del Layout.
- **Fase 6:** Diseño de la Mecánica del Sistema.
- **Fase 7:** Diseño del Software del Sistema.
- **Fase 8:** Elaboración de la Maqueta.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROYECTO

Con el objetivo de preparar al lector para el desarrollo del trabajo propuesto, se expondrán en este gran apartado los diferentes fundamentos teóricos que deberá conocer.

Estos conocimientos básicos quedan organizados en cuatro grandes subapartados:

- Fotopolimerización.
- Resinas Fotosensibles.
- Proceso de Impresión con Resina.
- Proceso de Postprocesado con Resina.

4.1. FOTOPOLIMERIZACIÓN

Sirviendo como base para múltiples proyectos, la fotopolimerización se ha abierto un hueco en incontables ámbitos de la vida. Desde su gran descubrimiento en la década de 1960 y tras su impulso en la década de 1980, la técnica ha ido evolucionando a la par que se abrían nuevas vías de desarrollo para las múltiples aplicaciones que puede brindar.

Aún todavía un poco oculta a nuestra vista, se podrá encontrar este proceso tras múltiples objetos que se hallan en nuestro entorno cotidiano. Como bien introduce el libro "Additive Manufacturing Technologies" en su edición de 2015 [1], *"muchos de los recubrimientos brillantes en papel y cartón, por ejemplo, son fotopolímeros. Además, las resinas fotosensibles también son usadas en odontología para el sellado superficial y profundo de los dientes en materia de prevención"* [2, p. 63]. La fotopolimerización también ha entrado en sectores como el diseño de joyas, el modelismo y la arquitectura, además de otros, por su gran calidad, exactitud y precisión a la hora de construir sus prototipos.

4.1.1. Como Idea

La idea tras la fotopolimerización ha ido variando con los años al evolucionar al igual que la tecnología con la que se empleaba. El desarrollo de sistemas de control más sofisticados, precisos y seguros han permitido una utilización más discreta de esta técnica tan innovadora.

En sus orígenes, la idea base sobre cómo utilizar la fotopolimerización se despegaba poco de su principio químico de funcionamiento. Los primeros productos que se comercializaron utilizando esta técnica estuvieron relacionados, como ya se ha comentado, con los recubrimientos de múltiples superficies y como elemento fotoresistivo en electrónica, al igual que los usos médicos subsecuentes [2, p. 63]. Hasta este momento, se encuentra una relación directa entre método de funcionamiento y caso de uso.

Sin embargo, años más tarde, todo cambió cuando el descubrimiento de la estereolitografía dio a entender nuevos y sorprendentes usos para este proceso, nuevas ideas que permitirían un empleo más inteligente de estos materiales.

Con la posibilidad de poder controlar qué áreas del material fotosensible se solidificaban con precisión ya era plausible incluir esta nueva modalidad de trabajo como una técnica aditiva más, ya que, al solidificar varias capas, una encima de otra, consecutivamente se lograría crear objetos tridimensionales con geometrías y características específicas.

Como es natural, esto marcó un punto de inflexión en el uso de estos materiales, derivando en múltiples nuevas ideas que incluirían combinaciones en el uso de decenas de nuevos polímeros fotosensibles y radiaciones electromagnéticas, ionizantes y no ionizantes, para dar lugar a múltiples productos.

- Prototipado rápido de piezas industriales.
- Fabricación de piezas finales para máquinas, iluminación, vehículos, prótesis, etc.
- Fabricación de conjuntos funcionales como moldes maestros, conjuntos mecánicos, etc.
- Fabricación mejorada de maquetería, miniaturas, ornamentación, joyería, reproducciones, arquitectura, etc.

4.1.2. Como Proceso Químico

El concepto químico de la fotopolimerización no se ha visto apenas modificado desde sus inicios, ya que si bien es cierto que se han desarrollado diferentes fórmulas que lograban sacar el mayor partido de esta técnica mediante la utilización de diferentes materiales, aditivos o radiaciones, el hecho de "solidificar un volumen de resina" ha permanecido invariante en el tiempo.

No obstante, el modo en el que se ha desarrollado ese concepto sí ha quedado sujeto a modificaciones y perfeccionamientos. En este apartado se hablará de cómo se lleva a cabo la reacción química conocida como fotopolimerización, no de los componentes de las resinas fotosensibles, siendo este proceso explicado de forma más detallada en el apartado 4.2.2 de este mismo documento.

A grandes rasgos, una resina fotosensible consta de cuatro componentes fundamentales.

- Moléculas fotoiniciadoras.
- Monómeros.
- Oligómeros.
- Múltiples aditivos.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

Los "monómeros" forman la primera mitad de la materia prima principal de estas resinas, llegando a constituir hasta el 40% de ellas [3, p. 3], [4, p. 3]. Estos elementos, llegado el momento, se unirán formando cadenas poliméricas que darán forma a la pieza final.

Los "oligómeros" son la segunda mitad fundamental que conforma la materia prima, su concentración en las resinas puede llegar a oscilar entre el 40 y el 50%, llenan los espacios vacíos, permiten aumentar la consistencia de la mezcla y le dan ciertas propiedades. Estos compuestos generalmente están conformados por una mezcla de elementos acrílicos y epóxicos, y raramente se llegará a verlos completamente separados [1, p. 68].

Los "aditivos" confieren a la resina propiedades adicionales a las que ya tiene, incluso llegando a modificar algunas de ellas; entre estos compuestos se encuentra colorantes, diluyentes reactivos, flexibilizadores y estabilizadores, entre otros [1, Cap. 4.2.2].

Y, por último, se tiene los "fotoiniciadores", unas moléculas que transforman la energía recibida de la radiación clave en energía química, llegando a provocar una reacción polimérica en cadena [1, Cap. 4.2.3.1].

A la hora de estudiar cuáles son las reacciones de fotopolimerización que se dan en las resinas comerciales se encuentra dos tipos [1, Cap. 4.2.2]:

- Fotopolimerización de Radical Libre.
- Fotopolimerización Catiónica.

La primera que comenzó a investigarse y desarrollarse fue la fotopolimerización de radical libre, una tecnología que se aplica a las resinas de naturaleza acrílica. Más tarde, con nuevos avances científicos, se comenzó a desarrollar y plantear comercialmente la fotopolimerización catiónica. El motivo de esta desigualdad en el desarrollo tuvo que ver con la falta de estudio de la naturaleza en los fotoiniciadores utilizados para iniciar la reacción de polimerización catiónica, causada por la falta de tecnología necesaria.

Las dos técnicas comparten, sin embargo, muchos puntos comunes en su funcionamiento. En ambos casos se comienza disponiendo de la mezcla de los cuatro elementos fundamentales arriba citados, cuando la luz UV impacta contra la mezcla los fotoiniciadores reaccionan separándose y liberando radicales libres, al mismo tiempo los monómeros se activan dejando libres zonas de enlace en sus configuraciones moleculares. Estos radicales libres vagan por la mezcla hasta que se encuentran con una de estas zonas, generando un fuerte enlace covalente y "desplazando" el radical al otro extremo del monómero.

El radical puede seguir tomando contacto con otros monómeros generando una cadena de monómeros o, por definición, un polímero; esta reacción en cadena se denomina "propagación". De esta forma, se sabe que un único radical puede llegar a enlazar una cantidad aproximada de 1000 monómeros [1, p. 68], pudiendo ser detenido por uno de los tres efectos que causa el fin de esta reacción; el efecto de recombinación, el de desproporción y el de oclusión [1].

Se obtiene el efecto de recombinación cuando dos radicales que ya han generado una cadena de monómeros se encuentran, combinándose y anulándose entre sí. Por otro lado, cuando dos radicales que todavía no han generado una cadena se encuentran y se anulan obse tiene el efecto de desproporción. El fenómeno de oclusión es generado por circunstancias diferentes, en este caso los radicales no se llegan a anular, sino que se quedan activos dentro de una sección solidificada del polímero. A todos los efectos este radical queda invalidado debido a su imposibilidad para desplazarse y generar cadenas poliméricas; en estas circunstancias únicamente podrá reaccionar con moléculas de oxígeno u otras partículas reactivas que también hayan quedado atrapadas.

Las diferencias existentes entre ambas técnicas de fotopolimerización, además de las ya notables entre las resinas de base acrílica, residen en la naturaleza del fotoiniciador y los mecanismos de propagación que se utilizan para generar la cadena polimérica.

Tras todo este proceso, se llega a obtener una figura sólida construida con la resina que previamente veíamos en estado líquido. Sin embargo, el proceso de fotopolimerización no se completa al 100% durante el primer periodo de curado, pues independientemente de qué base tenga la resina será necesario realizar un segundo curado para provocar un endurecimiento mayor del material. Este curado también puede potenciarse mediante la utilización de una fuente de calor, que aumentará mucho más las propiedades finales de la pieza.

4.2. RESINAS FOTOSENSIBLES

4.2.1. *Qué son estos Compuestos*

Las resinas fotosensibles, o fotopolímeros, son compuestos que fueron ideados en torno a la década de 1960 [2, Cap. 4.2.1]. En esencia, podrían definirse como sustancias químicas que al ser expuestas a una radiación en concreto inician un proceso propio de polimerización que permite una transición de estado, de fluido a sólido.

Este efecto da lugar, mediante un proceso denominado fotopolimerización a un mecanismo químico en el que intervienen los fotoiniciadores, unas moléculas que transforman la energía proporcionada por la radiación en energía química.

La fórmula química de estos fotopolímeros ha ido variando con el tiempo. Generalmente, estas variaciones han provocado que los efectos negativos de las resinas contemporáneas se eliminasen, dando paso a nuevas generaciones de materiales con mayor estabilidad y menos problemas. En otras ocasiones, estos cambios han permitido obtener resinas con características mucho más especiales; de esta forma se tiene fotopolímeros flexibles, resistentes a las altas temperaturas, aptos para aplicaciones médicas o incluso llegando a incluir otros materiales, como los cerámicos.

Dicho esto, el principal cambio que sufrieron los fotopolímeros en sus primeros pasos tuvo que ver con uno de los componentes principales que construyen estos compuestos.

Se podría denominar una de las dos grandes mitades de la mezcla, aunque la verdad sea que haya bastantes más compuestos. Todos los fotopolímeros están constituidos por una base en concreto, una sustancia que confiere al conjunto gran parte de sus propiedades en el transcurso de la fotopolimerización. Las primeras patentes relacionadas con la fabricación aditiva mediante estereolitografía ya exigían ciertos requisitos en estas sustancias y para ello proponían ciertos modelos de resinas acrílicas [5, Col. 7] [6, Col. 2]. Sin embargo, el empleo de estas resinas conllevaba asumir problemas durante el proceso de fabricación.

A pesar de que el uso de los materiales acrílicos como base para estas resinas potenciase el ratio de velocidad de curación, lo hacía a tenor de una menor respuesta en el proceso de polimerización [1, Cap. 4.2.1]. Además, otros efectos indeseados como la inhibición con el oxígeno o una alta contracción del material provocaban que el porcentaje de piezas fallidas mediante el uso de esta técnica fuese mayor, además de evidenciar la dificultad de su uso.

Con la evolución de la tecnología en torno a la microelectrónica, se pudo avanzar en materia de investigación para el desarrollo de nuevos materiales susceptibles de sustituir las bases acrílicas. Las bases epóxicas parecían prometer solucionar los problemas de contracciones y reacciones inintencionadas, además de aportar nuevas y mejores propiedades mecánicas a las piezas finales. Todo esto, sin embargo, se producía con el defecto de unos tiempos de curado mucho más lentos [1, Cap. 4.2.1].

Por tanto, en la práctica ninguna de las dos bases era aceptable para conseguir piezas de calidad. Por separado, estos materiales inducían problemas en alguno de los puntos del proceso de fabricación, así que se comenzaron a comercializar fotopolímeros que combinaban ambas bases. Los fallos que antes tenía una resina, ahora los compensaba la otra, con lo que variando las proporciones de estas bases y ajustando otras con el resto de los aditivos que son añadidos, se logró llegar a utilizar materiales mucho más estables.

Por supuesto, también se han planteado resinas fotopoliméricas utilizando otras bases, como por ejemplo las vinílicas. Estas, llegan a incluso mezclarse con la combinación anteriormente mencionada para potenciar los mecanismos de propagación en los procesos de fotopolimerización [1, Cap. 4.2.2].

4.2.2. Componentes Activos

Cuando se habla de resinas fotosensibles, fotopolímeros, en realidad se está refiriendo a un gran conjunto de compuestos químicos que generan enlaces entre sí y se complementan, llegando a parecer una mezcla homogénea con una única misión. Sin embargo, cada uno de esos productos tiene una función concreta y precisa dentro del complejo mecanismo que son estos materiales.

A grandes rasgos, se podrá llegar a clasificar estos materiales en cuatro grandes grupos:

- Oligómeros.
- Monómeros.
- Fotoiniciadores.
- Otros aditivos.

En el apartado 4.1.2 de este mismo documento se ha descrito los papeles que juegan los oligómeros y los monómeros, combinándose para dar a lugar un único producto. En realidad, la similitud de estos dos grupos de compuestos es mucho mayor, apenas diferenciándose por las motivaciones de su uso en este tipo de materiales y los propios nombres de los compuestos químicos.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

No obstante, aunque su diferencia sea sutil sigue siendo real y se podrá discernir entre ambos componentes por lo que se espera de ellos. En el caso de los oligómeros [7, Cap. 4] se encuentra con compuestos relacionados con las familias epoxi, uretanos, poliésteres y éteres, además de la acrílica. Estos elementos son los responsables de proporcionar las propiedades básicas relacionadas con la flexibilidad, la cohesión o la reactividad química en la pieza ya solidificada. En general, los oligómeros proporcionan las propiedades mecánicas más identificables a la hora de proponer una resina para construir una pieza. Algunos ejemplos propuestos por la página de Wikipedia que versa sobre los fotopolímeros [7] para los oligómeros son:

- Acrilatos epóxicos, para los revestimientos sobre metales que requieran dureza y brillo.
- Acrilatos uretanos, para los revestimientos que precisen de una resistencia a la abrasión, sean duraderos y flexibles.
- Acrilatos poliéteres y poliésteres, para los revestimientos que requieran de propiedades solubles.

En cualquier caso, como ya se ha comentado, los oligómeros no son más que una de las dos grandes mitades que forman la resina fotosensible. Los monómeros [7, Cap. 4], por otro lado, se encargan de controlar las propiedades que tendrá la resina en los momentos en los que esta esté en estado líquido, así como también de caracterizar los mecanismos de propagación durante el proceso de fotopolimerización. Aquellas familias de compuestos que más fácilmente se encuentra desarrollando este papel estarán relacionadas con los estirenos, los vinilos y los acrilatos [7, p. 4].

Estas propiedades transitorias tan relevantes durante el proceso de fotopolimerización son, por ejemplo, la velocidad de la propagación, la densidad de los enlaces entre las moléculas o la viscosidad de la resina. Al igual que en los oligómeros, cada sustancia empleada dentro del compuesto general que forman los monómeros tiene una aplicación concreta, el artículo de Wikipedia [7] nos lo ilustra de la siguiente forma:

- Los estirenos, además de resultar en un decremento del coste del material, resultan ser un catalizador para el efecto de propagación, quedando en un proceso más rápido.
- Los vinilos permiten obtener materiales altamente flexibles, una vez se encuentran curados, además de aportar una baja toxicidad al producto final.

- Los acrilatos, por su parte, permiten que la reacción de propagación sea mucho más reactiva en detrimento, como ya se ha presentado, de ciertos efectos negativos en la contracción de las capas solidificadas.

La proporción en peso que tienen los oligómeros y los monómeros es muy elevada, llegando al 15 – 50% en el caso de los monómeros y el 25 – 75% en el caso de los oligómeros, según la lista de informes de seguridad de materiales (MSDS) consultados para este proyecto [3], [4], [8]–[15]. En el tanto por cierto restante se encuentra el resto de elementos que hacen posible la reacción, un proceso que es completamente exotérmico con cotas de hasta 85 kJ/mol [1, p. 68], pero que a pesar de tan alta reactividad necesita de un catalizador que inicie el proceso de polimerización.

Este catalizador es el compuesto fotoiniciador. Estas moléculas son las encargadas de iniciar el proceso de polimerización mediante la transformación de la energía proporcionada por la radiación clave en energía química, por medio de la liberación de radicales que serán los que finalmente enlacen las largas cadenas de monómeros. Generalmente, para el tipo de fotopolímero de radical libre se encuentra dos tipos de fotoiniciadores [7, Cap. 3]; un sistema de dos compuestos donde el radical se genera por medio de la abstracción de un átomo de hidrógeno a la pareja y un sistema de un único compuesto donde se generan dos elementos radicales mediante un proceso de fisión.

Para este primero, el artículo de Wikipedia relacionado con los materiales fotopoliméricos [7] nos cita la benzofenona, la xantona, y la quinona. Mientras que para el segundo tipo se ilustra con el benzodimetilacetato, las acetofenonas y las acetilfosfinas.

Dependiendo de en qué MSDS se consulte, la concentración de fotoiniciadores variará en torno a un 0.9 – 5% [3], [4], [8], [10], [11], [13]. Esta variación se provoca con motivo de dar diferentes efectos en los procesos de propagación durante el proceso de polimerización [1, Cap. 4.3], así como para ajustar las concentraciones de compuestos con respecto a la cantidad de oligómeros y monómeros para evitar los efectos de desproporción, recombinación y oclusión.

Llegados a este punto, queda el último grupo de compuestos añadidos en los fotopolímeros, los aditivos. Estos elementos generalmente suelen estar representados por sustancias químicas que influyen en el comportamiento de los monómeros y los oligómeros, pretendiendo adaptar su comportamiento a uno más favorable.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

Las propiedades que suelen ajustar suelen estar relacionadas con su comportamiento durante el estado líquido, por lo que se encuentran diluyentes reactivos, flexibilizadores y estabilizadores. En el caso de los primeros su propósito es realmente importante, ya que se encargan de ajustar la densidad de la resina a un punto óptimo para que las reacciones de propagación se puedan dar en un nivel adecuado.

Por otro lado, también se encuentra aditivos que son añadidos para reducir el olor característico de los compuestos acrílicos, haciéndolos más soportables y menos tóxicos durante su empleo. Y, del mismo modo, también suelen añadirse aditivos que modifican el color y textura resultantes de la pieza final; de este modo se emplea el "negro de carbón" en el MSDS de la resina lavable en agua de Elegoo [4, Sec. 3], que ocupa un porcentaje en el peso de la sustancia de hasta un 5%.

Tras todo lo comentado, hay otros aditivos que son añadidos a la mezcla para disimular los problemas que ocasiona el mezclar todos estos componentes, así como conferir propiedades más interesantes en las piezas ya impresas.

4.2.3. Salud y Seguridad

Las recomendaciones que se siguen suelen estar reflejadas en los MSDS que los fabricantes proporcionan, aunque otros suelen publicarlos en sus blogs o páginas web.

De este modo, se suelen proporcionar recomendaciones generales, como usar guantes, llevar mascarilla o emplear gafas de seguridad; pero para saber qué elementos de seguridad deberá tener la máquina de curado es necesario indagar un poco más.



Ilustración 2 - Equipo de Protección Individual Básico

Hay varios posibles peligros identificados durante el proceso de impresión en resina que conviene conocer si se va a emplear esta forma de trabajo. Se podrá categorizarlos de la siguiente forma:

- Peligros relacionados con la radiación UV-A.
- Peligros relacionados con los fotopolímeros.
- Peligros relacionados con otros productos químicos.

Refiriendo en primer lugar a la radiación ultravioleta, se ha de saber que esta radiación pertenece, en su mayor parte, al grupo de las radiaciones "no ionizantes", como las microondas, la luz visible o las ondas de telefonía móvil. No obstante, eso no quita el hecho de que una prolongada exposición a esta radiación sea peligrosa.

La radiación ultravioleta [16] está comprendida entre los 100 nm y los 400 nm, aunque generalmente se suelen segregar tres tipos de radiación UV; de onda larga (400 – 315 nm), de onda media (315 – 280 nm) y de onda corta (280 – 100 nm). Siendo la menos dañina la de onda larga, tipo que se utiliza en la impresión de escritorio, la radiación ultravioleta se va tornando potencialmente más peligrosa conforme bajamos en la escala de medida, llegando hasta el ultravioleta de onda corta (tipo C) o el ultravioleta extremo, que bajo algunos preceptos se llega a considerar una radiación completamente ionizante.

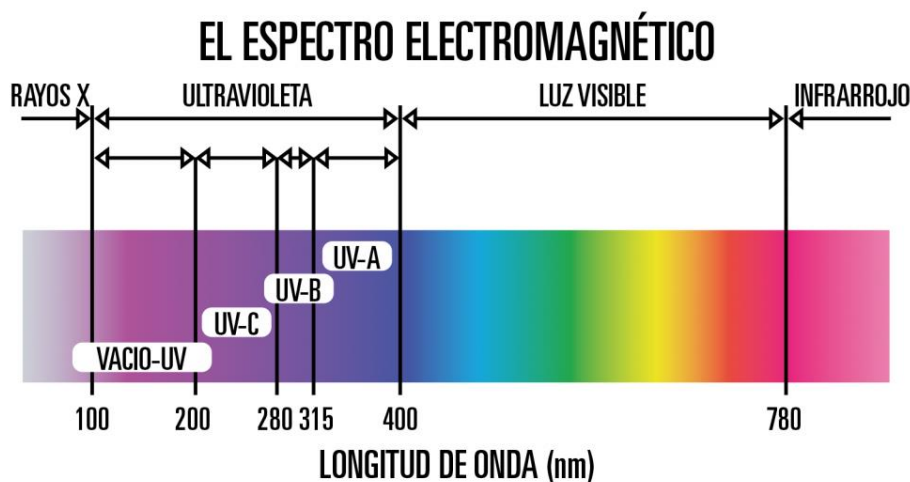


Ilustración 3 - Espectro UV (www.weuvcare.com)

Sin embargo, aunque el ultravioleta de onda larga (UV-A) parezca inocuo, sigue suponiendo un problema ante una prolongada exposición [16, Cap. 8.1]. Hoy día, somos conscientes de que puede provocar múltiples afecciones epidérmicas, como irritación, pérdidas de la elasticidad o melanomas.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

En todas las impresoras de resina y máquinas para el postprocesado se encuentra un mecanismo básico para proteger a los usuarios frente a este tipo de radiación, una campana transparente protectora. El usuario *Bill Otto* en el foro *Quora* [17], muestra explícitamente qué materiales poliméricos son los más aptos para bloquear la radiación ultravioleta; se llega a la conclusión de que algunos de ellos son el poliestireno, el policarbonato o el acrílico ultravioleta, siendo este último el más indicado para este tipo de aplicaciones.

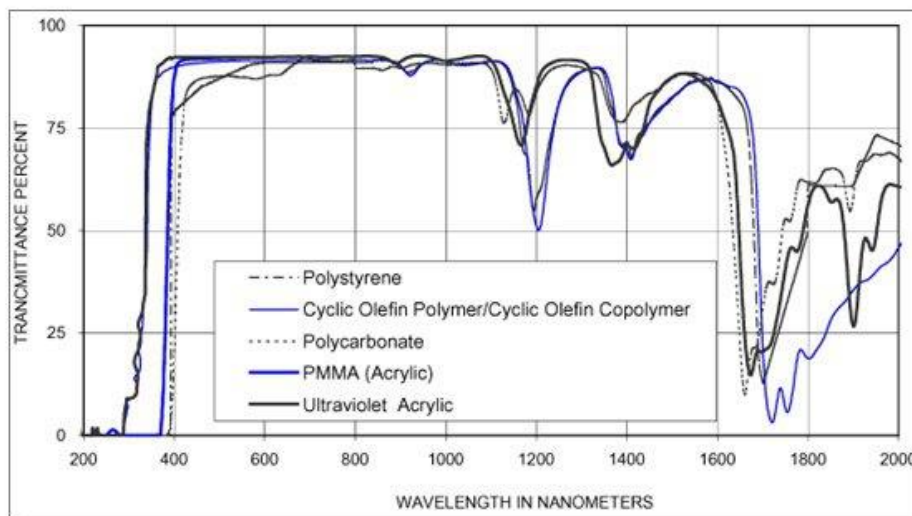


Ilustración 4 - Comparativa de Polímeros Bloqueadores de Radiación UV-A [17]

Por otro lado, se tiene los riesgos asociados con el uso de los fotopolímeros. Formlabs pone a disposición foros [18] y blogs oficiales [19] donde hay información, coloquios virtuales y consejos sobre las precauciones que hay que tomar.

Según fuentes oficiales de Formlabs [19, Cap. Safety and handling] no hay pruebas significativas de que la inhalación o ingestión de sus resinas estándar pueda producir daños potenciales en la salud. No obstante, en el mismo artículo recomiendan el uso de guantes de nitrilo o neopreno, evitando los de látex, para no tocar en ningún momento las resinas directamente.

Se dividen los riesgos según las propiedades de su exposición:

- Tipo de la exposición.
- Duración de la exposición.
- Cantidad de la exposición.
- Protección activa durante la exposición.

Con respecto al "tipo de exposición" existen tres posibles formas de contaminación; de tipo oral, de tipo dérmica y de tipo inhalatoria. Para cada una de estas categorías hay diferentes tratamientos, abarcando desde la ingesta de una buena cantidad de agua hasta una lavativa, limpiar la zona contaminada con abundante agua y contactar con un médico, o ventilar correctamente la estancia y utilizar un respirador.

Con la "duración de la exposición", se tienen en cuenta grandes periodos de tiempo, haciendo hincapié en los posibles daños producidos ante una contaminación dérmica o inhalatoria. En caso de la primera, algunos experimentos muestran que una larga exposición a este tipo de materiales puede producir daños en la salud. Ante una prolongada inhalación de estas sustancias, se ha comprobado que puede generar una cierta irritación en los pulmones, seguido de síntomas relativos a la fatiga, malestar y dolor general. También es posible producir una sobresensibilidad respiratoria, provocando que el individuo sea más susceptible a sufrir alergias o malestar ante ciertos tipos de sustancias.

Por "cantidad de la exposición", se podrá diferenciar entre una exposición normal, generalmente dada durante la limpieza o la manipulación de estos elementos, y una exposición elevada, que se ocasionará cuando el contenedor de la resina se rompa y esta quede liberada imprevisiblemente.

Sin embargo, cuenta con múltiples medios para reducir los riesgos al trabajar con estos elementos. La primera línea de defensa es un buen equipo de protección individual (EPI) compuesto por ropa de trabajo, guantes gruesos y una máscara con unos filtros adecuados. Estos filtros, generalmente, serán los empleados para filtrar gases con compuestos orgánicos volátiles.

Por otro lado, se podrá adaptar nuestro entorno de trabajo utilizando una ventilación activa efectiva o trabajando en el exterior, reduciendo al mínimo cualquier efecto dañino provocado por estos materiales.

Finalmente, también presentar un riesgo al usuario el resto de los elementos químicos con los que se trabaja, al margen de las resinas fotosensibles. Generalmente, se podría resumir estos productos químicos en una breve lista de cinco compuestos, pudiendo ser el más empleado el alcohol etílico o el isopropílico, por sus propiedades disolventes de las resinas fotosensibles.

4.3. PROCESO DE IMPRESIÓN CON RESINA

Siempre que se propone fabricar un componente mediante alguna de las técnicas disponibles de fabricación aditiva, estén destinadas o no a su empleo en entornos domésticos o semiprofesionales, es prioritario estimar cómo será el proceso de impresión; sus diferentes puntos, el material que necesitaremos y las complicaciones que podrían llegar a surgir eventualmente.

Así, ante cualquier eventualidad que surja se estará previsto, aumentando el nivel de seguridad personal y la firmeza. Sin embargo, debido a las diferencias que existen entre las múltiples técnicas de impresión 3D no es posible crear un único modelo a seguir que pueda ser empleado en todas ellas. Es recomendable, por tanto, tener un conocimiento previo de la materia que pueda orientar acerca de cómo abordar de una forma correcta la fabricación, y el postprocesado, del componente deseado.

4.3.1. *Técnicas de Impresión con Resina*

Desde la creación de estas técnicas de fabricación en las que se emplea fotopolímeros en forma de resina se ha producido una división en la forma a través de la cual se podrá llegar a obtener una pieza.

Existen múltiples formas de constituir una impresora FDM con variaciones en su morfología; cartesianas, delta, coreXY, polares, etc. De igual modo, también se ha sido capaces de plantear múltiples tecnologías para trabajar con los fotopolímeros, todas ellas basadas en la solidificación de estos materiales mediante el uso de la estereolitografía, pero con pequeñas variaciones en sus mecanismos. En este apartado se plantean algunas de las técnicas:

- Estereolitografía Invertida (SLA Inverted).
- Impresión Digital Enmascarada (MSLA).
- Impresión Digital (DLP).
- Estereolitografía de Baja Fuerza (LFS).

4.3.1.1. Estereolitografía Invertida (SLA Inverted)

Comenzando por una de las tecnologías más clásicas, la tecnología de la estereolitografía invertida es también la heredera directa de la estereolitografía convencional. Esta técnica, patentada por Charles Hull en 1990 [5], planteaba un recipiente lo suficientemente grande como para albergar las piezas que se desearan imprimir, dentro de este valde una plataforma con movilidad exclusivamente vertical sería la encargada de soportar la pieza a lo largo de todo el proceso.

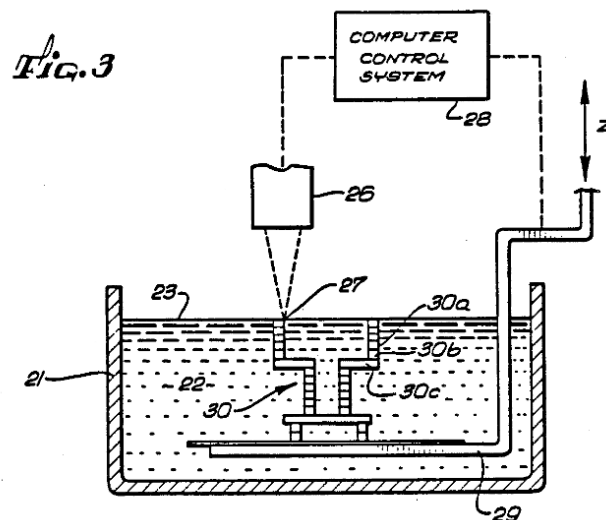


Ilustración 5 - Dibujo Conceptual de Estereolitografía por Charles Hull [5]

Como se puede observar directamente del puño de Charles Hull, su mecanismo proyectaba un haz luminoso sobre la superficie de la resina llegando a solidificarla, mientras que la parte ya solidificada se hundía. De todo esto se podrá llegar a extraer unas ciertas conclusiones que evidencian el por qué se ha decidido evolucionar a otras tecnologías.

Cuando se fija la atención en el diseño de Hull llama la atención el hecho de que la pieza se sumerja en el fluido, al contrario que en las máquinas actuales donde se aleja de este. Esta característica presenta una gran desventaja, ya que implica una potente limitación en las características dimensionales de las piezas impresas. Además, disponer de un recipiente tan grande implica un gasto igual de grande de material, así como un mantenimiento de la máquina mucho mayor.

Por todos estos defectos, eventualmente se transita a un modelo mucho más eficiente en términos de consumo, mantenimiento y eficiencia. La tecnología de estereolitografía invertida, o SLA Invertida, da un giro de 180° al concepto de impresión situando la cabeza láser en la parte inferior, un recipiente intermedio contenedor de la resina y una plataforma ascendente donde se adherirá la pieza.



Ilustración 6 - Form 2 de Formlabs (SLA Inverted)

Con esta nueva tecnología, donde además se facilita la implementación de fuentes láser más precisas, se apuesta por un menor consumo del fotopolímero y un mantenimiento más bajo, acercando su aplicación a entornos menos favorecidos económicamente.

4.3.1.2. Impresión Digital (MSLA/DLP)

Llega el momento de hablar de las técnicas de trabajo digitales. Y es que realmente la estereolitografía clásica e invertida, ya comentadas, utilizan un mecanismo físico para redirigir el haz de luz láser sobre la superficie de resina que se desea solidificar.

Este mecanismo se basa en la orientación de una gran cantidad de microespejos dispuestos dentro de la máquina. Con el avance de esta técnica de fabricación en entornos no profesionales donde el precio de las máquinas es un factor mucho más relevante que en el industrial, se ha realizado una apuesta en la investigación y el desarrollo de maquinaria que utilice de partida sistemas tecnológicamente más accesibles al usuario doméstico. De esta forma, se podrá hablar de los sistemas de procesamiento de luz digital (DLP) y de los sistemas de estereolitografía enmascarada (MSLA) que, aun con nombres diferentes, tienen un funcionamiento muy similar.

En esencia, ambos sistemas parten con el convencionalismo típico hasta el momento de utilizar una fuente láser como emisor de la radiación clave que activa el proceso de propagación químico, empleando en su lugar una fuente luminosa basada en la iluminación LED. Para el sistema DLP el emisor láser es sustituido por una pantalla LCD cuya iluminación encaja dentro del espectro de la radiación clave, por lo que cada sección de la pieza a fabricar se obtendrá mediante la iluminación de esta a través de dicha pantalla.

La tecnología MSLA utiliza este mismo principio de funcionamiento, aunque el foco luminoso pasa de estar en la propia pantalla a ser un proyector LED que se encuentra detrás de esta, dejando a la pantalla con la única función de filtrar la luz que pasa a través.

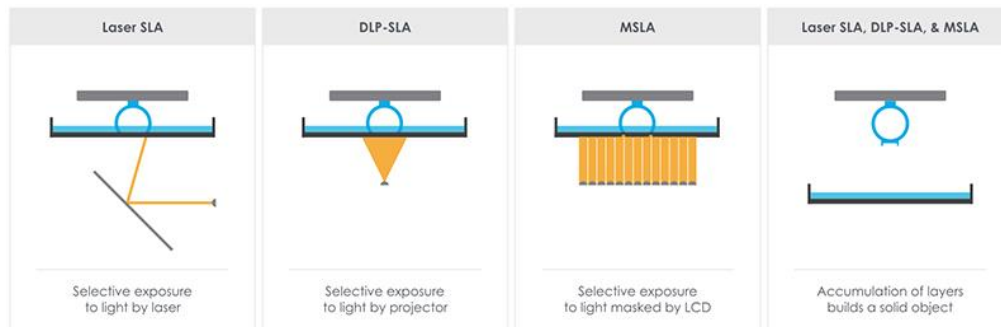


Ilustración 7 - Diferencias Conceptuales entre Técnicas Fotogramétricas (filament2print.com)

Ha habido mucho margen de mejora en lo que respecta a estas tecnologías; la pantalla y la iluminación se han optimizado para que sean lo más efectivas posibles y que la velocidad de curado sea muy elevada.

4.3.1.3. Estereolitografía de Baja Fuerza (LFS)

La última de las técnicas de impresión de las que se hablará, a título informativo, es de la Estereolitografía de Baja Fuerza, o LFS, planteada y llevada a cabo por Formlabs. A priori, ya se ha comentado en varias ocasiones que una de las causas más graves que nos puede arruinar el trabajo que se esté imprimiendo en ese momento es la contracción que sufre el material una vez ha quedado solidificado.

Esta, es una propiedad intrínseca de ciertos componentes que forman las resinas, como los compuestos acrílicos. Cabe destacar que, cada día más, este problema es menor debido a que las composiciones de estas mezclas están más perfeccionadas y mediante el uso de diferentes aditivos se logran reducir estos problemas. No obstante, otro modo de ponerles fin es modificar la forma de trabajo, y la LFS hace precisamente eso.

En esencia, la LFS es una SLA Invertida a la que se le han aplicado ciertas modificaciones. Si comparásemos dos máquinas visualmente, siendo una LFS y la otra SLA Invertida, apenas notaríamos la diferencia. Ambas cuentan con una unidad de procesamiento de láser (LPU), un valde para contener la resina y una plataforma para soportar la pieza impresa. Es precisamente en algunos de estos componentes donde recae la labor de eliminar dichas contracciones.



Ilustración 8 - Form 3 de Formlabs

En realidad, se trata de la colaboración entre los sistemas que participan lo que hace posible que se eviten las contracciones. Por una parte, se modifica la morfología del encapsulado del LPU que añade un par de protuberancias con forma de medio tubo en su parte superior. Este sistema procura que, tras cada capa impresa, esta se despegue correctamente del film transparente del valde para procurar que ninguna tensión superficial o interna pueda ser generada. De igual modo, las propiedades flexibles de dicho film deberán ser minuciosamente estudiadas, así como su dureza, de modo que no se ocasionen imperfecciones en su superficie.

En los momentos previos a cada impresión, se pretensa automáticamente el film mediante un rodillo para conseguir la máxima transparencia y reducir los posibles efectos generados a causa del desgaste que el material y/o el láser hayan podido ocasionar sobre esta superficie.

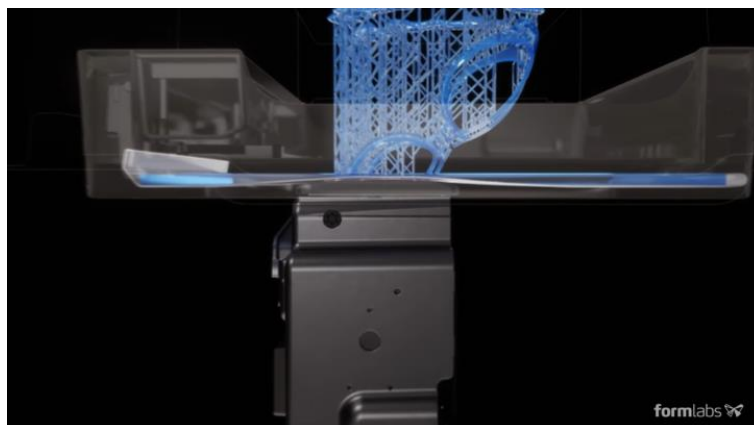


Ilustración 9 - Modo de Funcionamiento del LFS (Formlabs)

4.3.2. Área de Trabajo

Plantearse cómo será el área de trabajo para un conjunto de impresión 3D que haga uso de la resina fotopolimérica en un entorno doméstico o semiprofesional será el próximo problema que plantearse antes de pasar a diseñar la máquina de este proyecto. Está deberá ser muy diferente a la que se podría tener, por ejemplo, en un estudio de impresión 3D que hiciera uso de impresoras 3D FDM.

Se deberá prestar atención en un mayor número de máquinas, lo que obligará a contar con un mayor volumen útil donde colocarlas y, además, un espacio adicional para trabajar con las piezas impresas una vez salgan de ellas. Por otro lado, se deberá tener en cuenta las precauciones necesarias para garantizar la seguridad mientras se trabaja, lo que inevitablemente obligará a trabajar en un área con una ventilación forzada eficaz o, en su defecto, una que se encuentre parcial o totalmente expuesta al aire libre. En la siguiente imagen, se podrá ver una aproximación a lo comentado a nivel doméstico.

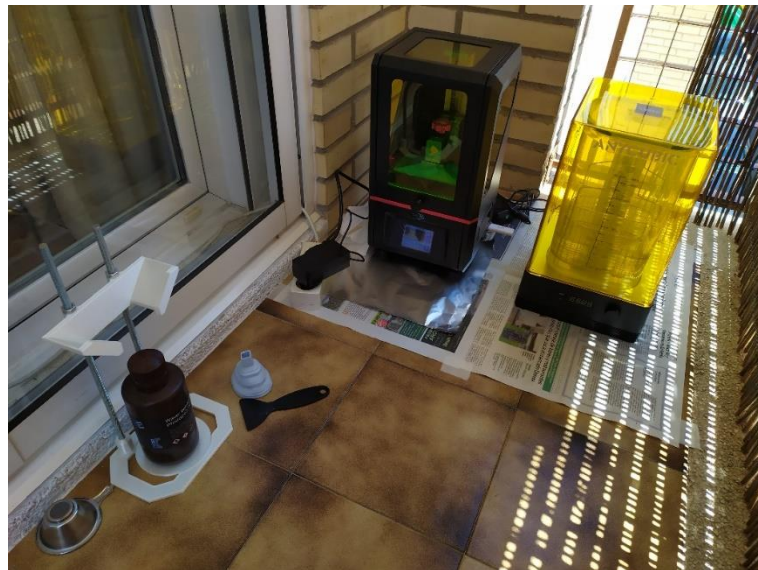


Ilustración 10 - Área de Trabajo Doméstica para Impresión con Resina

Como se podrá ver, se encuentran dispuestos todos los elementos necesarios para desarrollar el trabajo en su práctica totalidad. En el fondo, se avista la impresora, Anycubic Photon, que se encuentra ubicada junto a la máquina de postprocesado, y la Anycubic Wash&Cure, de la se hablará en apartados posteriores. Todo el conjunto se encuentra ubicado sobre una superficie protegida, en primer lugar, por papel de periódico, que evitará que cualquier gota de resina derramada pueda afectar a la baldosa.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

En segundo lugar, un papel de aluminio que se encuentra justo debajo de la abertura de la impresora, creando un espacio seguro donde manipular las piezas impresas sin que estas puedan hacer erosionar el papel protector inferior.

Por otro lado, avistamos en la margen izquierda una estructura fabricada mediante impresión 3D por FDM que ayuda a gestionar el filtrado de la resina empleada, parte importante del proceso de fabricación al completo. Y, de esta forma, dispondremos el resto de los elementos que vayan siendo necesarios a lo largo del proceso de fabricación.

Con esta perspectiva, sabemos que se debe diseñar una máquina que reúna ambas fases del postprocesado en una única infraestructura y que no sea de difícil manejo, ocupando el menor volumen dentro de lo posible.

4.4. PROCESO DE POSTPROCESADO CON RESINA

4.4.1. Importancia del Postprocesado

Dentro de este tipo de técnicas de fabricación con resina, la necesidad de aplicar un postprocesado a la pieza fabricada es absoluta. Se podría indicar que, dentro de la impresión 3D, se denomina postprocesado al conjunto de acciones y técnicas aplicadas tras la fabricación de la pieza con el objetivo de añadir características a esta que no se han podido aplicar durante la producción, bien sea por algún tipo de incapacidad de los equipos o por cualquier otro motivo.

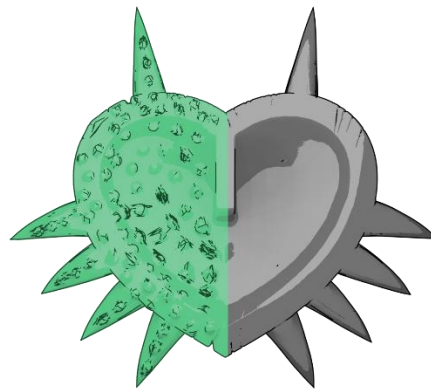


Ilustración 11 - Simulación de Contraste Pieza Con/Sin PostProceso

De este modo, se tiene variantes de postprocesado en cada una de las técnicas que conforman el grupo de la fabricación aditiva y, dentro de ellas, técnicas que se ajustan a los requerimientos que pueden venir derivados de los defectos de la fabricación. Algunos de los procesos más detallistas a los que someteremos las piezas serán:

- Retirado de Soportes.
- Pulido de Soportes.
- Pulido de Superficies.
- Pintado a Detalle.

Sin embargo, el postprocesado necesario para dar las piezas por terminadas en fabricación con resina está formado por varias fases o etapas bien diferenciadas; partiendo de la pieza recién impresa, lo primero por hacer es someterla a un proceso de lavado que retirará la resina sobrante no curada todavía depositada sobre la superficie del componente.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

Tras este lavado, se retiran los soportes de la pieza impresa aprovechando que todavía no ha adquirido sus propiedades mecánicas finales.

En segundo lugar, se introduce la pieza dentro de una cámara de curado que la someterá a una segunda etapa de curado que consolidará sus propiedades mecánicas. Este proceso es tan relevante que, dependiendo de su naturaleza, puede llegar a multiplicar varias veces sus propiedades recién salida de la impresora. [20, p. 9]

La última de las fases de postprocesado comprende cualquier tipo de modificación manual posterior que nos interese aplicar a la pieza en cuestión; bien sea a base de retirar material o imprimir su superficie.

En este caso, el proyecto actual, se centrará en los procesos de lavado y curado de la pieza. Expondrá, con detalle, los diferentes mecanismos que se pueden llevar a cabo para completar estas etapas, procesos y recomendaciones a tener en cuenta que ayudarán a esbozar la máquina que se propone diseñar en este proyecto.

4.4.2. Etapas Clave del Postprocesado

4.4.2.1. Proceso de Lavado

El proceso de lavado, dentro del postprocesado, es la primera de las etapas que se deberá llevar a cabo sobre la pieza que ya se tiene recién impresa. Dentro de lo que inicialmente se podría llegar a parecer, se trata de un proceso de gran relevancia, a nivel estético y funcional, para el componente.

Permitirá retirar cualquier impureza que haya podido quedar depositada sobre la superficie durante su fabricación de modo que el resto de los procesos a los que la pieza sea sometida puedan llevarse a cabo con completa eficacia.

Esta tarea no es algo poco relevante, ya que una incorrecta elección del disolvente o de la mecánica de eliminación de los residuos puede ocasionar graves deficiencias estéticas y estructurales sobre la pieza fabricada.



Ilustración 12 - Pieza con Lavado Incorrecto (Modelo 3D: ArchVillain Games)



Ilustración 13 - Pieza con Lavado Correcto (Modelo 3D: ArchVillain Games)

En el caso de la primera ilustración, el fallo viene ocasionado por la incorrecta elección del disolvente a la hora de realizar el lavado. No todas las resinas hacen uso del mismo producto químico o sustancia para liberarse de la molesta capa de resina en estado líquido que queda dispuesta sobre la superficie de la pieza una vez esta ha terminado de imprimirse.

En este apartado se va a analizar muy brevemente los tipos de disolvente más ampliamente utilizados para este proceso de lavado, destacando sus ventajas y sus deficiencias.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

Naturalmente, conocer qué sustancias químicas se pueden llegar a emplear en estos procesos es fundamental para poder llegar a plantear un material adecuado en el diseño de la máquina que nos ocupa. Por otro lado, se hablará sobre las diferentes mecánicas que se nos dibujan a la hora de plantear el escenario en el que el disolvente y la pieza recién impresa se encontrarán; no todos trabajarán siguiendo los mismos principios y, por ello, tampoco nos arrojarán los mismos resultados.

4.4.2.1.1. Tipos de Disolvente

4.4.2.1.1.1. Alcoholes

En la mayoría de los casos en los que se quiera disolver una resina fotopolimérica en un uso relacionado con la impresión 3D el elemento químico más eficaz será algún tipo de alcohol, Formlabs lo recomienda para sus resinas a través de su página web [21]. Y, en general, sus variaciones más conocidas servirán para el gran conjunto de todos los materiales destinados a la impresión 3D cuya base sea resinosa.

- Alcohol Etílico.
- Alcohol Isopropílico.
- Alcohol Metílico.

No obstante, se encuentra pequeñas variaciones en la solubilidad que presentan las diferentes resinas ante los elementos que se citan, aunque, en general, no comportarán problemas durante el proceso de lavado. Formlabs estudia la compatibilidad [22] de los diferentes disolventes a los que se podrá exponer la pieza recién impresa arrojando algunos resultados muy interesantes.

4.4.2.1.1.2. Agua

Por otro lado, existe la posibilidad de utilizar agua como disolvente, aunque solo en el caso de utilizar una resina que sea verdaderamente compatible con este compuesto. Un claro ejemplo de este material nos lo da el fabricante Elegoo con su resina "Water Washable" [4], que llega a presentar solubilidad ante este compuesto.



Ilustración 14 - Resina "Water Washable" marca Elegoo

Sin embargo, las ventajas de utilizar los alcoholes o el agua quedan a merced del propio usuario. Utilizando los alcoholes siempre se dispondrá de una mayor eficacia en el proceso de lavado; tardará menos tiempo y dará mejores resultados, pero se expone a la peligrosidad que representan los vapores emitidos por esas sustancias ante la combustión y las posibles intoxicaciones.



Ilustración 15 - Avisos de Riesgo en Botella de Alcohol Etílico

Fundamentos Teóricos del Proyecto

Por otro lado, aunque el uso del agua implica tener una menor eficacia en este proceso [22], es completamente segura de emplear ya que no presenta una evaporación tan alta a temperaturas de trabajo habituales. Ahora bien, se deberá asegurar de que la resina que se esté empleando sea soluble en agua, de lo contrario el proceso podría fracasar como ya se ha visto en el caso anterior.

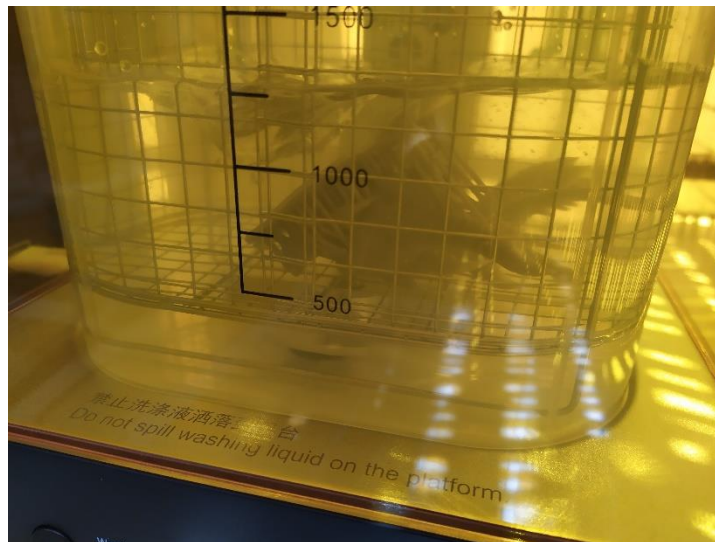


Ilustración 16 - Lavado de Piezas Impresas con Resina Soluble en Agua

4.4.2.1.2. Mecánicas de Eliminación de Residuos

4.4.2.1.2.1. Lavado Manual

El método más accesible y barato que puede existir es el lavado manual de las piezas. Como su nombre indica, consiste en tomar la pieza recién impresa y, bien dentro de un recipiente o sobre una superficie de trabajo, empaparla del disolvente para retirar todas las impurezas que hayan quedado sobre el contorno de la pieza.



Ilustración 17 - Juego de Vasos de Precipitados

4.4.2.1.2.2. Lavado con Agitador

El lavado con agitador magnético es el método más ampliamente utilizado en los equipos distribuidos por las empresas que comercializan esta tecnología, por su simpleza y eficacia. En esencia, se trata de un sistema en dos partes; bajo el chasis de la máquina un motor eléctrico gira su eje teniendo un imán adherido a una determinada distancia del centro de rotación. Por encima de la superficie, un agitador gira solidario a un rodamiento y lleva otro imán ("esclavo") adherido que se sincronizará con la frecuencia de giro del motor de la parte inferior.

De esta forma, se logra trasladar la energía mecánica generada por el motor eléctrico de un punto a otro sin necesidad de un contacto físico, por lo que la estanqueidad del entorno en el que se producirá el lavado de las piezas impresas no se ve comprometida.

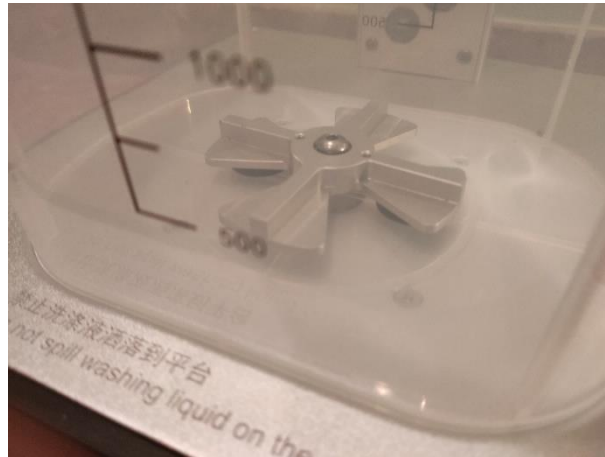


Ilustración 18 - Anycubic Wash & Cure 2.0 (Agitador Magnético)

Una vez terminado el lavado, para asegurar un óptimo mantenimiento de los equipos, basta con desmontar el mecanismo que integra el agitador para secarlo completamente y, tras esto, volver a ensamblarlo.

4.4.2.1.2.3. Lavado con Ultrasonidos

Este mecanismo es el más complejo tecnológicamente de los tres presentados, pero sigue siendo una alternativa viable para llevar a cabo el lavado de las piezas. Su funcionamiento se basa en la emisión de ondas de sonido de una frecuencia elevada, en torno a los 40 kHz, que se propagan a través del fluido, en este caso el disolvente, hasta impactar con la superficie de la pieza impresa.

El movimiento de las partículas en torno al cuerpo termina produciendo una retirada del material sobrante como efecto de su impacto en el residuo. Los equipos cuentan con un recipiente cóncavo donde depositar la pieza y el disolvente, como si de una bañera se tratase.



Ilustración 19 - Ejemplo de Limpiador por Ultrasonidos Comercial (www.todoerografia.com)

4.4.2.2. Proceso de Curado

El proceso de curado secundario será el otro evento que debemos llevar a cabo para que las piezas fabricadas adquieran sus propiedades definitivas. No será hasta el transcurso de esta fase que pose da empezar a considerar el final de la fabricación de los componentes, ya que hasta ahora no contaban con unas propiedades mecánicas mínimas.

Se deberá exponer la pieza ya fabricada ante unos determinados parámetros apropiados para una adecuada transformación del estado de agregación del material de trabajo, y que nos permiten optimizar la obtención de piezas con las mejores propiedades hasta el punto en el que, por la propia naturaleza del material, no puedan ser mayores.

Gracias a la investigación llevada a cabo por Formlabs [20], de la que más adelante se hablará, relacionamos los siguientes parámetros:

- Longitud de Onda.
- Tiempo.
- Flujo de Radiación.
- Transferencia de Calor.

Todos ellos parámetros representativos de magnitudes físicas que se podrá controlar o medir con la tecnología apropiada. Resulta fundamental entender sus principios para aplicarlos en la máquina que se pretende diseñar en este proyecto.

4.4.2.2.1. Variables Relevantes

4.4.2.2.1.1. Longitud de Onda

Según su artículo en la enciclopedia Wikipedia [23], "la longitud de onda es la distancia que recorre una perturbación periódica que se propaga por un medio en un ciclo", es decir, para una onda sinusoidal se está hablando de la distancia entre picos o, en general, de la distancia entre dos puntos iguales de una onda.

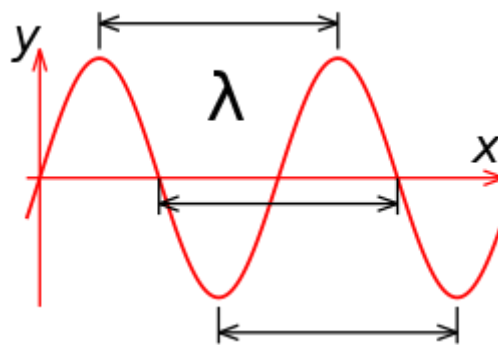


Ilustración 20 - Definición Visual de Longitud de Onda (www.wikipedia.org)

Para este caso, en la propagación de ondas electromagnéticas, la longitud de onda define la cantidad de energía que esa onda transporta; algo que permite caracterizarla dentro de todo el espectro de este tipo de señales (UV, X, Infrarrojos, etc).

Al estar trabajando directamente con materiales que reaccionan ante radiaciones electromagnéticas de una longitud de onda determinada, se deberá examinar con atención este parámetro. Si escogiéramos una iluminación con una longitud de onda demasiado alejada de aquella que es clave el curado sería incompleto [20], por lo que se tendrá que poner especial atención en este punto.

4.4.2.2.1.2. Tiempo

De acuerdo a su artículo en la enciclopedia Wikipedia [24], "el tiempo es una magnitud física con la que se mide la duración o separación de acontecimientos". En este proyecto será vital para la duración de la estancia de la pieza dentro de la máquina durante su curado.

No sería correcto afirmar que una duración mayor de la estancia dentro de la máquina mejorará las propiedades para la pieza, ya que llegado un momento [20, p. 10] la tasa de incremento de estas mejoras comenzará a decaer hasta llegar a un punto límite.

Por encima de él, se podría provocar una rigidización excesiva en la estructura del material que provocase un empeoramiento de las propiedades mecánicas que se desea incrementar.

4.4.2.2.1.3. Flujo de Radiación

Según su entrada en la enciclopedia Wikipedia [25], el flujo de radiación es "*una medida de la cantidad de radiación recibida por un objeto desde una fuente dada. Esto puede ser cualquier tipo de radiación, incluyendo radiación eletromagnética, sonido y las partículas de una fuente radiactiva*". En este caso, la fuente de radiación a la que se está haciendo referencia es el foco de luz UV-A, los diodos LED. Para cuantificar el flujo de radiación luminoso, seguiremos la siguiente expresión.

$$\Phi = \frac{L}{4\pi \cdot r^2}$$

Donde "L" es la luminosidad o potencia de salida total de la fuente, medida en Watios; "r" es la distancia existente entre la superficie expuesta y la fuente de radiación, medida en metros; y, por tanto, "fi" es la medida en W/m² del flujo de radiación. De igual forma que con la duración del proceso, se podría pensar que un mayor flujo de radiación podría potenciar sin límite alguno una mejor y mayor finalización de la pieza impresa. Sin embargo, de nuevo, existe un umbral bajo el cual las propiedades mecánicas del componentes comienzan decaer [20, p. 8], algo que se estudiará el apartado de los ensayos realizados por Formlabs.

4.4.2.2.1.4. Transferencia de Calor

En último lugar, la transferencia de calor, según su apartado en la enciclopedia de Wikipedia [26], la se podrá definir como "*el proceso físico de propagación del calor en distintos medios*". De esta manera, es la termodinámica como subrama de la física la que se encarga de estudiar los fenómenos en los que las transferencias de calor están involucradas.

En nuestro proceso, el calor se emplea como un mecanismo de curado secundario que, no solo acelera el proceso de curado, sino que también potencia las propiedades mecánicas de las piezas fabricadas, lo que se ve manifestado como vulgarmente se denomina a la "temperatura a la que se encuentra la cámara de curado".

De nuevo, esto se verá con mayor detalle en el apartado que trata los ensayos realizados por Formlabs.

4.4.3. Ensayo Realizado por Formlabs

Formlabs ha desarrollado a lo largo de sus años de actividad varios estudios en los que analiza el comportamiento de materiales y técnicas con los que trabajan. Algunos de ellos terminan quedando en manos del dominio público, de modo que se pueda llegar a comprender más completamente cómo funcionan sus tecnologías.

Aquel que es más del interés de este trabajo nos muestra cómo las propiedades mecánicas de las piezas pueden variar según los cuatro parámetros previamente mencionados. Se llega, adicionalmente, a conclusiones acerca de cómo potenciarlo y conseguir unas propiedades mecánicas finales óptimas.

Todo ello se revisa en el próximo punto, donde se llegará a varias conclusiones que resultarán de gran valor para comenzar a diseñar la máquina que se propone.

4.4.3.1. Cómo el Curado UV Afecta a las Propiedades Mecánicas de las Piezas Impresas Mediante Estereolitografía

Este estudio se llevó a cabo para dilucidar las condiciones de curado ideales a las cuales se podían someter las piezas impresas con las resinas "Castable", "Standard" y "Though" del catálogo de Formlabs, así como para desmentir ciertos mitos y creencias relativos a esta fase de trabajo.

Este estudio focaliza sobre las resinas diseñadas, patentadas y producidas por Formlabs. No obstante, si bien es cierto que advierten sobre la diferencia existente entre sus productos y otros, tras un previo análisis de algunos MSDS de Formlabs [9]–[15] y los de otras marcas, como Anycubic [8] y Elegoo [3], [4], en el que es observable una similitud entre las composiciones, se podrá establecer que aunque los parámetros no sean idénticos sí será posible utilizar los mismos mecanismos propuestos para optimizar los resultados con otras resinas distintas a las del catálogo de Formlabs.

Tal y como se indica en el documento, los ensayos que se llevan a cabo para este proyecto tienen como objetivo determinar el efecto que cada parámetro fundamental del proceso de curado tiene sobre las piezas expuestas. Estos parámetros, como ya se sabe, son los siguientes:

- Longitud de Onda.
- Tiempo.
- Flujo de Radiación.
- Transferencia de Calor.

Por otro lado, también se indican las diferentes piezas del equipamiento con las que se realizan los ensayos, sus códigos de modelo y su empleo [20, p. 2]. Citando el texto original, "All of the mechanical data was acquired with a Test Resources Universal Testing Machine (Model 500LB Actuator, Model SM-500-294 Load Cell, Epsilon Technology Corp. Axial Extensometer Model 3542-0100-050-ST). ASTM D638 type IV tensile bars were used as the standard printed part throughout this research. (...) Both Form 1+ and Form 2 printed ASTM D638 type IV tensile bars were used for experimental samples."

Además, como procede realizar en las piezas fabricadas mediante técnicas de fabricación aditiva, se indica orientación de las capas en las probetas impresas. Se podrá ser testigos gracias a la siguiente ilustración que nos deja el documento del ensayo.

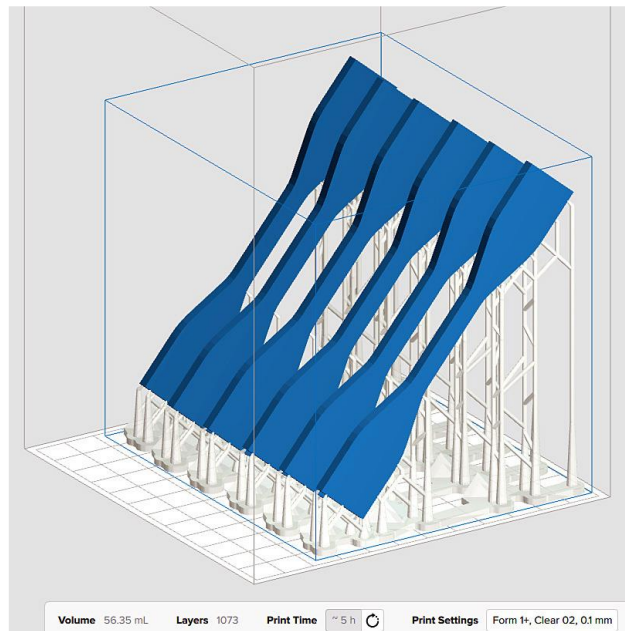


Ilustración 21 - Orientación de las Capas en las Probetas Fabricadas [20, Fig. 1]

Es necesario indicar la orientación de las capas a consecuencia de la ya mencionada naturaleza de fabricación mediante la que las técnicas de fabricación aditiva llegan a completar la construcción de las piezas propuestas, la adición de capas una encima de otras. Si bien es cierto que el parámetro de adhesión entre capas no es de gran relevancia en la estereolitografía, en comparación con la técnica más común (la FDM), no nos interesaría introducir una fuente de posible problemática en las propias piezas a construir, ya que lo que nos interesa es destacar los efectos que tienen los ya mencionados parámetros fundamentales. De esta forma, la inclinación de las probetas con respecto a la plataforma de impresión es de 45°.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

Adicionalmente, se indica que ha sido revisada la interfaz del soporte para con la pieza para evitar que también pueda interferir como un defecto relevante a la hora de realizar las pruebas en la máquina de ensayos universal.

A continuación, se muestran las características de los aparatos que se emplean para realizar los curados de pruebas en función de los parámetros que se deseen aislar. El primero de ellos, de construcción más simple, tiene como propósito el estudio y control de la cantidad de luz a una frecuencia determinada a la que son expuestas las muestras.

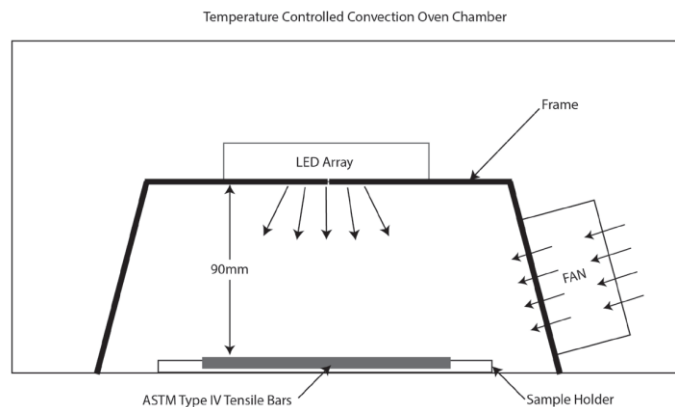


Ilustración 22 - Cámara de Curado Simple Formlabs [20, Fig. 2]

La segunda máquina, de construcción y geometría más compleja, integra equipamiento para el control de la temperatura, control del tiempo, soporte para las probetas, múltiples fuentes de luz y llega a permitir controlar hasta cuatro matrices de LED de 10W, además de un anillo adicional de 3.2W.

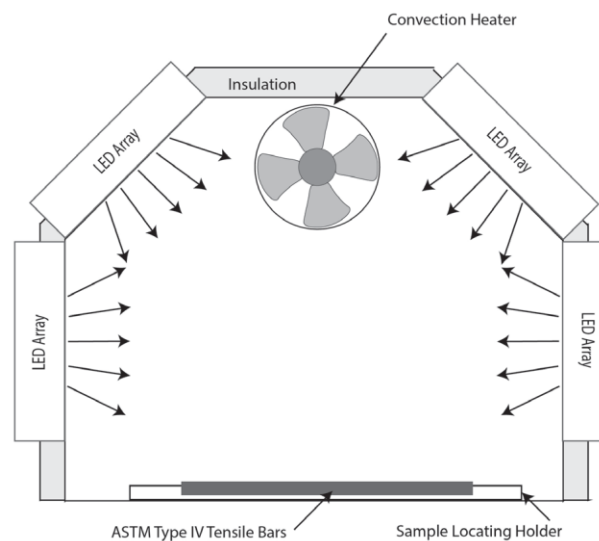


Ilustración 23 - Cámara de Curado Avanzada Formlabs [20, Fig. 3]

En esta segunda cámara se instalan tres fuentes luminosas LED de 10W con longitudes de onda diferentes (365 nm, 385 nm y 405 nm) y una bombilla fluorescente de 9W a 365 nm, con el objetivo de cuantificar las longitudes de onda emitidas por cada una de estas fuentes y determinar la óptima. Para medir la longitud de onda de las señales se emplea un espectrómetro Thorlabs UV-Vis y para cuantificar el flujo un potenciador óptico de mano Thorlabs.

Tras realizar la medición de todas las fuentes luminosas se trazan gráficos con los datos recabados, véase como ejemplo el de la siguiente ilustración.

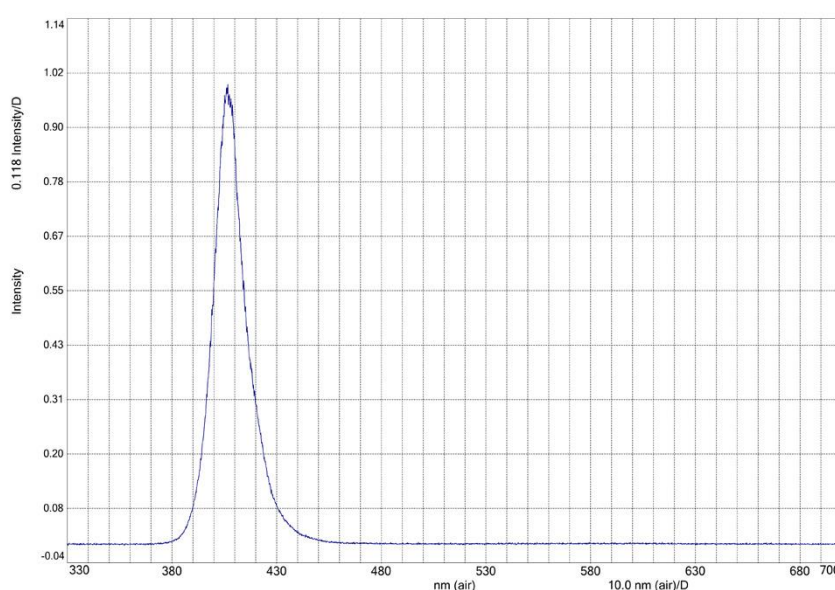


Ilustración 24 - Espectro Longitud de Onda Matriz LED 405nm 10W [20, Fig. 6]

Se reúnen los datos tomados de los picos de longitud de onda y potencias medidas bajo una tabla de modo que la comparación surja de forma más sencilla.

Array Wavelength (nm)	Peak Wavelength (nm)	Power (mW)
LED 405	406.9	3.41
LED 385	389.2	1.61
LED 365	368.1	1.17
Fluorescent 365	366	0.923

Tabla 1 - Medidas de Salida Fuentes de Iluminación Estudio Formlabs

En definitiva, en vista de que todas ellas emiten muy cerca de las longitudes de onda objetivo, lo que se obtiene con estos resultados es una relación pragmática de la eficiencia de cada una de las fuentes de iluminación, constatando cuál de ellas entrega más potencia a partir de la misma línea de entrada.

Fundamentos Teóricos del Proyecto

A continuación, se ensayan las probetas resultantes del siguiente experimento; se fabrican tres probetas con resina "Clear V2", cada una de ellas expuesta ante un tipo de longitud de onda (365nm, 385nm y 405nm) y se determinan sus propiedades mecánicas a tracción. Se observa los resultados en los siguientes gráficos extraídos directamente del documento.

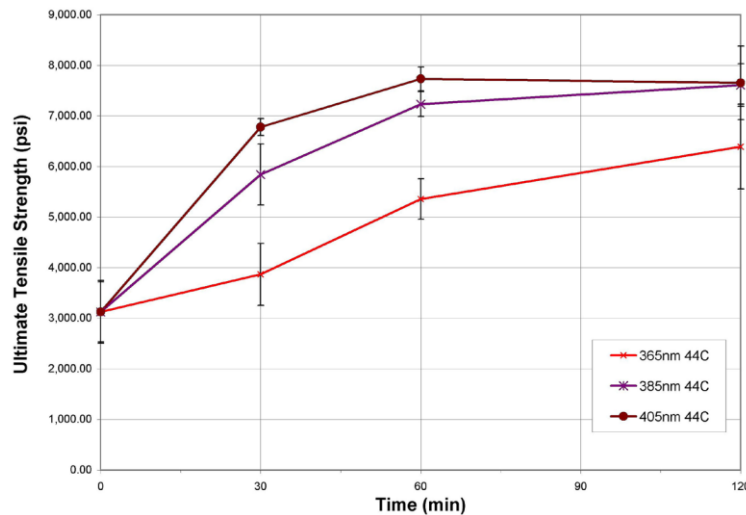


Ilustración 25 - Efecto de la Longitud de Onda sobre la Tensión de Rotura en Resina Clear V2 [20, Fig. 8]

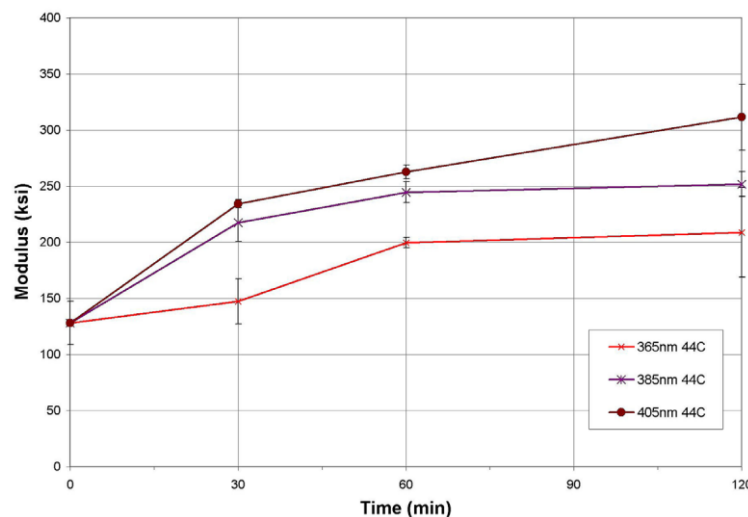


Ilustración 26 - Efecto de la Longitud de Onda sobre el Módulo en Resina Clear V2 [20, Fig. 9]

Para un proceso de curado de 60 minutos a 44°C, el hecho de estar más próximos a la longitud de onda clave de la resina, en este caso 405 nm, implica un aumento

significativo en la tensión de rotura y en el módulo, un 208% desde el punto inicial, lo que indica que la fuente de iluminación óptima para el curado deberá ser la de 405nm.

Sin embargo, es interesante observar cómo las luminarias de 365 y 385 nm llegan a curar parcialmente las piezas fabricadas, aunque nunca llegando al mismo resultado que la de 405 nm.

Llega el momento de realizar el mismo experimento variando, en esta ocasión, la temperatura a la que se encuentra la cámara y manteniendo intacta la longitud de onda, que será de 405 nm. Se observa los resultados de este experimento a través de las siguientes ilustraciones.

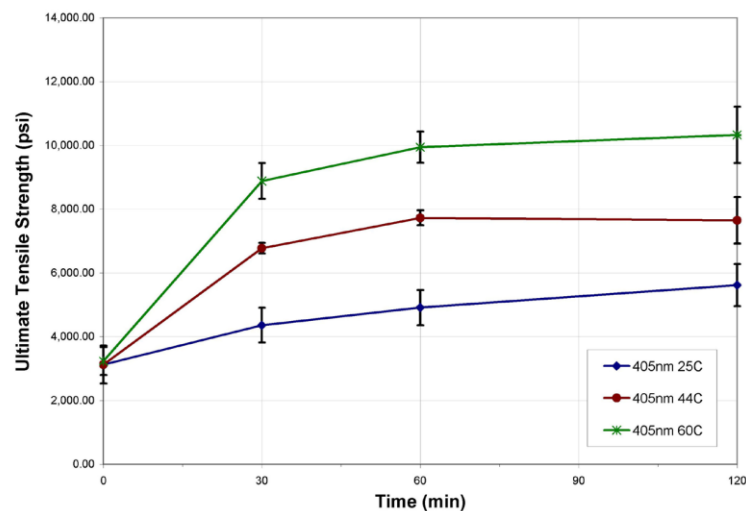


Ilustración 27 - Efecto de la Temperatura sobre la Tensión de Rotura en Resina Clear V2 [20, Fig. 10]

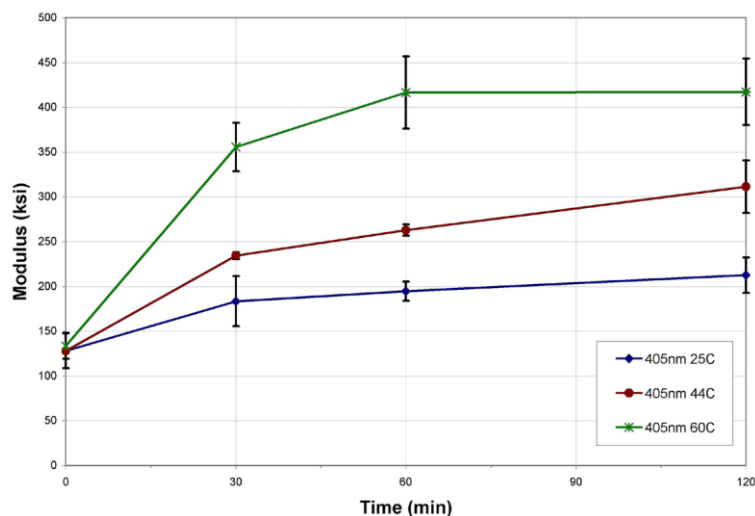


Ilustración 28 - Efecto de la Temperatura sobre el Módulo en Resina Clear V2 [20, Fig. 11]

Fundamentos Teóricos del Proyecto

En este caso, se observa como una mayor temperatura de curado afecta positivamente a las propiedades mecánicas de las probetas. No solo reduciendo el tiempo de curado, sino permitiendo alcanzar cotas más elevadas en la tensión de rotura y el módulo, llegando a obtener a los 60 minutos un incremento en el módulo del 323% desde el inicio del experimento.

Sin embargo, como también es notable en las gráficas, la tendencia de crecimiento no se mantiene indefinidamente, sino que comienza a decaer a partir de la hora de exposición, algo muy relevante para tener en cuenta.

Por último, en el documento se indica que durante la investigación de los efectos de la cantidad de luz sobre las piezas se descubrió que hay un valor óptimo para el flujo de radiación próximo al valor de 1.25 mW/cm². Algo observable gracias al siguiente gráfico elaborado con los datos recabados.

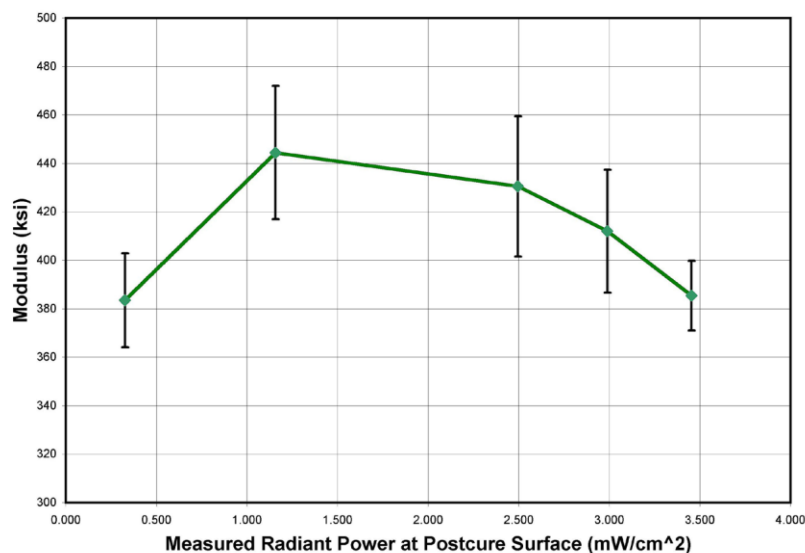


Ilustración 29 - Efecto del Flujo de Radiación en Resina Clear V2 (60°C/60min) [20, Fig. 12]

Según indican, 1.25 mW/cm² es el flujo generado por una única matriz LED de 10W en el TCC. En caso de trabar con una potencia inferior a los 10W, no hay suficiente luz para obtener un curado completo, por lo que se llegarán a obtener propiedades mecánicas inferiores. En este gráfico, implica un incremento del 116% desde el punto menor.

La explicación que se da en el documento tiene que ver con el proceso de propagación previamente explicado en el apartado 4.1.2, ante un mayor flujo de radiación se generará un mayor número de radicales, los cuales tendrán más probabilidades de encontrarse los unos con los otros y aniquilarse antes que encontrar una cadena de monómeros con la que seguir reaccionando.

De igual modo, se indica que los efectos de la temperatura sobre la movilidad de estas cadenas de monómeros resulta ser una condición limitante en el proceso de curado.

Por tanto, se establece un equilibrio entre la propagación de una cantidad de radicales determinados y la movilidad de la cadena de monómeros que determinan la obtención de las propiedades óptimas en torno a 1.25 mW/cm^2 . En todos los valores superiores o inferiores, según se podrá leer en la gráfica, se produce un curado incompleto de las piezas expuestas.

En conclusión, gracias a este estudio llevado a cabo por Formlabs se tiene la certeza de que las propiedades impresas de las piezas analizadas se incrementan al elevar la temperatura de la cámara de curado y emplear una fuente luminosa de 405nm. De igual modo, el tiempo de curado también influye en ese incremento a través de la relación de que a más tiempo mejores propiedades, existiendo un límite físico dado por la aniquilación total de los radicales libres que se encuentren dispersos por el fluido. En términos de flujo de radiación, se llega a determinar un valor óptimo de trabajo, que se encuentra en torno a 1.25 mW/cm^2 .

Por tanto, en vista de lo observado, se considera de gran relevancia la propuesta para la inclusión de un sistema térmico de una máquina de postprocesado orientada a los sectores doméstico y semiprofesional, permitiéndoles así acceder a la fabricación de piezas con unas características mecánicas completas.

No obstante, es necesario puntualizar que los valores exactos de temperatura y tiempo de curado variarán para cada resina, siendo necesario determinarlos pragmáticamente.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

Dividido en diferentes puntos que permiten avanzar cronológicamente en el diseño de la máquina, en este apartado se expondrán las fases principales del trabajo y se argumentarán las ideas principales y secundarias del mismo.

Se detalla el proceso que se ha llevado a cabo para la elaboración del proyecto que aquí se plantea.

5.1. FASE 1 - ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

5.1.1. Historia de la Estereolitografía

El origen de la técnica que se conoce como "Estereolitografía" comienza en el decenio de 1960 a 1980, al igual que muchas tecnologías emparentadas entre sí por el uso común de diferentes materiales poliméricos [27]. Durante este periodo de tiempo, son muchos los nuevos materiales con propiedades sorprendentes en el ámbito de la durabilidad, resistencia y ligereza, que aportando nuevas mecánicas de funcionamiento llevaron a un nuevo nivel la producción de componentes a nivel mundial.

Su descubrimiento sirvió de precedente para gran cantidad de proyectos de investigación que harían uso de estas nuevas tecnologías sintetizando muchos más materiales [27]. Son múltiples y muy variados los sectores que se han visto gratamente afectados, donde uno de los que más se ha llegado a beneficiar de estas mejoras fue el sector de la manufactura, abarcando desde las carcasas de aparatos electrónicos hasta la fabricación de prótesis dentales [1, Cap. 4].

Todo este escenario sirvió de base para la invención y desarrollo de técnicas de fabricación más sofisticadas y complejas que las que se habían concebido hasta entonces. Estas técnicas utilizarían los materiales poliméricos como materias primas; fundiéndolos, estirándolos, comprimiéndolos y haciéndolos pasar por todo tipo de procesos para conseguir piezas complejas de una forma sencilla y barata [27]. Por aquel entonces, soñadores como Scott Crump comenzaron a desarrollar las primeras versiones de impresoras 3D, versiones que hoy día serían colosales y complejas, pero que sentaron las bases para el desarrollo de las máquinas que hoy día conocemos [5]. Scott Crump fue un gran impulsor de la tecnología de impresión 3D en FDM, una de las técnicas aditivas más difundidas hoy en día por todo el mundo [27], concluyendo en la fundación de Stratasys.

De forma paralela, otros investigadores realizaron los primeros planteamientos de otra de las técnicas de fabricación aditiva. En la década de los años 70, el investigador japonés Hideo Kodama planteó las bases de la estereolitografía [27], una técnica de fabricación que utilizaría resina sensible a la radiación ultravioleta permitiendo solidificarse. No obstante, fue Charles Hull quien retomó esta idea, patentándola y dándole su nombre tan característico, y llevándola al terreno comercial fundando 3D Systems, una empresa basada precisamente en este tipo de fabricación aditiva [1, Cap. 4.1], [5].

Desarrollo del Proyecto

Durante algunos años, las patentes que detallaban estos métodos de fabricación permitieron a las empresas desarrollar ampliamente los límites de sus propuestas a la par que se iba descubriendo más información sobre este tipo de técnicas productivas. Sin embargo, el estado de la tecnología por aquel entonces lastraba en parte los avances, ya que en buena medida el desarrollo de la automática moderna y los sistemas de control de precisión se estaban llevando a cabo de forma simultánea [1, Cap. 2]. Contra todo pronóstico, las empresas pioneras como Stratasys y 3D Systems lograron asentar un nicho en la producción de pequeños componentes, prototipado rápido y desarrollos médicos básicos.

No fue hasta la década del 2000 al 2010, habiendo pasado aproximadamente 30 años desde las primeras patentes, cuando se empezaron a popularizar estas técnicas de fabricación entre la población no profesional [28]. En el campo de la impresión en FDM surgieron proyectos pioneros "Open Source" como RepRap, que pretendía difundir la impresión 3D de filamento mediante impresoras accesibles, baratas y autoreplicables [28]. No obstante, para el desarrollo de máquinas de impresión 3D de resina se requirió un esfuerzo algo mayor, ya que así lo requería este tipo de tecnología.

Por aquel entonces, surgieron varias empresas "startup", como Formlabs, que potenciaron el desarrollo de impresoras 3D de escritorio que utilizarasen la resina como materia prima mediante SLA, siendo buen ejemplo la Form 1. A pesar de todo, el coste de estas primeras máquinas seguía siendo lo suficientemente elevado como para que todavía no fuese accesible a la gran mayoría del público, pudiéndose permitir tan solo las empresas que verdaderamente estuvieran interesadas. Sin embargo, con la innovación en este campo, la difusión del conocimiento y la introducción de esta técnica en más sectores fue cuestión de tiempo que la técnica se popularizase hasta el punto en el que verdaderamente interesase al público general.

Con este creciente interés, nuevas empresas como Anycubic comenzaron a desarrollar máquinas con un coste más reducido [29], tecnologías que se adaptasen perfectamente a los requerimientos de un sector más doméstico, surgiendo las tecnologías digitales e impresoras que hicieran uso de ellas, como la Photon.

Aspectos más secundarios de estas técnicas, como el postprocesado, tomaron relevancia más adelante provocando que las empresas y particulares comenzasen a desarrollar máquinas se satisficiesen las necesidades del mercado, generando versiones consecutivas de las mismas y constituyendo familias completas de máquinas con diferentes especificaciones. Así, se llega a obtener las Form Cure y Form Wash de Formlabs, la gama de Wash&Cure de Anycubic o la Clean&Cure Series de Elegoo.



Hoy día, el avance de esta técnica de impresión se halla en el descubrimiento de materiales más técnicos y sofisticados, máquinas más precisas y en el alcance de nuevos sectores que hasta ahora eran inaccesibles.

5.1.2. Análisis de Máquinas de Postprocesado Comerciales

Con motivo de obtener una orientación inicial y un conocimiento que nos capacite para poder proyectar finalmente la máquina que se propone diseñar es necesario, previamente, analizar aquellos ejemplos ya disponibles en el mercado.

Para ello, tomaremos equipos de escritorio con el propósito de postprocesar piezas impresas en 3D fabricadas en resina; primero haciendo hincapié en un equipamiento de mayor precio y con un acabado técnico y estético más depurado y, después, pasaremos a analizar dos conjuntos de máquinas con un coste más asequible para el público objetivo de la máquina que se desea diseñar, donde además se podrá observar cómo se ponen en práctica algunas de las medidas técnicas y de seguridad necesarias para que el proceso pueda ser ejecutado correctamente.

5.1.2.1. Form Wash y Form Cure

En este caso, se va a analizar las máquinas que esta empresa presentó a la comunidad en 2017 para completar su ecosistema de trabajo en resina [30]. La Form Wash y la Form Cure están específicamente diseñadas para realizar las dos fases del proceso de postprocesado.

5.1.2.1.1. Form Wash

Comenzando por la Form Wash, su función principal será la de llevar a cabo el lavado de las piezas una vez estas hayan terminado de ser impresas. Se podrá dejar el disolvente que se esté usando en su interior entre un lavado y otro, hasta que este quede inservible por una elevada saturación de resina en el fluido.



Ilustración 30 - Form Wash (Vista General)

Comenzando por su construcción, se observa que está enteramente montada en un polímero plástico cuya identificación no queda clara a simple vista, no teniendo que ser necesariamente el mismo para todas las partes del aparato. Comenzando desde la sección inferior, donde están ubicados los mandos, se encuentra una base construida en un polímero robusto con un acabado brillante, sostenida por cuatro patas de goma que elevan la máquina, aproximadamente, un centímetro sobre la superficie de trabajo.



Ilustración 31 - Form Cure (Contacto con Superficie de Trabajo)

Diferenciado del resto de la base por un cambio de apariencia, se encuentra el panel de control constituido por una pequeña pantalla LCD monocolor y un monomando representado por un encoder rotativo con botón que hará las funciones del pulsador. La placa base controladora del sistema está contenida dentro de esta sección, no dejando espacio para una fuente de alimentación interior que quedará sustituida por una externa.

Si se pasa a analizar la sección intermedia se encuentra un plástico, de nuevo, con acabado brillante en su exterior, pero que para permitir la visualización del proceso de lavado es ahora, transparente. Esta parte de la máquina está acoplada en la base mediante un enganche ubicado en su parte trasera, permitiendo un mínimo juego entre estas dos secciones. Según el fabricante, el tanque tiene una capacidad de ocho litros y medio de líquido disolvente, cualquiera que sea el que se pretenda a usar, y ambos lados están integrados dos compartimentos rotatorios que se podrá desplegar para encontrar herramientas que serán útiles durante esta parte del trabajo.

Desarrollo del Proyecto



Ilustración 32 - Form Wash (Compartimentos Laterales)

En el interior de esta sección interior se encuentran dos soportes que nos permitirán disponer las piezas para su lavado, estando el primero compuesto por una repisa que podrá sostener la plataforma de impresión, permitiendo lavar las piezas estando todavía adheridas a ella, y el segundo quedando conformado por una cestilla metálica donde se podrá depositar las piezas manualmente una vez ya las se haya desprendido de la plataforma. Estos dos soportes están acoplados en su parte trasera a un sistema de elevación que los elevará por encima del volumen de disolvente accionando un separador antes oculto que aislará el interior de la máquina del ambiente exterior, previniendo una excesiva evaporación del disolvente.

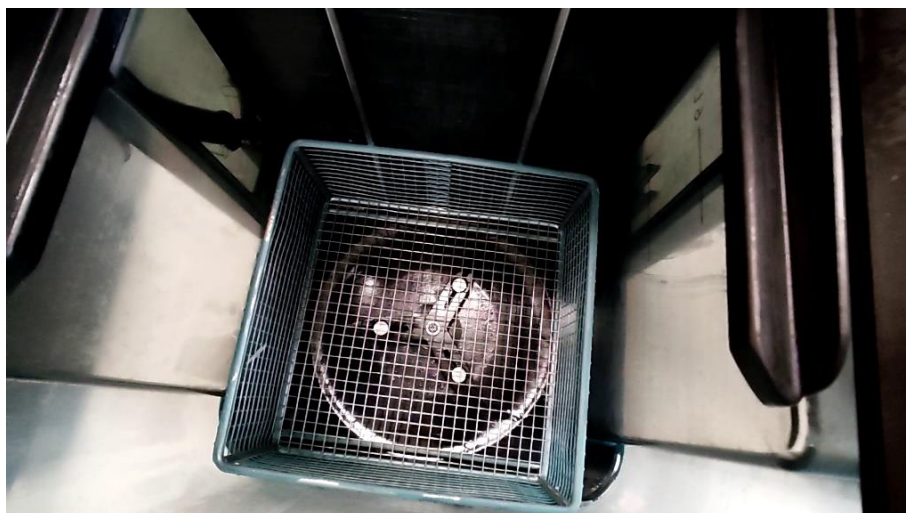


Ilustración 33 - Form Wash (Interior del Tanque)

Para concluir con la construcción interior de la máquina, se deberá prestar atención al agitador magnético que se encuentra en el fondo del tanque.

Su funcionamiento es sencillo, puede moverse sin estar directamente en contacto con su correspondiente motor eléctrico al hacer uso de los imanes para, gracias a la atracción magnética, vincularse con sus homólogos que se encuentran ubicados bajo la carcasa girando solidarios al motor.

Por último, para terminar completamente con la construcción de esta máquina, se hará un vistazo a la tapa superior construida en un plástico rígido mate con una cierta textura rugosa. Esta pieza complementa al separador oculto antes mencionado, ya que durante el transcurso del proceso de lavado y siempre que la máquina no se esté usando aislará el interior de la máquina del ambiente exterior, evitando una excesiva evaporación del disolvente. En el momento en el que se le ordena a la máquina elevar los soportes para las piezas, la tapa se elevará automáticamente impulsada por el carro interior que sostiene los dos soportes ya mencionados.

Por otra parte, es posible retirar esta tapa de forma sencilla para vaciar el contenido del tanque con menores complicaciones gracias a que está acoplada por medio de unos pivotes que, al posicionarlos de forma adecuada, dejan la tapa libre.

Ahora, en términos electrónicos es sencillo determinar qué clase de componentes estarán contenidos dentro de esta máquina de lavado, a pesar de no tener la posibilidad de mirar en su interior:

- Motor Paso a Paso (NEMA desconocido).
- Pantalla LCD.
- Encoder Rotativo con Pulsador.
- Placa Base.
- Avisador Acústico.

En cuanto al funcionamiento del software es realmente sencillo, ya que únicamente existe un único menú en el que se nos presentan cuatro opciones: botón de inicio del trabajo, configuración de la duración del trabajo, indicación del número actual de trabajo y reinicio de la memoria del aparato. Durante el proceso de lavado, la información en la pantalla se limitará a indicarnos el tiempo restante del trabajo, el tiempo que se ha configurado inicialmente y el número de lavado desde el último reinicio del sistema.

Para eliminar las impurezas de la figura, la máquina generará un flujo rotatorio del fluido con centro en la figura, mediante la pieza del agitador, que cambiará de sentido cada cierto tiempo, dependiendo de cómo de largo sea el tiempo programado. La finalización del proceso de curado se notificará al usuario mediante un aviso sonoro.



Ilustración 34 - Form Wash (Menú de Software)

5.1.2.1.2. Form Cure

Se ha hablado de la Form Wash, la máquina diseñada por Formlabs para llevar a cabo el lavado de las piezas impresas en resina, comenzando así su postprocesado. Pero como ya se ha expuesto en puntos anteriores, para completar un postprocesado completo es necesario exponer la pieza recién lavada ante un segundo curado de forma apropiada, tarea para la Form Cure. Esta segunda máquina, completamente independiente a la Form Wash, está capacitada para exponer las piezas ante una cierta temperatura y radiación luminosa bajo unas determinadas y estudiadas condiciones técnicas de las que ya se ha hablado en apartados anteriores.

El hecho de que, a diferencia de como se verá en los siguientes puntos, los procesos de lavado y curado se hayan planteado a realizar en dos máquinas completamente independientes, permite intensificar el perfeccionamiento técnico en cada una de ellas. No obstante, destaca la intención de simplificar el modelo productivo facilitando la labor al operador que maneje las máquinas con un mayor modularidad del proceso de trabajo a través del ecosistema de Formlabs.



Ilustración 35 - Form Cure

La máquina que se podrá observar en la ilustración superior es la Form Cure, en el momento de preparar las piezas para su curado en el interior.

Se va a proceder con el análisis de esta máquina de forma análoga al de la Form Wash. Empezando por la parte inferior, se encuentra gran similitud entre las dos máquinas, ya que se encuentra montada en un polímero robusto con un cierto acabado brillante, de nuevo sostenida por cuatro patas de goma que elevan la máquina, aproximadamente, un centímetro sobre la superficie de trabajo. En la parte frontal nada ha cambiado, seguimos disponiendo del monomando con pulsador y una pequeña pantalla LCD monocolor al servicio del usuario.

En la parte posterior se encuentra una diferencia con respecto al diseño de la Form Wash, un pequeño ventilador que permitirá una mayor ventilación del interior del aparato.



Ilustración 36 - Form Cure (Sección Inferior Posterior)

Desarrollo del Proyecto

Esto indica que, dentro de esta plataforma inferior, se encuentran todos los elementos de control, así como la parte más relevante de la electrónica del aparato. En esta sección inferior posterior, también se encuentra los puertos de comunicación (USB-B) y el conector para una fuente de alimentación de 24V.

Se va a hacer referencia ahora al resto del aparato. Se puede acceder al interior de la cámara de curado de la Form Cure desplegando la mitad de la cubierta de la máquina que se encuentra enlazada al resto mediante una bisagra. A resaltar, una vez el proceso de curado está iniciado y los LEDs UV-A están encendidos este podrá ser pausado directamente abriendo la cápsula, se interpreta de este comportamiento la presencia de un mecanismo de final de carrera, probablemente magnético debido a la falta de componentes expuestos a la vista del usuario.



Ilustración 37 - Form Cure (Bisagra)

Las paredes interiores muestran un efecto espejo para un máximo aprovechamiento de la luz, pero dejando entrever el contenido de la máquina desde fuera una vez está puesta en marcha. Desde el lado exterior, lo que se podrá observar es que antes de encontrarnos con el falso espejo interno hay una carcasa protectora translúcida tintada de negro que cubre toda la máquina para conferirle un característico acabado brillante.

En la parte interior, lo que se encuentra es todo el conjunto de elementos necesarios para hacer que el curado de las piezas sea óptimo. Comenzado por la parte inferior, se halla una plataforma metálica perforada sostenida sobre una pieza muescada que gira solidaria a un motor eléctrico, esta será la base sobre la que depositaremos las piezas. A diferencia de en el proceso de lavado, esta plataforma girará a una velocidad mucho menor exclusivamente en un único sentido durante el tiempo programado para el proceso.



Ilustración 38 - Form Cure (Interior)

El hecho de que la plataforma esté perforada facilita el curado de la parte de las piezas que se encuentra en contacto con ella, además de permitir una ventilación de volumen de aire inferior. Si retiramos esta plataforma metálica dejaremos al descubierto la pieza muescada en la que se encaja y un módulo luminoso que potenciará el curado desde la sección inferior.

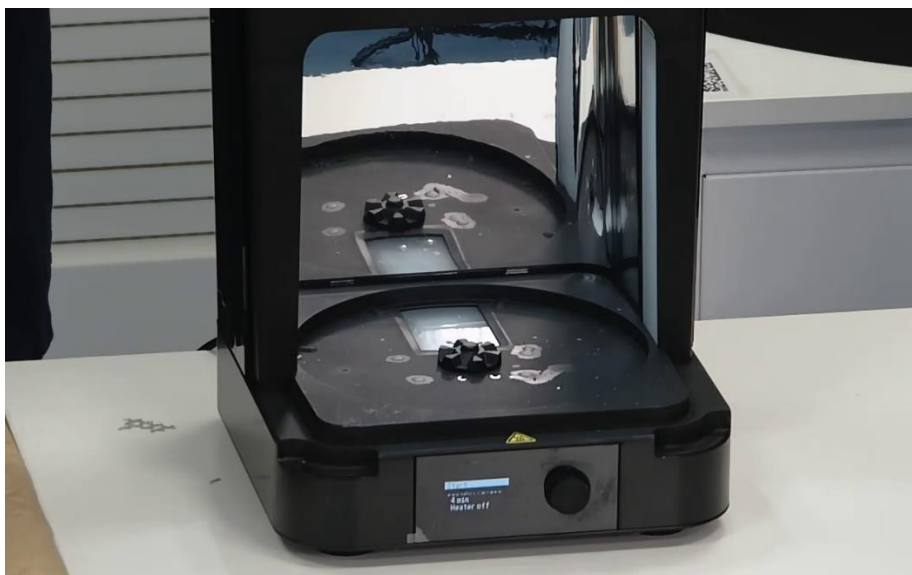


Ilustración 39 - Form Cure (Bajo la Plataforma)

En la parte derecha, izquierda y superior del marco que se encuentra en la sección intermedia entre los dos espejos se encuentran los módulos principales LED de iluminación, conformados por varias unidades LED individuales.

Desarrollo del Proyecto

Por último, en la parte superior de la cámara de curado se encuentra el módulo de calefacción, dejando ver únicamente los orificios de entrada y salida del aire. En la siguiente ilustración se podrá ver la perspectiva que cualquier usuario de esta máquina podría tener, en el engrosamiento del conducto se tiene un ventilador que toma el aire por el conducto izquierdo y lo expulsa por el derecho, pasando anteriormente por un radiador térmico ubicado en la parte derecha.



Ilustración 40 - Form Cure (Módulo de Calefacción)

De esta manera, consigue elevar, aunque lentamente, la temperatura de la cámara. A pesar de no ser visible, se supone la existencia de un sensor térmico para el control de la temperatura en la cámara de curado.

Por último, se va a analizar el comportamiento del software de este equipo, ya que es ligeramente diferente de la Form Wash. Debido a los resultados del estudio en el que se comprueban la variación de las propiedades mecánicas en base a la manipulación de los parámetros de curado, algo ya visto en el apartado 4.4.3.2, se determina que es necesario adaptar los parámetros de tiempo y temperatura para cada resina empleada que se desee curar dentro de la máquina.

Para esto, Formlabs ha realizado múltiples ensayos para determinar los parámetros óptimos de curado que necesita cada resina, algo que se podrá ver reflejado en la interfaz de uso de la Form Cure.



Ilustración 41 - Form Cure (Menú Principal)

En el menú principal, hay cuatro opciones con las que se podrá interactuar: inicio del programa, selección de un perfil preconfigurado, configuración única del tiempo y configuración única de la temperatura. Formlabs actualiza en la memoria de la máquina la configuración óptima para cada resina de su catálogo, de forma que nos aseguremos de que, si se ha seguido correctamente todos los pasos que indican, lleguemos a obtener las propiedades mecánicas óptimas.

Siguiendo la misma mecánica de trabajo con el monomando y pulsador que en la Form Wash, se podrá poner en marcha la Form Cure y terminar las dos fases más relevantes de la fabricación de las piezas impresas en resina. La finalización del proceso de curado se notificará a los usuarios mediante un aviso sonoro. Por otro lado, se podrá esperar que los componentes de los que disponga esta máquina sean, de nuevo sin tener la posibilidad de mirar en su interior:

- LED's UV-A.
- Ventilador del Sistema de Calefacción.
- Radiador Eléctrico Térmico.
- Motor Paso a Paso.
- Pantalla LCD.
- Encoder Rotativo con Pulsador.
- Placa Base.
- Ventilador para Área de Electrónica.
- Avisador Acústico.

Desarrollo del Proyecto

Adicionalmente, en la página del fabricante se muestran las siguientes propiedades técnicas sobre la máquina de lavado:

- Potencia: 50W.
- Dimensiones de la máquina: 262 x 293 x 340 (mm).
- Volumen de la cubeta: 8.6 L.

De igual modo, se aporta la siguiente información de la máquina de curado:

- Potencia total: 144W.
- Potencia LEDs: 39W.
- Potencia radiante del LED: 9.1W.
- Dimensiones de la máquina: 262 x 293 x 340 (mm).

La suma de coste de estos equipamientos supera los 1500€ (web oficial de Formlabs).

5.1.2.2. Anycubic Wash & Cure 2.0

Shenzhen Anycubic Thecnology Co., Ltd. es una empresa de origen china fundada en 2015 [29] que llamó la atención en el mercado internacional por desarrollar uno de los primeros equipos domésticos de impresión con resina a un precio competitivo.

Tras varios años de existencia, decidió realizar su aportación en el postprocesado anunciando la Anycubic Wash & Cure, una máquina "todo en uno" para el lavado y curado de las piezas impresas en resina que facilita la labor de trabajo con un presupuesto reducido.



Ilustración 42 – Anycubic Wash & Cure (www.anycubic.com)

Sin embargo, esta primera versión tuvo varias limitaciones técnicas, así como también fallos de diseño en diferentes puntos críticos, como una cubeta de lavado no sellada. Por tanto, un tiempo después, Anycubic anunció al mundo entero que había dado una vuelta a su diseño inicial y había escuchado las recomendaciones de la comunidad acerca de la primera versión, proclamando que la Anycubic Wash & Cure 2.0 pronto saldría a la venta.

Desarrollo del Proyecto



Ilustración 43 – Anycubic Wash & Cure 2.0

Este nuevo equipo, ahora con un diseño mucho más cuidado y un especial interés en los detalles, ponía solución a todas las carencias que poseía la primera máquina. Poco más tarde, como una forma de dar soporte para las nuevas impresoras de mayor volumen de la firma, la empresa anunció la salida de la Anycubic Wash & Cure Plus, una versión de mayores dimensiones que la Wash & Cure 2.0, pero siguiendo la misma línea de diseño.



Ilustración 44 – Anycubic Wash & Cure Plus (www.anycubic.com)

Cabe destacar que la Anycubic Wash & Cure carece de una característica que, como ya se ha observado, resulta de gran relevancia en una máquina de curado para piezas impresas en resina, el control de la temperatura del interior de la cámara de curado. Ninguna de las versiones de la Anycubic Wash & Cure cuenta con esta característica.

Adicionalmente, en la página del fabricante se muestran las siguientes especificaciones técnicas:

- Potencia de la máquina: 25W.
- Dimensiones de la máquina: 225 x 235 x 365 (mm).
- Volumen de la cestilla metálica: 120 x 74 x 235 (mm).
- Volumen de lavado con plataforma: 120 x 74 x 165 (mm).
- Volumen de curado: 140 (diámetro) x 165 (mm).

El coste de este equipo no supera los 200€ (web oficial de Anycubic).

5.1.2.2.1. Despiece de los Componentes

Dado el mayor acceso a esta máquina, se va a poder organizar un análisis un poco más detallado para esta máquina. Con el fin de exponer el análisis de una forma estructurada, se va a seguir la agrupación de elementos más representativos destacados en el punto anterior. Dentro de cada uno de estos, se reducirá a la mínima unidad con sentido para elaborar una lista de componentes que se puedan presentar.

El grupo de la lámpara hace referencia a la estructura en la que están contenidos los LEDs UV-A y todos sus elementos.

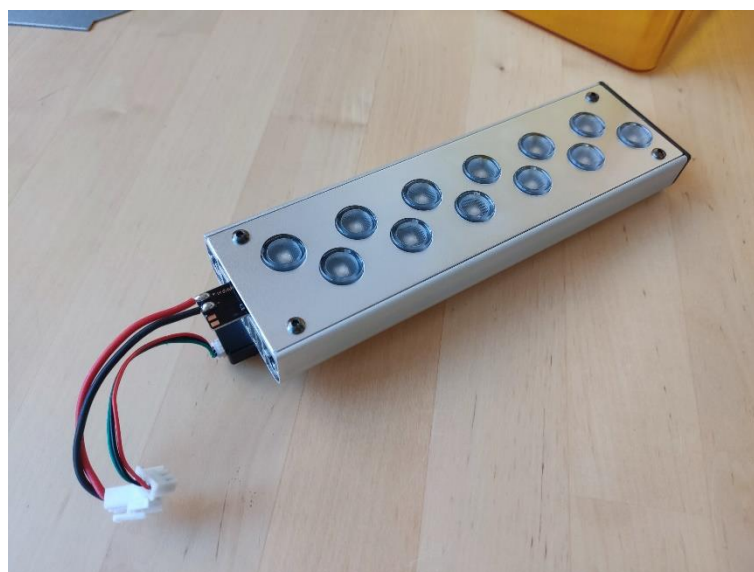


Ilustración 45 – Conjunto W&C Anycubic "Lámpara"

Desarrollo del Proyecto

Para la cubeta de lavado, se tendrán en cuenta todos los elementos que, anclados o no, intervengan dentro del proceso de lavado fuera de la caja electrónica.

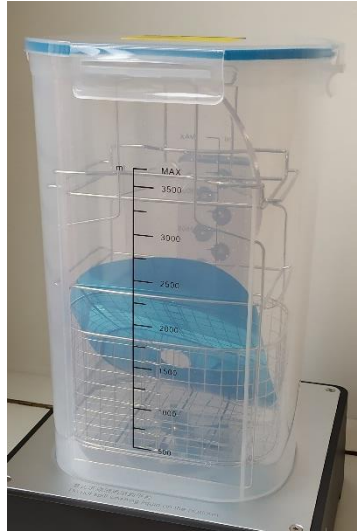


Ilustración 46 - Conjunto W&C Anycubic "Cubeta de Lavado"

Para el grupo representante del mecanismo de movimiento se observarán aquellos elementos que de soporte al motor paso a paso bajo el chasis y permitan la transferencia de energía mecánica entre ambos volúmenes, la caja electrónica/negra y el área de trabajo.

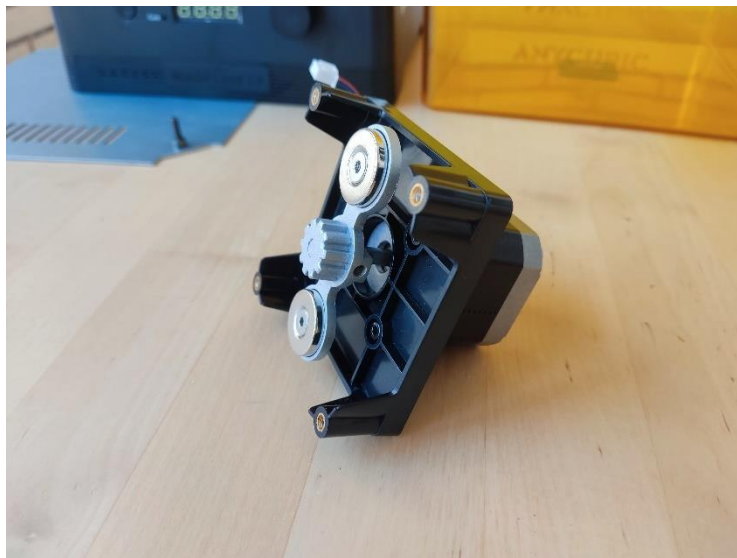


Ilustración 47 - Conjunto W&C Anycubic "Mecanismo de Movimiento"

Para el resto de los elementos que no entren en alguna de las categorías previamente mencionadas se abre una última, con la que se empezará el despiece, donde quedarán agrupados, el cuerpo base.

5.1.2.2.1.1. Cuerpo Base

Observando, en primer lugar, la máquina desde un punto exterior lo que más llama la atención, por ocupar el mayor espacio de nuestro campo visual, es la caja que encierra la electrónica necesaria para hacerla funcionar. Esta caja está esencialmente compuesta por tres piezas que denominaremos de la siguiente manera: cubierta superior base, cubierta inferior base y envoltura lateral base.

La cubierta superior base es una pieza construida en acero cuyo propósito principal es el de cerrar la base de la máquina en su sección superior, para lo que se atornilla a la envoltura lateral base con cuatro tornillos avellanados. Sin embargo, también ha de dar soporte al conjunto de la lámpara, al conjunto del mecanismo de movimiento y al conjunto de la cubeta de lavado.

Para cumplir con estos propósitos adicionales, la superficie está perforada de forma que puedan ser atornillados los dos primeros, mientras que para el tercero se ha trabajado una depresión sobre la que repose la cubeta sin miedo a que esta pueda deslizarse sobre la lámina metálica. Adicionalmente, se ha perforado un agujero para que pueda ser encajada la plataforma de curado que más adelante se estudiará.



Ilustración 48 – Máquina W&C Anycubic; Cubierta Superior Base (Vista Superior)

Desarrollo del Proyecto



Ilustración 49 – Máquina W&C Anycubic; Cubierta Superior Base (Vista Inferior)

De igual modo, existe la cubierta inferior base, también construida en acero que permite cerrar la caja electrónica/negra por la sección inferior de esta. Dispone de unos orificios con forma de ranura para permitir una mejor ventilación del volumen interno.

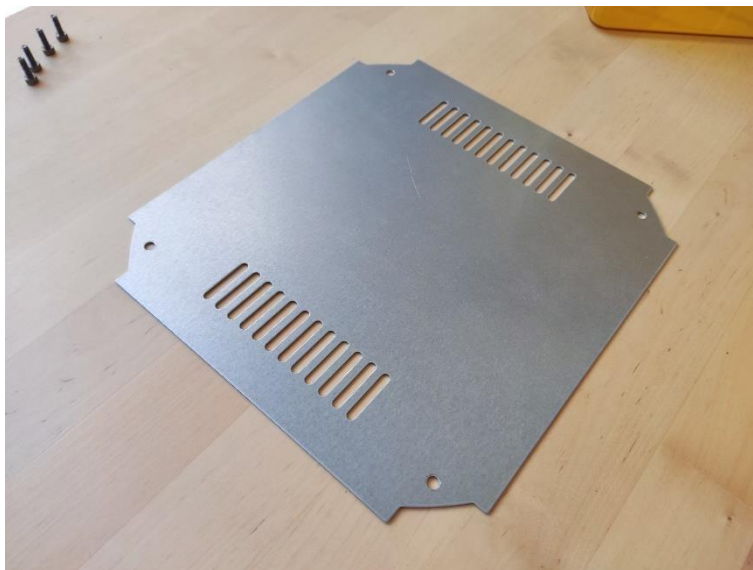


Ilustración 50 – Máquina W&C Anycubic; Cubierta Inferior Base

La envoltura lateral base es una pieza construida en plástico cuyo propósito es el de dar forma a la caja electrónica y servir de base para los elementos relativos a la interfaz de usuario y la placa base principal. Esta gran pieza tiene varios orificios previamente diseñados para dar salida a los elementos de la interfaz, la toma de tensión de la placa base principal y ayudar con la ventilación del volumen interior.



Ilustración 51 - Máquina W&C Anycubic; Envoltura Lateral Base (Orificios Interfaz)



Ilustración 52 - Máquina W&C Anycubic; Envoltura Lateral Base (Orificios Alimentación)

En su parte interior, tiene múltiples detalles que ayudan a dar soporte a todos los elementos que quedan contenidos en ella, así como nervios en los laterales que permiten traspasar las cargas de aquello que se ponga sobre la base de forma que la estabilidad estructural no se vea comprometida. Además, cuenta con varios insertos que permiten atornillar de forma segura la placa principal y las superficies metálicas superior e inferior. Esta es, sin lugar a dudas, una pieza bastante compleja.

Desarrollo del Proyecto

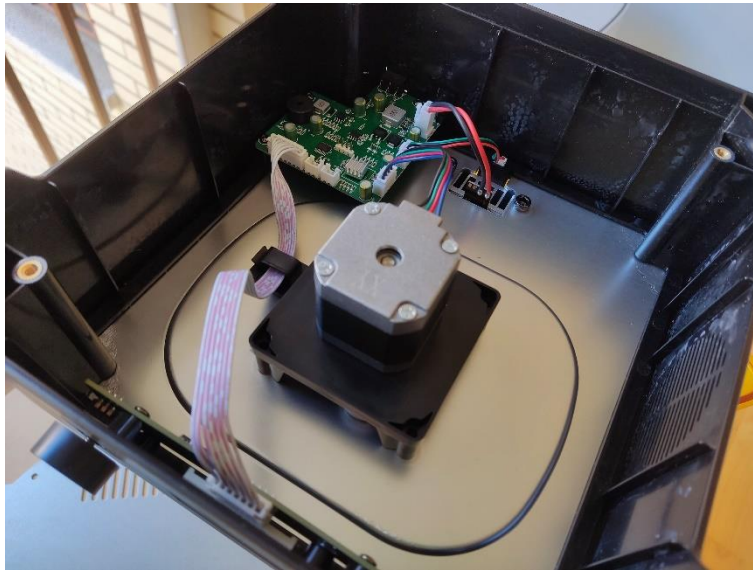


Ilustración 53 - Máquina W&C Anycubic; Envoltura Lateral Base (Vista Interior)



Ilustración 54 - Máquina W&C Anycubic; Envoltura Lateral Base (Rejilla de Ventilación)

En la parte exterior, justo detrás de la lámpara se encuentra una pequeña carcasa de plástico rígida que permite alojar de forma segura el detector IR para asegurar el cerrado de la máquina durante la etapa de lavado.

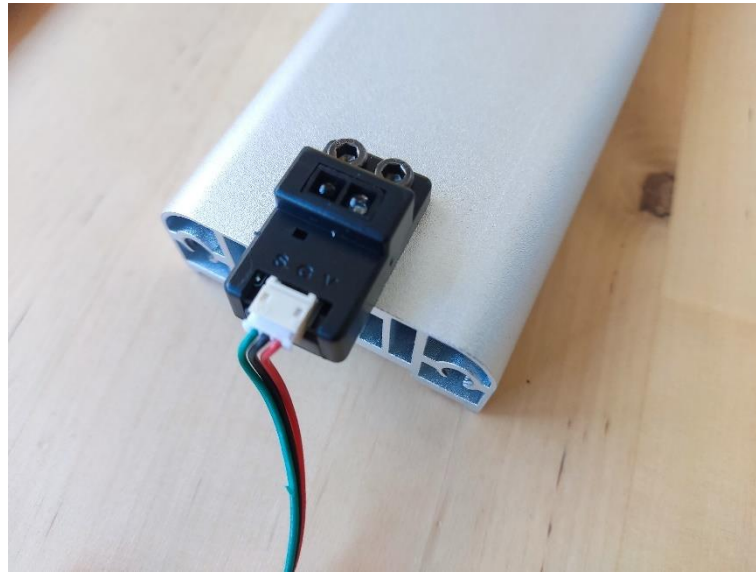


Ilustración 55 - Máquina W&C Anycubic; Carcasa Detector IR

De nuevo en la parte interior, puede pasar desapercibida una pequeña pieza de gran utilidad que organiza y guía los cables dentro de la caja electrónica para que no se dispersen libremente. Se trata de una pequeña pinza con abertura entre el extremo superior y su base construida en plástico flexible.

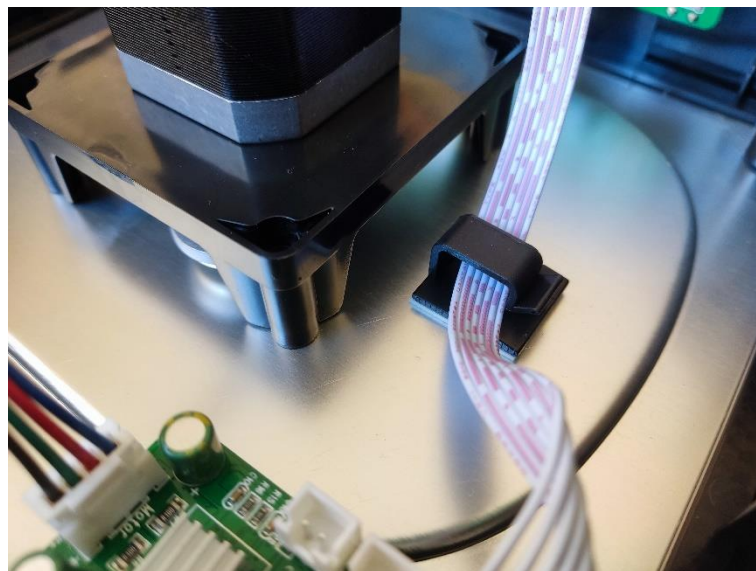


Ilustración 56 - Máquina W&C Anycubic; Soporte-Guía Cables

Para la etapa de curado, serán necesarios dos elementos de forma imprescindible; la plataforma de curado, construida en plástico transparente y con un dibujo radial de medias esferas en su parte superior que puede ser acoplada directamente al eje del motor paso a paso.

Desarrollo del Proyecto

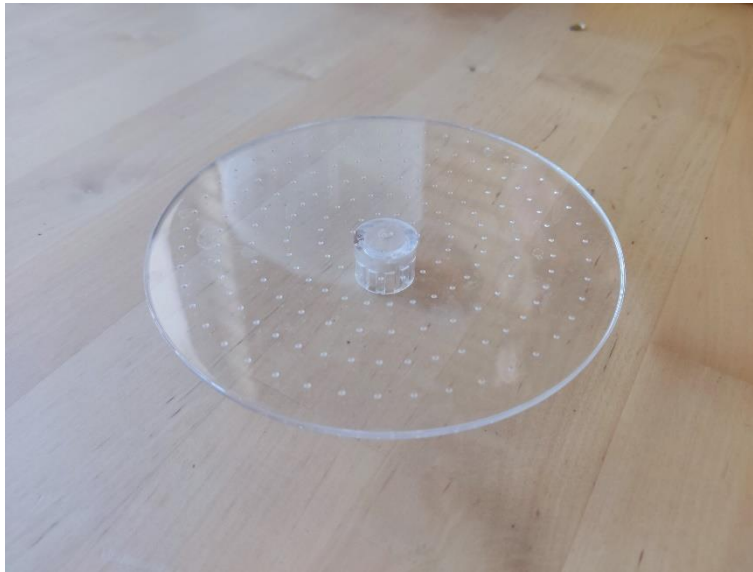


Ilustración 57 - Máquina W&C Anycubic; Plataforma de Curado

Por otro lado, la campana de protección que cubre al operario de la luz UV-A, construida seguramente en policarbonato por su tacto flexible y poco rígido, además de sus propiedades protectoras contra la luz UV-A, como ya se ha estudiado en la parte teórica.



Ilustración 58 - Máquina W&C Anycubic; Campana de Protección

Por último, dentro de este conjunto, es necesario desviar la atención, de nuevo, sobre la parte exterior de la interfaz de usuario. Colocado sobre el encoder rotativo descansa un embellecedor construido en plástico para hacer más sencillo al operador el manejo de la máquina.



Ilustración 59 - Embellecedor Encoder

5.1.2.2.1.2. Lámpara

Dentro del conjunto de la lámpara no hay muchas piezas que resaltar, ya que no lo componen demasiadas. Comenzando por la más grande, el cuerpo de la lámpara construido en acero con una estructura de barras en disposición horizontal ubicadas en su interior dando soporte a la PCB de la lámpara. Sobre esta pieza hay trabajados varios agujeros con rosca para atornillar dicha placa de circuitos.

Sobre la placa de circuito impreso, destacan unas pequeñas piezas de plástico cuyo objetivo es doble, preservar el LED aislándolo del exterior y difuminar la luz que este emite [31]. Se denominará a esta pieza mampara lámpara.

Dando soporte a estas piezas y cerrando por una de sus caras el conjunto se encuentra la tapeta del cuerpo de la lámpara, construida en acero y con pequeños orificios tanto para ser atornillada como para las pequeñas mamparas.

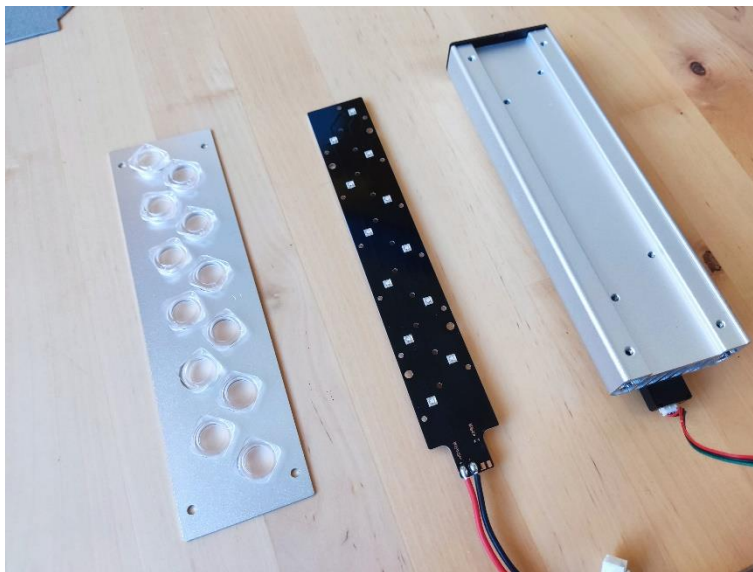


Ilustración 60 - Máquina W&C Anycubic; Izq. Tapeta Cuerpo Lámpara con Mamparas, Dcha. Cuerpo Lámpara

Por último, cerrando completamente este volumen por su parte superior, se encuentra una pieza plástica perforada con ranuras y con un encaje a presión la cubierta superior de la lámpara.



Ilustración 61 - Máquina W&C Anycubic; Cubierta Superior Lámpara

5.1.2.2.1.3. Cubeta de Lavado

Para el conjunto de la cubeta de lavado hay varias piezas por identificar que encuentran atornilladas o insertadas dentro de otras. Comenzando por la propia cubeta de lavado, una pieza impresa en plástico transparente se trata de una pieza voluminosa preparada para contener hasta unos 3,5L de disolvente. Está reglada y en su parte inferior cuenta con un orificio con inserto para atornillar el agitador. Además, un dibujo con nervios en su base permite una mejor distribución que la carga del fluido supone sobre ella.



Ilustración 62 - Máquina W&C Anycubic; Cubeta de Lavado (Vista Exterior)



Ilustración 63 - Máquina W&C Anycubic; Cubeta de Lavado (Inserto Interno)

El agitador es una pieza construida en acero ciertamente inoxidable ubicada en el fondo de la cubeta de lavado, aprisionada por un tornillo y con un rodamiento alojado en su interior para permitir la rotación. A esta pieza se acoplan dos imanes para permitir su "comunicación" con el mecanismo de movimiento ubicado en la cámara electrónica/negra.

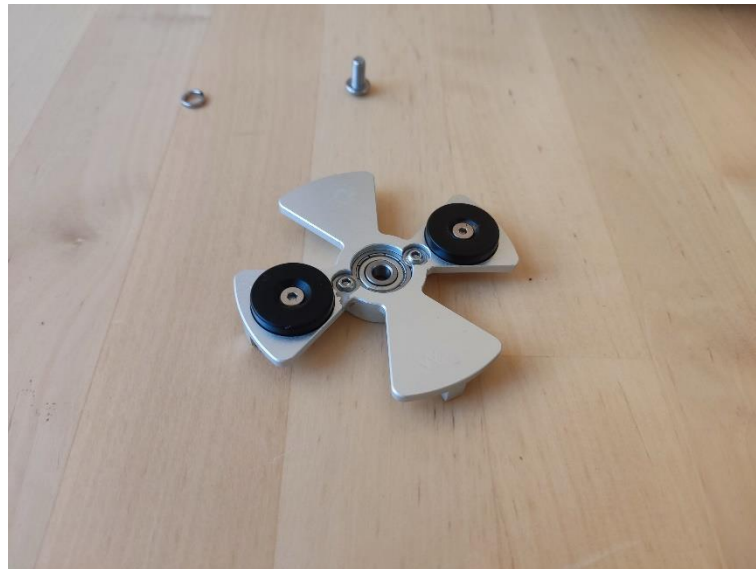


Ilustración 64 - Máquina W&C Anycubic; Agitador

También dentro de la cubeta, para permitir la deposición de las piezas de modo que no colisionen con que agitador y se puedan, en cierto modo, ordenar, hay una rejilla construida con finos hilos de aluminio. Cuenta con asas para poder ser tomada y bases que la separan del agitador.

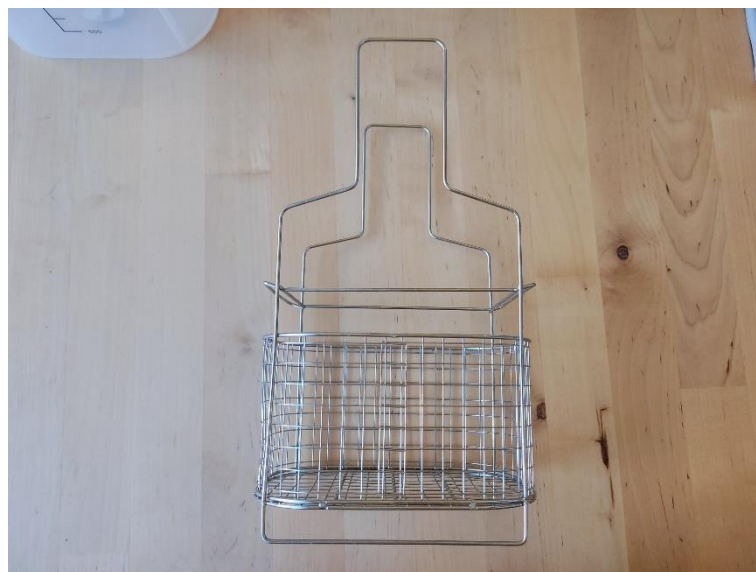


Ilustración 65 - Máquina W&C Anycubic; Cesta Metálica

Desarrollo del Proyecto

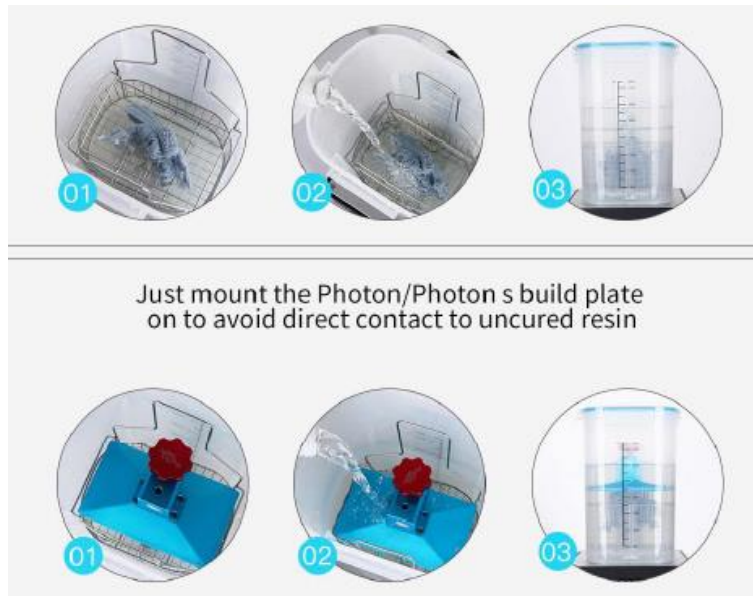


Ilustración 66 – Anycubic Wash & Cure 2.0 (Uso de los Soportes en Fase de Lavado) [31]

Por último, dos piezas que van ensambladas entre sí y permiten el cierre de la cubeta de forma que no se pueda proyectar hacia el exterior ninguna gota de disolvente con resina disuelta. Se hace referencia a la tapa de la cubeta y su junta para asegurar un sellado perfecto.



Ilustración 67 - Máquina W&C Anycubic; Tapa de la Cubeta y Junta Tapa Cubeta

5.1.2.2.1.4. Mecanismo de Movimiento

Dentro del conjunto para el mecanismo de movimiento no son, en absoluto, numerosos los elementos que intervienen en el proceso. Comenzando por el soporte para un motor paso a paso NEMA 17, una pieza rígida fabricada en plástico negro con insertos que le permiten estar soportada sobre la cubierta superior de la base. Además, para maximizar su estabilidad estructural cuenta con varios nervios internos comunicados entre sí.



Ilustración 68 - Máquina W&C Anycubic; Soporte Motor Paso a Paso

Por último, montada sobre el eje del motor paso a paso, una pieza fabricada en acero sin ningún tipo de pulido superficial con la función doble de servir de interfaz de conexión para la plataforma de curado y de portadora de los imanes que permitirán girar al agitador dentro de la cubeta de lavado.



Ilustración 69 - Máquina W&C Anycubic; Interfaz Movimiento Base

5.1.2.3. Elegoo Mercury X Bundle: Wash & Cure Station

Elegoo Inc. es otra empresa surgida a mediados de la década del 2010 que comercia con tecnología FDM y con aquellas que trabajan con resinas fotopoliméricas. Con respecto al postprocesado de piezas impresas en resina, Elegoo ha lanzado a lo largo de su existencia varios equipos que comparten este fin; así son:

- Elegoo Mercury Curing Machine.
- Elegoo Mercury Plus v1.0/v2.0 Station.

Además, Elegoo ha lanzado recientemente un último paquete de máquinas con el propósito del nuestro, el equipo en cuestión es el que da nombre a este apartado, Elegoo Mercury X Bundle: Wash & Cure Station.



Ilustración 70 - Elegoo Mercury X Bundle: Wash & Cure Station [Youtube: Just Vlad]

Elegoo rompe con lo visto hasta ahora en los equipos de bajo coste y ofrece un montaje dividido en dos máquinas que separa completamente el lavado y el curado, algo que recuerda a un diseño de equipos más orientado a un ambiente profesional, donde la necesidad de tener los equipos inmediatamente preparados para secuenciar de forma óptima las fases de trabajo es fundamental. Pero, a diferencia de como se podía ver en los equipos de Formlabs, en este caso el precio es mucho más asequible para una compra proveniente de un entorno doméstico, menos de 200€, teniendo un precio muy similar que la Anycubic Wash&Cure 2.0.

Si se empieza analizando su morfología, lo primero que llamará la atención serán las bases blancas que se sitúan en la sección inferior de ambas máquinas, donde además se podrá ver la sencilla interfaz de usuario preparada para el empleo; un monomando con pulsador y pantalla compuesta por cuatro displays de siete segmentos más un divisor horario.

A todo esto, se le suma una característica de diseño distintiva de estos equipos como es el anillo luminoso formado por varios LEDs que están dispuestos en torno al monomando y que hará más visual el paso del tiempo restante que se haya programado.



Ilustración 71 - Elegoo Mercury X Cure Station (Base) [Youtube: Just Vlad]

Si se giran estas bases para poder observarlas mejor desde su cara inferior se podrá apreciar una constante que ya nos es familiar con respecto al resto de los equipos que se ha analizado, se verá una sección más elevada que otra denotando unas pequeñas protuberancias que elevarán la base ligeramente sobre la superficie de trabajo.



Ilustración 72 - Elegoo Mercury X Bundle (Vista Inferior) [Youtube: Just Vlad]

Desarrollo del Proyecto

En el interior de estas bases se encuentra la reducción máxima del concepto electrónico necesario para llevar a cabo las funcionalidades particulares de cada uno de los equipos.

Esto se visualiza en el interior mismo de las carcasas; la electrónica de la máquina de lavado está compuesta por la placa electrónica, el botón monomando, un conector para la fuente de alimentación y un motor paso a paso (NEMA 17) con la mecánica pertinente ya estudiada en los casos anteriores.

La presencia del motor paso a paso denota el comportamiento durante el lavado ya observado en los dos equipos previamente estudiados, ya que generará una turbulencia giratoria en el fluido que deberá cambiar de sentido una o más veces dependiendo del tiempo total de la programación. Adicionalmente, un avisador acústico oculto notificará el fin de los procesos.

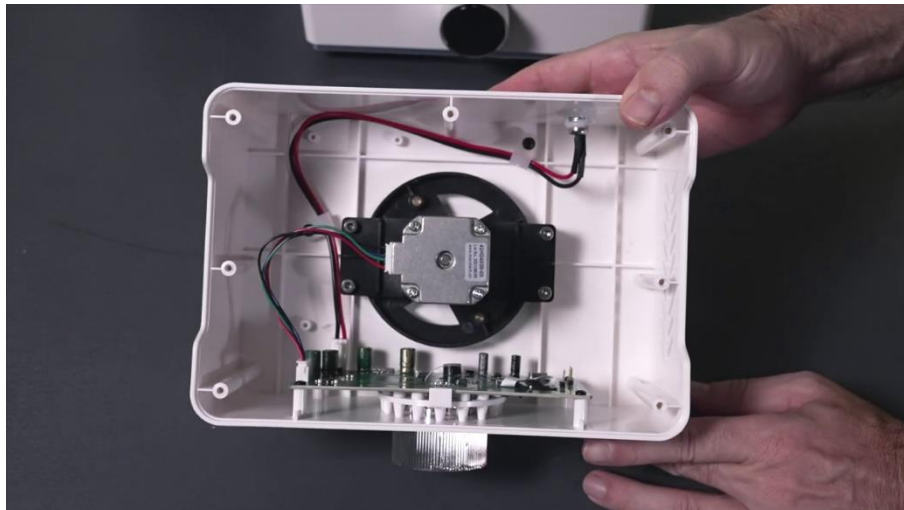


Ilustración 73 - Elegoo Mercury X Wash Station (Interior) [Youtube: Just Vlad]

El interior de la base de la máquina de curado no es demasiado diferente a lo que ya se ha visto en la máquina de lavado, en este caso se dispone de la placa electrónica, un conector para la alimentación, un motor (en este caso de corriente continua) y las correspondientes matrices LED de iluminación UV-A.

En el uso de un motor de corriente continua puede apreciarse la intención de Elegoo por recortar los costes no esenciales de los equipos, ya que únicamente en este equipo será necesario que el motor gire en un único sentido a una lenta velocidad, como ya se observaba en el comportamiento de los equipos previamente analizados.

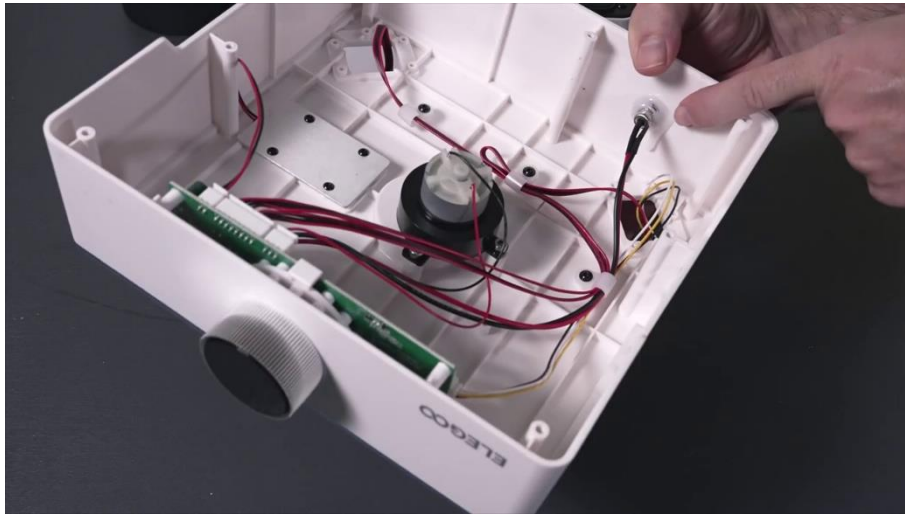


Ilustración 74 - Elegoo Mercury X Cure Station (Interior) [Youtube: Just Vlad]

Si se observa la parte superior de la base de las máquinas se encuentra con una superficie completamente plana y blanca. En esta primera, Elegoo integra una característica que puede resultar muy ventajosa en el curado de piezas con una geometría compleja, una matriz LED bajo la plataforma giratoria, a lo que se tiene que sumarle un interesante montaje de las torres con el resto de las matrices LED, y un sensor IR de detección de cámara cerrada, que el usuario tendrá que ensamblar previo cualquier uso del aparato.

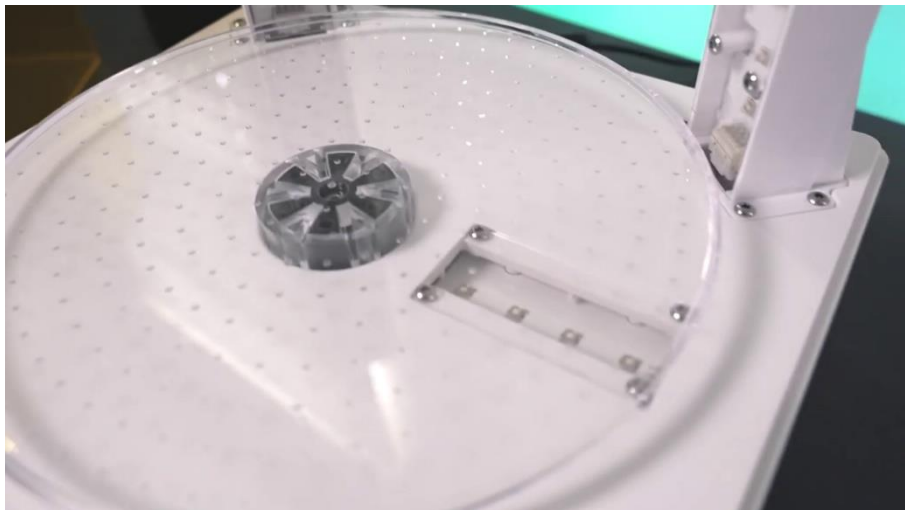


Ilustración 75 - Elegoo Mercury X Cure Station (Superficie Superior) [Youtube: Just Vlad]

Desarrollo del Proyecto



Ilustración 76 - Elegoo Mercury X (Barras Matrices LED) [Youtube: Just Vlad]

Por último, en el análisis de las diferentes estructuras se podrá prestar atención al diseño del agitador que se ubica en el fondo del recipiente de la máquina de lavado, con una apariencia un poco distinta a los otros dos que se ha estudiado. En este caso, se trata de un anillo dividido en sus cuatro cuadrantes por unos nervios que representan las barreras que generarán el movimiento del volumen de agua en el que esté sumergido.



Ilustración 77 - Elegoo Mercury X Wash Station (Pieza Agitadora) [Youtube: Just Vlad]

En cuanto a las especificaciones técnicas, Elegoo proporciona en su página web la siguiente información sobre la máquina de lavado:

- Potencia de 12W.
- Dimensiones de la máquina: 225 x 155 x 385.5 (mm).
- Volumen de lavado: 180 x 121 x 153 (mm) (con plataforma) / 201 x 124 x 255 (mm) (sin plataforma).

Para la máquina de curado también se nos ofrece la siguiente información:

- Potencia de 36W.
- Dimensiones de la máquina: 246 x 230 x 363.5 (mm).
- Volumen de Curado: 200 (diámetro) x 260 (mm).

De nuevo, señalar que el coste de estos equipos no supera, grupalmente, los 200€.

5.2. FASE 2 - PLANTEAMIENTO PRIMIGENIO DEL CONJUNTO DE COMPONENTES

Siendo esta segunda fase en el diseño de la máquina propuesta una de las más breves, no se pretende dar a entender que tenga menos importancia en el cómputo global del diseño. En este apartado se va a extraer las ideas principales para las componentes observadas en los ejemplos de equipos comerciales ya disponibles en el mercado.

Este paso es, por tanto, un puente que deberá unir de la forma más suave y natural posible la exposición de los antecedentes y el planteamiento de los diagramas de bloques que comenzarán a dar una estructura organizada de la máquina de postprocesado.

5.2.1. Síntesis de Componentes de los Antecedentes

La primera tarea que se deberá plantear, para lograr obtener una mínima lista de componentes provenientes de los antecedentes analizados, será la de reducir al máximo posible la morfología y el sentido de los bloques operativos de estas máquinas. Y es que se deberá retraer, alejar, el punto de vista perdiendo el detalle a los componentes más pequeños que más tarde se encuentra; un símil al dibujado de formas básicas en artes gráficas antes de ahondar en detalles de un boceto más avanzado.

Por tanto, la primera segmentación que se deberá hacer será la existente entre la cámara de trabajo donde se llevará a cabo el lavado y el curado y, en segundo lugar, la caja negra o electrónica donde se encontrarán los diferentes elementos electrónicos que permitirán funcionar a la máquina sin que el usuario pueda llegar a ver directamente la mayoría de ellos.

En cada uno de este espacio va a ser necesario que existan diversos elementos que conformen las unidades funcionales básicas que quedarán expuestas en el próximo punto de esta segunda fase. Y, a su vez, estas unidades básicas se encargarán de cada uno de los mecanismos electrónicos o físicos que permitirán llevar a cabo las tareas de trabajo.

Pero, antes de entrar en detalle en estas unidades básicas, cabe destacar otra segregación de elementos que permitirá aproximar mucho más los bocetos más básicos de los diagramas de bloques. Esta nueva segmentación es que la que marcará entre los elementos que se denominan activos, por su directa implicación en la actividad que se desea realizar, véase lámpara UV, el radiador eléctrico o el motor paso a paso; y los elementos pasivos, que serán aquellos cuya implicación será necesaria como medios de contención, seguridad, carcasas y plataformas de soporte. De esta forma, resulta natural imaginar que la concentración de los elementos electrónicos va a estar principalmente focalizada en el primer grupo y los elementos mecánicos en el segundo.

En la futura realización de los diagramas de bloques, este segundo grupo no va a tener una representación a causa de que no es necesaria para comprender cómo funcionará la máquina a nivel conceptual, además de poder provocar incompatibilidades por pretender adelantar fases de diseño posteriores. Por tanto, por el momento se dejará a este conjunto de elementos en pausa, centrándonos en el primero.

Ahora, para definir estas unidades básicas convendría recordar las competencias adquiridas acerca de lo que significa realizar un postprocesado de una pieza impresa en resina. En breves palabras, se trata de dos procesos en total donde intervienen tres transformaciones de la energía eléctrica para lograr el objetivo de conferir a las piezas las propiedades finales que se desean. Estas transformaciones de la energía eléctrica son en forma de movimiento, para producir una corriente en el disolvente que limpie la pieza y para girar una plataforma que cure uniformemente la superficie de la figura, en forma de iluminación, para permitir un curado secundario que afiance la estructura del material y, por último, en forma de calor, para poder llevar más allá este curado secundario.

Adicionalmente, para controlar estas variables se necesitará un núcleo de procesamiento de la información y gestión de la energía. Y, además, también será preciso una fuente de alimentación que de suministro eléctrico a la máquina y un hipotético bloque de relés que permita controlar aquellos flujos de corriente más grandes que, de otro modo, no pudieran ser gestionados.

Y aquí quedan expuestos, conceptualmente, las diferentes unidades básicas funcionales que necesitará y deberá tener el equipo a diseñar para poder cumplir sus funciones básicas.

5.2.2. Listado de Grupos Elementales de Componentes

Una vez identificadas las unidades básicas de funcionamiento para la máquina que se pretende diseñar es necesario organizarlas un poco, darles una breve identidad y dotarlas de los componentes, en su concepto más básico, que les permitirían funcionar esta fase donde, todavía, se está trabajando sobre el papel.

5.2.2.1. Fuente de Alimentación

Como su propio nombre indica, es la unidad encargada de proveer de energía eléctrica al resto del sistema. En este caso, según lo que se ha observado en los antecedentes, tanto los equipos de Formlabs, Anycubic y Elegoo incorporaban una fuente de alimentación externa a la máquina que por un extremo se conecta a la red eléctrica y por el otro directamente a la máquina.

La función de este elemento intermedio es el de transformar los 220V de corriente alterna en una tensión de continua de servicio mucho más manejable que pueda ser utilizada por los elementos electrónicos del interior. Sin embargo, es posible imaginar que dentro de la caja electrónica exista alguna fuente conmutada que rebaje esa tensión de servicio a una inferior cuyo objetivo sea el de alcanzar los elementos de procesamiento, como el microprocesador o el motor paso a paso.

Inicialmente, tomaremos este bloque como uno solo para, más tarde, segregar las fuentes de alimentación que sean necesarias.

5.2.2.2. Bloque de Relés

El bloque de relés representa los elementos necesarios para gestionar aquellas corrientes lo suficientemente grandes como para escaparse de la definición de corrientes de control. Flujos de energía que se podría encontrarnos circulando en torno al microprocesador u otros elementos delicados que necesiten más de 5V para funcionar.

Habida cuenta de las necesidades de nuestra máquina resulta natural pensar que necesitaremos varios de estos elementos para permitir funcionar tanto al sistema de iluminación como al de calefacción.

Según sea necesario en la fase de diseño electrónica, identificaremos con mayor precisión la naturaleza de estos componentes.

5.2.2.3. Placa Base

Definimos este bloque inicialmente como el conjunto de elementos encargados de la gestión del resto de componentes destinados a llevar a cabo las tareas del postprocesado, donde inicialmente también incluiremos la interfaz de usuario para que este pueda comunicarse con la máquina.

Deducimos la siguiente lista de elementos:

- Unidad Central de Procesamiento (CPU).
- Pantalla.
- Selector mecánico rotativo.
- Avisador acústico.

5.2.2.4. Bloque de Iluminación

Este bloque contendrá los elementos activos que permitirán el curado mediante iluminación de la figura introducida en esta máquina. En los diferentes equipos observados en los antecedentes se ha podido apreciar que en todos ellos se empleaban fuentes de iluminación LED, por su sencillez de uso, precisión en la longitud de onda emitida y bajo consumo. También, se ha podido observar cómo cada uno de los equipos integraba estos elementos de forma particular, según creían conveniente sus respectivos equipos de diseño.

Y además, otra constante que se ha observado en todos ellos ha sido el nivel de seguridad que aporta el no permitir que el proceso de curado esté activo cuando la campana protectora esté retirada, por lo que los elementos que inicialmente se tendrá en cuenta dentro de este bloque serán:

- LED's UV-A.
- Sensor de detección de volumen cerrado.

5.2.2.5. Bloque Motriz

Este bloque, siendo un poco más sencillo que el anterior, marca un nexo entre los dos procesos que forman parte del postprocesado, ya que en ambos es necesario un motor que permita remover el disolvente o rote la plataforma sobre la que se depositan las piezas para que estas puedan curarse del modo más uniforme posible.

Por lo que la reducción máxima de este bloque sería la identificación de un motor para permitir dicha fuerza de movimiento. Más adelante se añadirán otros elementos que posibiliten la gestión del movimiento de este componente.

5.2.2.6. Bloque Térmico

Por último, este bloque contendrá los elementos activos que permitirán el curado mediante el calentamiento de la atmósfera en torno a la figura introducida en la máquina. De todos los equipos analizados en los antecedentes, el único que constaba con esta tecnología era la Form Cure de Formlabs, que integraba en la parte superior de la cámara de curado, oculto, un mecanismo de convección para calentar el receptáculo.

Y es que a pesar de que no se nombran cómo está construido ese sistema en concreto, por su morfología externa y modo de funcionamiento se puede entrever los componentes de los que consta y que también deberá incluir el equipo propuesto para este trabajo.

- Ventilador.
- Radiador eléctrico.
- Sensor de Temperatura.

5.3. FASE 3 - PLANTEAMIENTO FUNCIONAL DEL CONJUNTO DE COMPONENTES

Esta fase, cuyo propósito es el de continuar la labor que se empezó en la segunda, retoma el trabajo justo en el último punto. Una serie de propuestas sobre las unidades básicas de funcionamiento que se levantaban sobre algunos de los antecedentes previamente analizados pero que, de forma evidente, todavía no constituyen una idea lo suficientemente sólida como para impulsarse por sí misma.

En esta tercera fase se retomarán las últimas ideas propuestas organizándolas en diagramas del bloque que permitirán refinar el concepto subyacente detrás de estas, diagramas que expandirán la aproximación sobre el funcionamiento y la verdadera naturaleza de la máquina objeto de este trabajo.

5.3.1. Diagrama de Bloques de Alto Nivel

Comenzando por este primer diagrama, el de alto nivel, servirá para generar una estructura básica mínimamente funcional que nos permita establecer relaciones lógicas y naturales entre los diversos elementos que se ha mencionado previamente.

Todavía no se profundizará en una descripción más detallada de estos ni tampoco se revelará su condición, como podría ser el caso del motor del bloque motriz útil para las dos fases del postprocesado.

Sin embargo, si que se dotará de suficiente detalle al diagrama en materia de diferenciar las diferentes conexiones entre los bloques, ya que desde el primer momento es un paso muy necesario. A estos efectos, contaremos con dos tipos de corrientes de alimentación, una de servicio y otra de control, además de aquellas que exclusivamente tengan utilidad como transmisoras de información.

Antes de mostrar directamente el diagrama, resaltar que se ha seguido la misma estructura que la ilustrada en el punto 5.2.2 perteneciente a la segunda fase, es decir, se han dispuesto de forma organizada las unidades básicas de funcionamiento.

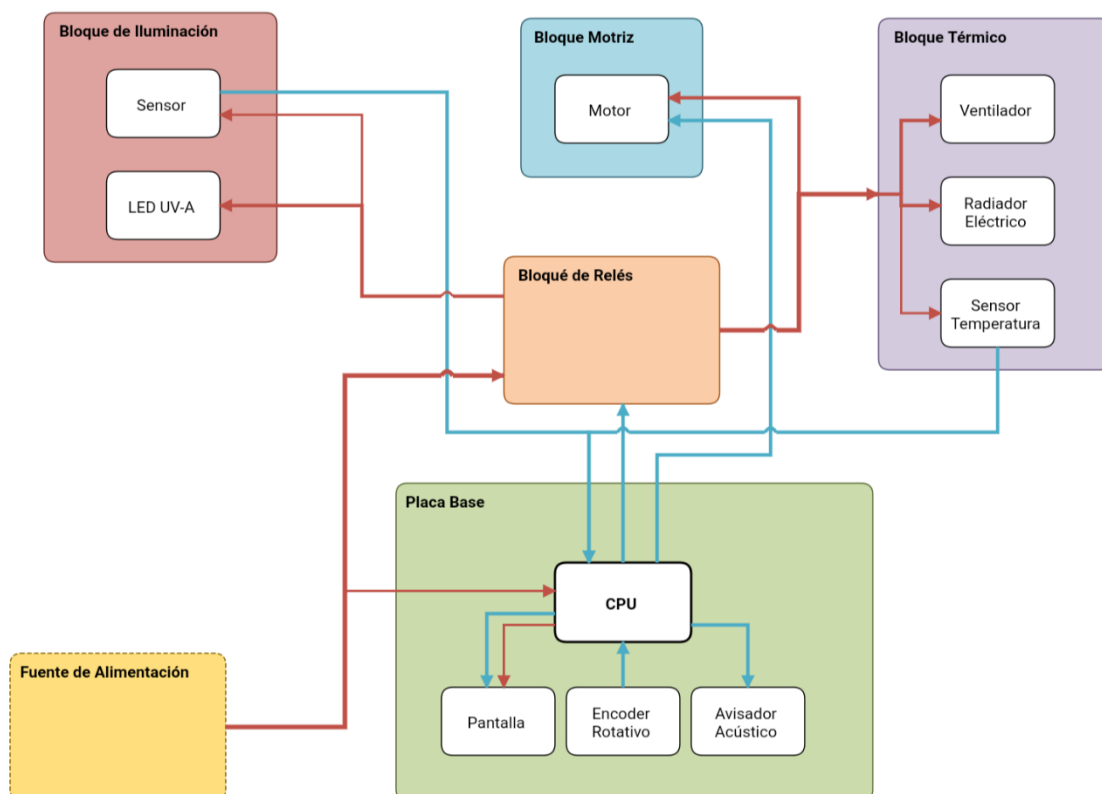


Ilustración 78 - Diagrama de Alto Nivel

Como se puede observar, se muestra un organigrama en sus primeras fases de desarrollo. Se han dispuesto todas las unidades básicas mencionadas en la fase 2 de modo que ahora es posible identificarlas más rápidamente, habiendo quedado los elementos que intervienen directamente en las dos etapas del postprocesado en la parte superior, los elementos que gestionan y controlan estos anteriores en la parte central y, finalmente, la fuente de alimentación visiblemente alejada denotando, además, por su reborde discontinuo que no estará incluida en el interior de la caja electrónica.

Esta última decisión queda evidenciada por las repetidas ocasiones en la que se ve este caso en los antecedentes, cuando la fuente de alimentación que rebaja la tensión en corriente alterna de 220V a una tensión de servicio más cómoda está alojada en un transformador portátil exterior.

En cuanto al resto, lo que más llama la atención es la diferencia que se halla entre los múltiples nexos que conectan los bloques funcionales; el rojo será utilizado para aquellas conexiones que impliquen suministro de energía llegando a añadir un nivel más de detalle si se presta atención en el grosor de estas líneas, un mayor grosor denotará la tensión de servicio mientras que uno menor será la que llegará a los elementos de control, preservando así su integridad y durabilidad.

Las líneas azules denotan conexiones que transportan datos, independientemente su procedencia o naturaleza. Aunque, como se ve, la mayoría de ellas dan a interpretar que se está ante una topología de estrella donde el núcleo de procesamiento es la CPU, que más adelante cobrará una identidad más definida.

El "Bloque de Relés" queda todavía a merced de una mayor revisión en cuanto al posicionamiento de estos elementos que ahora ya cobran más sentido, aunque aún estén muy vagamente representados.

5.3.2. Diagrama de Bloques de Medio Nivel

Para el segundo diagrama de bloques, el medio nivel, se pretenderá aumentar un poco el nivel de definición que se percibe sobre los elementos mostrados en el diagrama de bajo nivel. Todavía no consiste en dotar de una identidad demasiado definida a los componentes, ya que todavía sería necesario llegar a identificar qué clase de componentes estaríamos tratando.

Por ello, va a ser necesario aumentar el número de bloques dentro de las unidades básicas de funcionamiento, en parte por la necesidad de orientar de mejor forma el bloque de relés que previamente nos mostraba la problemática de quedar situado en el centro del diagrama.

Por otro lado, será necesario dotar de mayor profundidad al código de colores que nos ayuda a estudiar las conexiones entre los diferentes bloques, para lo que diferenciaremos entre las conexiones capaces de transmitir información en sentido a la Unidad Central de Procesamiento (amarillo) y las salientes de esta (azules).

A continuación, se presenta el diagrama trabajado.

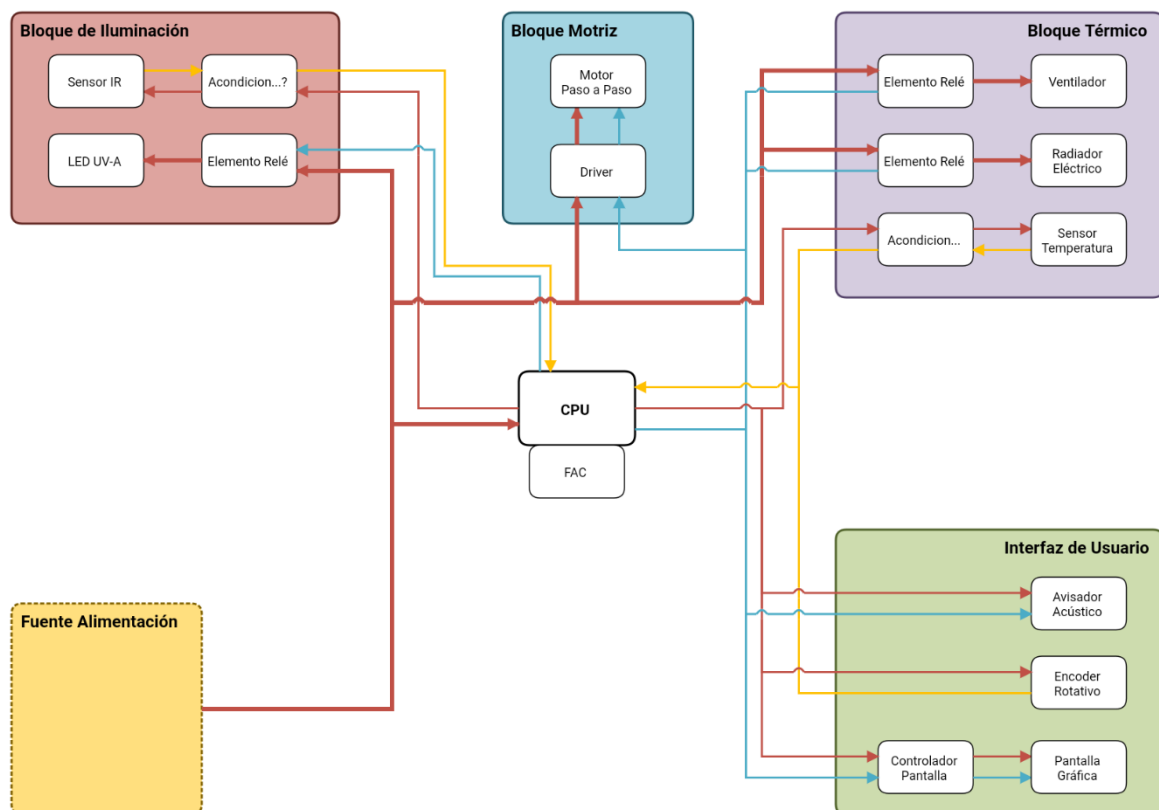


Ilustración 79 - Diagrama de Medio Nivel

Como se puede ver, ya alcanza una mayor complejidad que la observada en el diagrama de bajo nivel, a consecuencia de que se muestran bastantes más elementos. Esto es producto de definir con mayor precisión la lógica de conexión y funcionamiento dentro de los bloques con más relevancia actuadora dentro del sistema, es decir, el de iluminación, motriz y térmico.

Comenzando por este último, se observa cómo para el ventilador y el radiador eléctrico se ha planteado el uso de relés que permitan conectar estos elementos con la corriente de servicio de forma segura sin la necesidad de atravesar la CPU o cualquier otro elemento más sensible. Para el sensor de temperatura, todavía sin definir, se ha previsto un acondicionamiento cuya presencia, o ausencia, será próximamente evaluada según la selección de dicho sensor.

De igual modo, al definir la naturaleza del motor eléctrico en el bloque motriz también se ha incrementado el número de elementos dentro de este. Se selecciona un motor paso a paso siguiendo varios criterios, comenzando por lo observado en los antecedentes donde la gran mayoría de las máquinas integraban uno de ellos. Y es que resulta muy sencillo, en comparación a un motor de escobillas convencional de DC, controlar este tipo de motores mediante el controlador apropiado.

Por otro lado, y a consecuencia de esta última conclusión, un motor paso a paso es ideal para la fase de lavado donde se necesita un elemento giratorio capaz de ser controlado en ambos sentidos dentro de unos márgenes de tiempo determinados, girar a varias velocidades (velocidades distintas en lavado y curado) y facilidad de implementación.

En el diagrama de bajo nivel se procederá a definir la naturaleza del controlador que contralará el movimiento del motor paso a paso.

El último de los bloques que tienen impacto directo en ambas fases del postprocesado es el de iluminación que, al igual que sus homólogos, también ha sufrido varios cambios. De nuevo, es posible observar cómo se ha introducido un "elemento relé" para denotar un componente que gestionará el flujo de corriente que acceda a los LED's UV-A que permitan llevar a cabo el curado secundario. Adicionalmente, se define la naturaleza del sensor que detectará si la cámara de trabajo de la máquina se encuentra sellada, en esta ocasión se decide un sensor IR.

Reiteradamente se acude a los antecedentes para comprobar cómo tanto la Wash & Cure de Anycubic como el equipo de curado de Elegoo cuentan con sistemas de detección infrarrojos, un elemento de bajo coste que permitirá hacer la función que se pretende correctamente.

Desarrollo del Proyecto

Previa identificación de este sistema se señala un posible acondicionamiento cuya existencia, o ausencia, se clarificará en el diagrama de bloques de bajo nivel.

En el centro del diagrama ahora se ubica la Unidad Central de Procesamiento (CPU), cuya identidad todavía no ha quedado definida, a la que se le ha adherido una fuente conmutada genérica que representa la conversión de la tensión de servicio a una que pueda ser empleada por los elementos electrónicos que precisen de una tensión de 5V para trabajar. Su proximidad a la CPU denota no solo su presencia dentro de la "caja negra" del aparato, sino también su importancia como uno de los elementos más necesarios en el futuro sistema electrónico.

En penúltimo lugar, el bloque titulado como "Interfaz de Usuario" que contiene los elementos más cercanos al usuario de esta máquina. Se puede ver cómo el único elemento que ha sufrido una alteración es el denominado como "pantalla gráfica", al que ahora le acompaña otro bloque denominado "controlador pantalla" en espera de definir la verdadera identidad de dicho bloque principal.

Por último, se hace referencia a la fuente de alimentación que, al igual en el diagrama de bajo nivel, todavía es visible en la parte inferior izquierda del marco y, además, está limitado por una línea discontinua que denota su ausencia dentro de la caja negra de la máquina por motivos ya citados anteriormente.

5.3.3. Diagrama de Bloques de Bajo Nivel

El último de los diagramas de bloques, el de bajo nivel, trabaja en buena parte sobre el diagrama de medio nivel en tanto en cuanto se basta principalmente de la estructura y elementos que han sido representados en él.

Por ende, su labor será la de definir de una forma más precisa la identidad de muchos de los elementos que hasta ahora se había considerado genéricos. En referencia a la estructura ya observada en el diagrama de medio nivel y el código de colores para identificación de las conexiones de los bloques, es necesario resaltar que se procurará mantener la misma siempre que no sea necesario alterarla.

A continuación, se representa el diagrama trabajado.

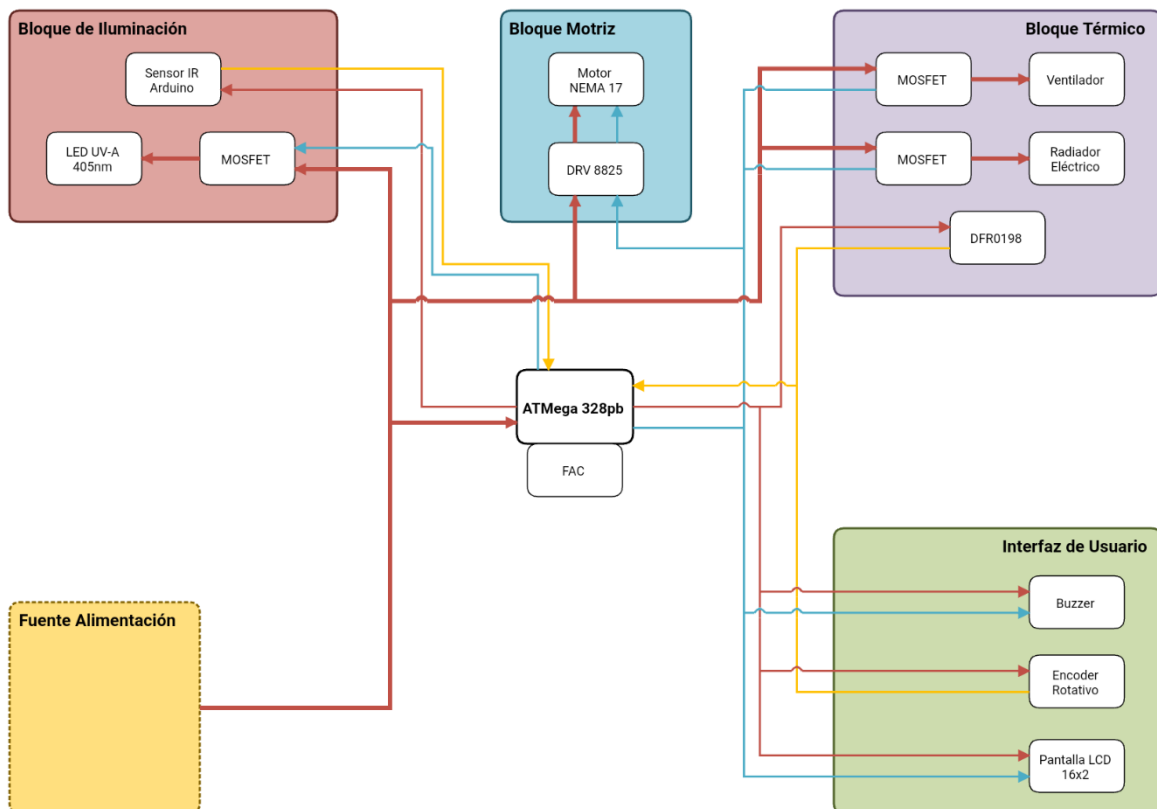


Ilustración 80 - Diagrama de Bajo Nivel

Comenzando por los bloques de la parte superior, es decir, los que actúan más directamente sobre las dos fases del postprocesado, se observa varios cambios en el bloque térmico.

Desarrollo del Proyecto

El primero de ellos relaciona una mayor aproximación de los elementos encargados de las corrientes de servicio que alimentarán a los dispositivos que más consuman, el ventilador y el radiador eléctrico; el elemento genérico que hasta ahora se observaba ha sido sustituido por otro llamado "MOSFET", que viene a indicar que su naturaleza será enteramente electrónica, es decir, se descarta el uso de un relé mecánico por evidentes razones de vida útil, sonoridad y posibles fallos.

El segundo de los cambios observables es la definición del sensor de temperatura, que ahora ha quedado como DFR0198. Este sensor no ha sido seleccionado en base a los antecedentes, sino por su sencillez de uso, programación y no necesidad de acondicionamiento adicional. Su rango de medida es más que apropiado para esta aplicación, pudiendo llegar a medir hasta $-55^{\circ}\text{C}/125^{\circ}\text{C}$, unas temperaturas que no se llegarán a alcanzar con seguridad en el interior de la máquina.

En el bloque motriz se ha actualizado la definición del motor paso a paso, indicando ahora sus dimensiones "NEMA 17", idea obtenida de los antecedentes. Adicionalmente, se ha seleccionado el controlador DRV8825 para gestionar el movimiento del motor paso a paso por su sencillez de uso, facilidad de implementación y experiencia personal del autor, habiendo podido observar los buenos resultados que estos dispositivos arrojan en el control de los motores de las impresoras 3D.

En el bloque de iluminación también se puede apreciar algunos cambios. Los LED's UV-A han adoptado el sufijo de "405nm" en referencia a la longitud de onda para la cual estos deberán estar contruidos. Un elemento "MOSFET" acompaña al bloque de los LED's siguiendo las mismas motivaciones que han sido explicadas para el ventilador y el radiador eléctrico en el bloque térmico. Por otro lado, se ha seleccionado el sensor IR diseñado para funcionar con Arduino a consecuencia de la compatibilidad con el procesador seleccionado, su facilidad de empleo y la falta de necesidad de un acondicionamiento adicional.

El procesador, que anteriormente aparecía de forma genérica, ha quedado definido como "ATMega328pb"; una versión del microprocesador ATMega328p que integra mejoras en materia de [32]:

- Nuevos pines de conexión.
- Más posibilidades de periféricos.
- Mecanismos de detección de fallos más sofisticados.
- Mecanismos de temporización adicionales.
- Nuevos modos de ahorro de energía.
- Otras mejoras internas.

Por lo que se ha considerado esta versión alternativa del microprocesador en aras de la experimentación y como medida preventiva ante posibles necesidades que puedan surgir de acuerdo con la programación y otras relaciones derivadas con los dispositivos periféricos que serán conectados.

De nuevo, la fuente de alimentación conmutada aparece muy próxima al microprocesador denotando las mismas motivaciones resaltadas en el diagrama de medio nivel.

En penúltimo lugar, en la interfaz de usuario se ha actualizado la definición de la pantalla gráfica clave para comunicar al usuario el estado del sistema, así como que este pueda interactuar con la máquina. Se ha decidido de acuerdo con la sencillez en su implementación, a la falta de acondicionamiento adicional que acostumbran estos periféricos y su compatibilidad con el microprocesador elegido, que la pantalla sea una LCD de 16x2 caracteres. Se trata de una pantalla de extendido uso entre la comunidad que hace uso de la plataforma de programación experimental de Arduino.

Por último, identificamos la fuente de alimentación externa bajo las mismas condiciones que en los casos anteriores.

De este modo, finalmente queda definido un organigrama de la máquina propuesta a diseñar que relaciona todos los bloques principales con un propósito concreto, una coherencia y una identidad que, más adelante, deberá seguir confirmándose.

5.4. FASE 4 - DISEÑO DE LA ELECTRÓNICA DEL SISTEMA

El diseño de la electrónica de un sistema persigue el último objetivo de concebir un sistema electrónico que permita satisfacer las necesidades de la máquina que, en conjunto, se pretende llegar a obtener. Se estaría hablando del conjunto de componentes dispuestos, o no, en una placa de circuito impreso, estableciendo dentro de esta uno o varios grupos funcionales que permitan al operario conseguir su propósito.

En la fase pertinente al diseño de la electrónica del sistema de este trabajo se considerará que se ha obtenido un resultado satisfactorio en el momento el que se haya diseñado el número de placas de circuito impreso necesarias para que la máquina de postprocesado sea capaz de realizar las funciones para las cuales se prevé su uso.

Por tanto, para facilitar el trabajo de esta fase y el entendimiento de lo explicado por parte del usuario se va a plantear una serie de puntos que, progresivamente, van a evolucionar el conocimiento que se tiene hasta este punto del desarrollo del proyecto tomando como base lo último conocido al respecto, es decir, los diagramas de bloques en los que se bocetaron con ya cierto nivel de detalle los componentes más relevantes de las unidades básicas de funcionamiento (bloques) de la máquina.

Esta fase se estructurará bajo los siguientes puntos.

- Selección de Componentes.
- Diseño de los Esquema en KiCAD.
- Diseño de las Placas de Circuito Impreso (PCB) en KiCAD.

Finalmente, se añadirá un punto que hablará sobre las diversas impresiones personales en el uso del programa KiCAD a lo largo de la creación de todo este material.

5.4.1. Selección de Componentes

En este primer punto, la selección de componentes, se pretende retomar el boceto de la enumeración de los elementos que formarán parte del sistema electrónico de la máquina cuyo planteamiento quedó pendiente en el diagrama de bloques de bajo nivel.

Por lo que, tal y como se comentó en las últimas líneas de dicha parte, es el propósito actual el de dotar de mayor profundidad e identidad a los diversos bloques, o unidades básicas, que aparecían en dicho diagrama. Todo esto con el pretexto final de predisponer los diagramas electrónicos que se crearán en el siguiente punto.

Para ello, se va a retomar la estructura de bloques a la que se llegó en conclusión en el diagrama de bajo nivel, expandiendo la lista de componentes para cada uno de estos bloques donde ya había algunos prefijados. Sin embargo, no sería apropiado analizar cada uno de los sistemas en potencia sin un método que permita ir organizando toda la nueva información, para lo que se seguirá el próximo esquema ideológico.

- Inicialmente, se describirá la necesidad actual.
- En segundo lugar, se recordará el punto hasta el cual ya se ha llegado en el diagrama de bajo nivel.
- En tercer lugar, se planteará una solución, así como su funcionamiento general.
- A continuación, se seccionará dicha solución entre las diversas partes que contendrá el sistema respuesta.
- Por último, se confeccionará una lista con los componentes seleccionados para cada una de estas partes.

De modo que, una vez planteada la metodología que se va a seguir, se procede con la selección de componentes para cada uno de los bloques planteados en el diagrama de bajo nivel.

5.4.1.1. Alimentación

Siendo este el único bloque vacío dentro del diagrama de bajo nivel resulta interesante destacar que su importancia es elevada dentro del sistema al completo. Esto es así, ya que será el encargado de no solo alimentar al sistema en dos niveles de tensión, sino también de asegurar una correcta gestión entre la alimentación proveniente del conector principal y del USB para transferencia de datos en caso de ser necesitado.

Se secciona este bloque, por tanto, en los siguientes subsistemas.

- Alimentación Entrada 12V.
- Fuente Conmutada (12V a 5V).
- Switch Electrónico para la Alimentación.

5.4.1.1.1. Alimentación Entrada 12V

Este subsistema será el primer contacto con la máquina para la corriente que ya haya atravesado el transformador externo. Sin embargo, sería un grave error no pensar en instalar un subsistema que asegure un mínimo nivel de seguridad ante accidentes por una polaridad inversa o, por otro lado, una sobretensión o sobrecorriente.

De los dos mecanismos planteados, el de mayor complejidad será el primero de ambos, ya que únicamente será necesitado un fusible para este segundo. Ahora, en busca de un sistema que proteja contra una polaridad inversa de la alimentación existen varias alternativas a escoger. Sin embargo, en aras de cumplir con un estándar lo suficientemente exigente en materia de seguridad se va a optar por el siguiente método de protección.

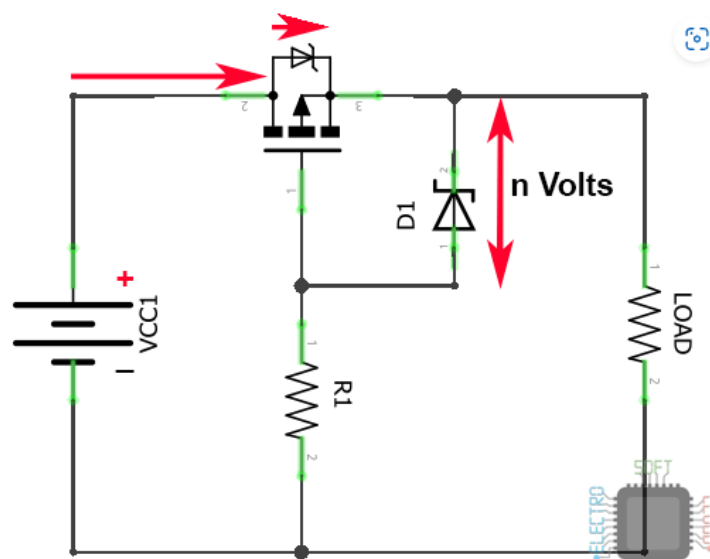


Ilustración 81 - Protección de Polaridad Inversa con MOSFET [33]

El funcionamiento del esquema superior es, en realidad, bastante simple, llegando a contar únicamente con 3 elementos esenciales, como se puede apreciar, un MOSFET de tipo P, un diodo y una resistencia.

Cuando la conexión de la alimentación al sistema es la adecuada la corriente atraviesa el MOSFET de izquierda a derecha al estar polarizado en directa incrementando la diferencia de tensión base/emisor y alcanzando un punto óptimo de saturación en el que apenas se produce caída de tensión. Sin embargo, cuando la conexión se realiza de forma inadecuada la diferencia de tensión base/emisor será nula, lo que provocará que tanto el MOSFET como el diodo entren en corte, no dejando a la corriente volver a la fuente de alimentación.

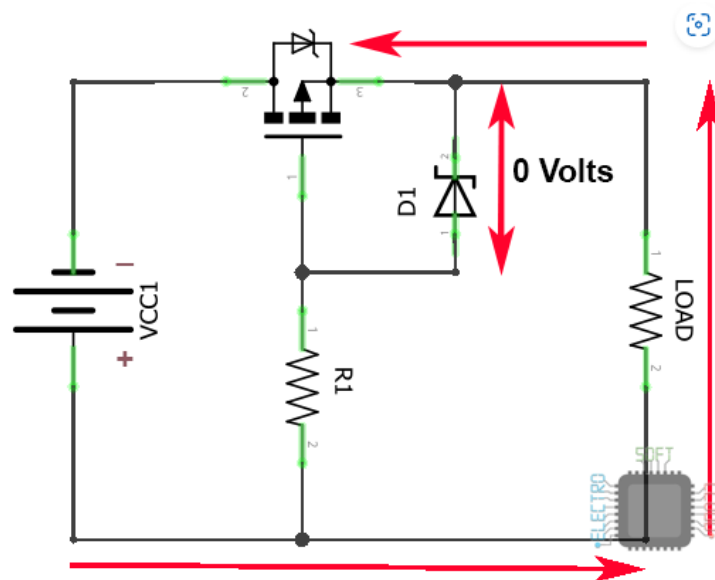


Ilustración 82 - Caso de Alimentación Inversa [33]

Una vez propuesta una solución para las dos problemáticas que planteaba este subsistema, será necesario determinar los elementos que lo conformarán. No obstante, debido a que todavía no se han determinado las características del consumo del resto de componentes no es posible aún, tarea que queda relegada para el final de este punto.

5.4.1.1.2. Fuente Conmutada (12V a 5V)

La fuente conmutada principal será la encargada de suministrar un nivel de tensión adecuado a todos los elementos de control que así lo requieran, llegando a transformar la tensión de servicio de 12V a 5V. Se prevé que los elementos de control que constarán en el sistema serán los siguientes.

- Microprocesador.
- Amplificadores operacionales.
- MOSFET's, transistores, etc.
- Controlador USB.

Juntando todos estos elementos no se supone una corriente de consumo mayor a 2 amperios, una cota que estará alejada de la real debido al bajo consumo de funcionamiento de los elementos empleados.

En el diagrama de bajo nivel este subsistema se ha situado fuera del bloque que demarcaba la fuente de alimentación con motivo de diferenciarla del elemento transformador cuya ubicación se iba a encontrar fuera de los límites de la máquina. Sin embargo, ya que dentro de este bloque se está teniendo en cuenta aquellos elementos que se proponen a introducir dentro de los esquemas electrónicos y las placas de circuito impreso resulta interesante reintroducirlo.

Para determinar la naturaleza de esta fuente conmutada se va a recurrir a la herramienta informática "WEBENCH® Power Designer" que proporciona en su versión web Texas Instruments. Una vez dentro de esta herramienta, se solicita la introducción de algunos datos básicos.

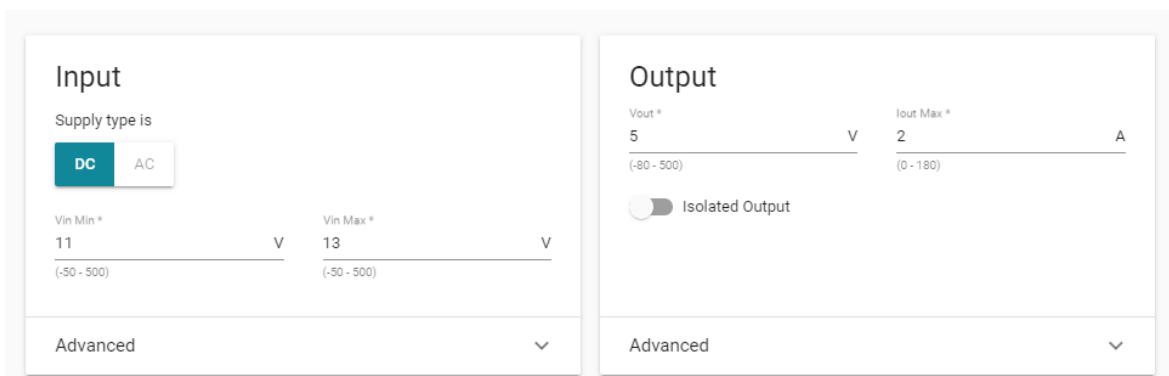


Ilustración 83 - Consola de Entrada (WEBENCH® Power Designer)

En esta primera consola se nos solicita el tipo de corriente de entrada, las tensiones mínima y máxima, la tensión de salida y la corriente de salida. En la imagen superior se puede observar los parámetros seleccionados para la creación de la fuente que se necesita en esta aplicación; para empezar, se supone un posible rizado con voltios cuya tensión nominal se encuentra en los 12 voltios, para lo que se seleccionan 11 y 13 voltios como mínimo y máximo, respectivamente.

Para el valor de la tensión se seleccionan 5 voltios, dada su utilidad en los elementos de control. Por otro lado, para el valor del consumo se toma como límite los 2 amperios previamente mencionados.

Tras esto, se le indica al programa que calcule múltiples soluciones que terminará mostrando por pantalla. De todas las que llegan a figurar, por su sencillez y bajo impacto en el número de componentes utilizados, se selecciona la siguiente fuente Buck.

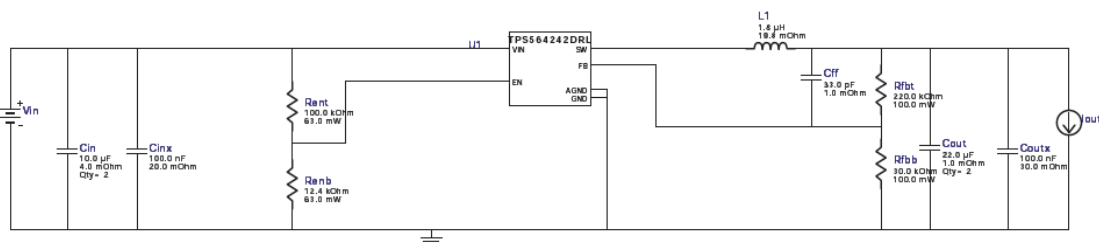


Ilustración 84 - Diagrama de la Fuente Conmutada Seleccionada (WEBENCH® Power Designer)

A resaltar de los elementos que más tarde se dispondrán en una tabla se halla el componente “TPS564242DRL”, un integrado diseñado por Texas Instruments que contine una fuente síncrona buck.

Adicionalmente, la aplicación web nos permite exportar un informe con todos los datos de la fuente conmutada seleccionada [34], la lista de componentes y múltiples gráficas simuladas con el comportamiento del sistema recientemente calculado. A resaltar, la gráfica en escala logarítmica que muestra la eficiencia de este subsistema desde los 0 amperios hasta los 2 que brinda como máximo.

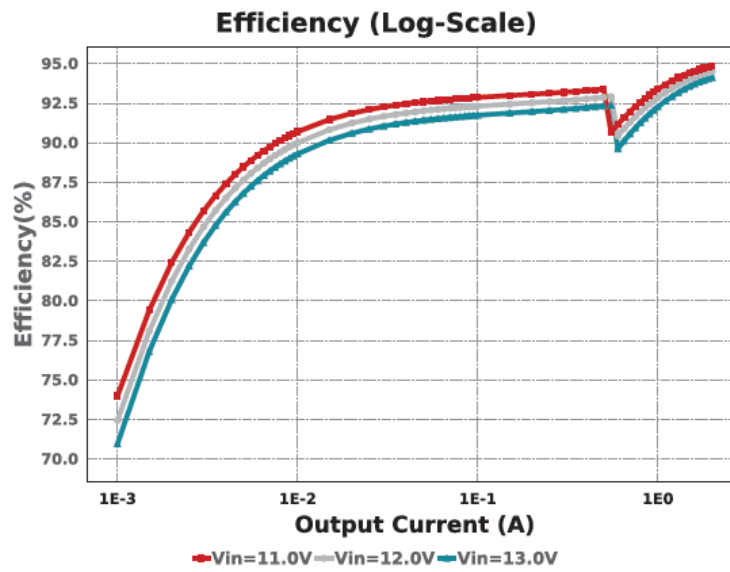


Ilustración 85 - Gráfica de Eficiencia para la Fuente Conmutada (12V - 5V) (WEBENCH® Power Designer)

La lista completa con los componentes que aparecen en esta fuente conmutada puede consultarse al final de este punto.

5.4.1.1.3. Switch Electrónico para la Alimentación

En último lugar dentro del sistema de la fuente de alimentación se deberá prestar atención al "Switch Electrónico para la Alimentación". Este subsistema es el encargado de gestionar el adecuado cambio de la alimentación entre la proveniente del conector jack principal y el USB transmisor de datos en caso de requerir actualizar el software del microcontrolador.

Este sistema, originalmente, no constaba dentro de la planificación del diagrama de bajo nivel. No obstante, su planteamiento surge de forma natural al poder producirse una colisión de las dos alimentaciones que coexisten dentro del sistema al completo.

Para poder abordar este problema, se tomará como ejemplo el sistema implementado dentro del esquema electrónico de Arduino UNO Rev3 [35], cuyo propósito es idéntico al nuestro.

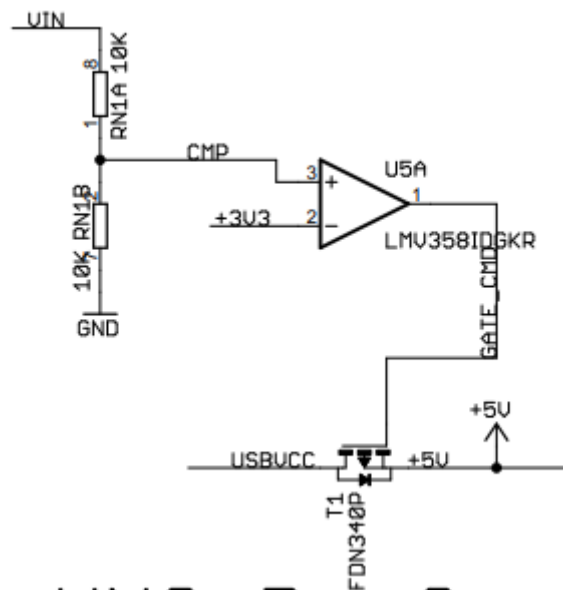


Ilustración 86 - Switch Electrónico de Alimentación Arduino UNO Rev3 [35]

El funcionamiento de este subsistema guarda cierta similitud con respecto al subsistema de protección frente a polaridad inversa. Cuando el jack para la alimentación principal no está conectado, los niveles de tensión a la salida del amplificador operacional causan que el MOSFET esté en conducción, permitiendo que la tensión que proviene del USB pueda alimentar al sistema.

Una vez el jack es conectado, el divisor de tensión a las puertas del amplificador operacional conectado como comparador entra en funcionamiento.

Desarrollo del Proyecto

Se establece una tensión superior a 3.3 voltios a las puertas del AO que invariablemente genera que dicho componente entre en saturación, activando a su vez el MOSFET que termina entrando en corte. De este modo, aparece una separación entre la tensión que viene el USB y la que proviene del jack de alimentación principal.

Este principio observado se empleará como método de funcionamiento para el sistema de control que se requiere dentro de este bloque. A modo de análisis de los componentes, se precisarán dos resistencias para el divisor de tensión, un amplificador operacional y un MOSFET, elementos que pueden ser observados en la tabla que recoge todos los elementos al final de este punto.

5.4.1.2. Interfaz de Usuario

El bloque relacionado con la interfaz de usuario no posee una gran relevancia dentro de los sistemas que actúan directamente sobre las etapas del postprocesado o la gestión de estos; sin embargo, no se concibe una máquina de estas características sin él.

En todas las máquinas analizadas en los antecedentes es posible observar rápidamente los controles y la pantalla posicionados en las caras frontales, del mismo modo que al terminar un programa o encender las máquinas es posible escuchar un pitido proveniente de un avisador acústico. En cualquier caso, son elementos imprescindibles para que el usuario pueda programar la máquina de modo que permita el trabajo, lea en qué estado se encuentran los procesos o sea notificado de los diferentes eventos por los que pasa el equipo.

Dados los antecedentes, se secciona este bloque en los siguientes subsistemas.

- Avisador Acústico.
- Controlador del Aparato.
- Visión de Instrucciones.

5.4.1.2.1. Avisador Acústico

Tal y como se ha comentado previamente, el avisador acústico es un elemento que se encuentra a primera vista oculto de la visión del operador dentro de la carcasa de la máquina. No obstante, la función de este elemento no merece ser pasada por alto, ya que permite notificar al usuario de los diferentes eventos no encontrándose este necesariamente delante del equipo, lo que dota al sistema de una cierta independencia.

Aunque, siendo inversamente proporcional la importancia de su existencia con respecto a la dificultad para encontrar un elemento apropiado, ya se ha logrado determinar qué clase de componente podría realizar su función dentro del sistema. Dentro del diagrama de bloques de bajo nivel el elemento seleccionado es un "buzzer", un pequeño dispositivo que hace uso del efecto piezoeléctrico deformándose, generando, en consecuencia, un característico zumbido que le da nombre.



Ilustración 87 - Ilustración de un Buzzer (De Google Imágenes)

5.4.1.2.2. Controlador del Aparato

El elemento controlador dentro de un sistema de las características que se están gestionando es un dispositivo que permite al operario interactuar directamente con la máquina, navegando por los menús habilitados y programándola a nivel de usuario para que pueda ser capaz de ejecutar sus programas bajo unos determinados preceptos que se consideran apropiados.

En este caso, resulta sencillo determinar en base a los antecedentes qué tipo de dispositivo deberá ser, ya que en todas las ocasiones se ha podido apreciar un elemento que ha marcado una constante, el encoder rotativo. Este elemento que, normalmente, también se puede encontrar dentro de los motores paso a paso, es un cilindro que se introduce en una base interiormente conectada que permite detectar pequeñas fracciones de giro con distinción de sentido, por lo que aprovechando esas señales es posible emplearlo para navegación a través de menús sencillos.

Adicionalmente, este tipo de componentes suelen llevar acoplados un pulsador que puede ser empleado como elemento confirmador de opciones.

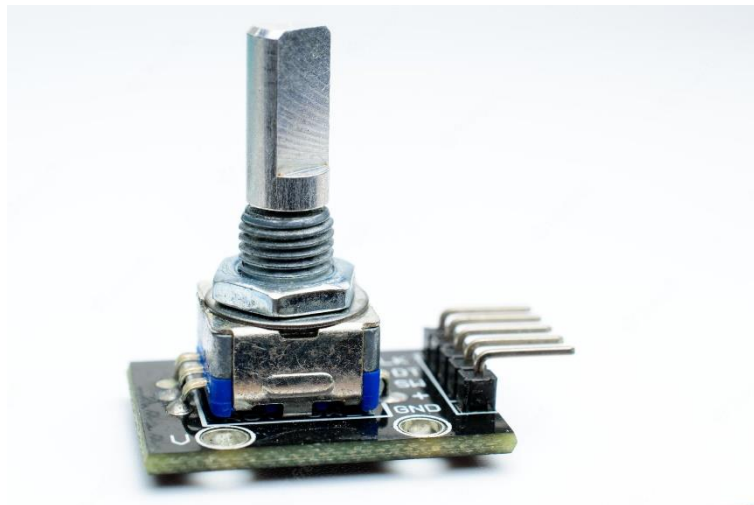


Ilustración 88 - Encoder Rotativo (De Google Imágenes)

Para conseguir que este componente funcione es necesario emplear un par de resistencias en posición "pull-up" para el encoder y otra con la misma configuración para el pulsador, a lo que se le tendrá que sumar elementos protectores contra sobrecargas por electricidad estática debido a su exposición al usuario, para lo que los diodos TVS cumplirán una buena función.

5.4.1.2.3. Visión de Instrucciones

Y finalmente, dentro del bloque de la interfaz de usuario, se va a tratar el subsistema encargado de la visión de instrucciones que, como ya se ha podido observar en los antecedentes, generalmente suele estar representado por una pantalla con mayor o menor definición. Este elemento permite al usuario conocer directamente en qué estado se encuentra la máquina, navegar por los menús de selección y haciendo más sencilla e intuitiva la tarea de programar los procesos de trabajo.

Como ya se ha comentado, dentro de los antecedentes ya se ha podido observar una cierta variedad de visualizadores que ilustran cómo pueden llegar a desempeñarse esta tarea. Desde el pequeño panel OLED que aparecía en la Form Wash/Cure hasta los módulos de 7 segmentos de la Anycubic Wash&Cure o los equipamientos de Elegoo hay una vasta selección de pantallas.

Sin embargo, si se recuerda la selección de componentes del diagrama de bajo nivel se podrá comprobar cómo ya se ha elegido la pantalla LCD de 16x2 caracteres por su sencillez en la implementación, la falta de acondicionamiento adicional de este tipo de periféricos y la gran compatibilidad de funcionamiento y programación con respecto al microprocesador elegido.

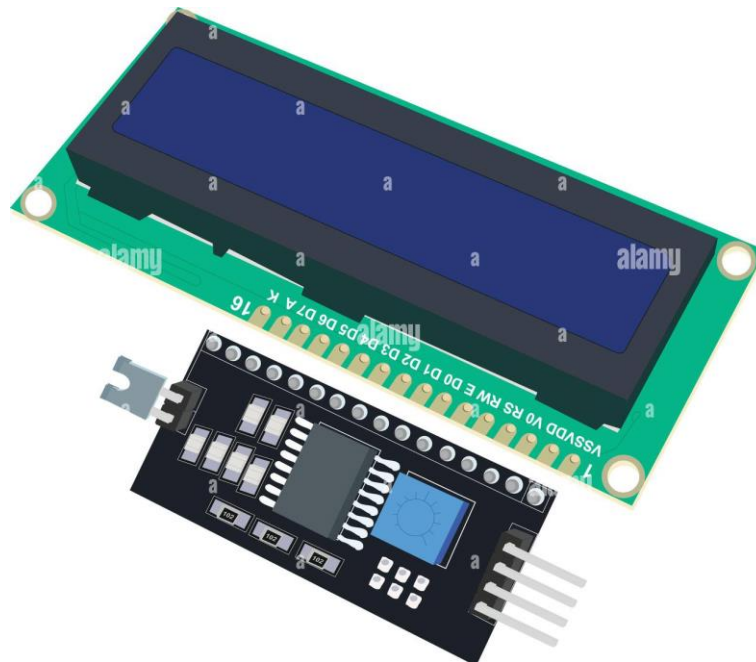


Ilustración 89 - Pantalla LCD 16x2 con su Controlador Adicional Integrado (De Google Imágenes)

Desarrollo del Proyecto

De tal forma, apenas será necesario conectar más componentes a esta pantalla dentro de los esquemas electrónicos más allá de los elementos de protección ante descargas estáticas (TVS's) y un condensador que permita filtrar la tensión de alimentación.

5.4.1.3. Bloque Térmico

El bloque térmico es una de las tres unidades básicas cuya interacción con la pieza que se introduce a la máquina para ser trabajada es directa, su función es la de llevar más allá el curado de la pieza de lo que un curado únicamente por luz UV-A podría hacerlo, llegando a mejorar sustancialmente las propiedades mecánicas. Esta afirmación ha podido ser comprobada mediante el estudio de características mecánicas practicado por Formlabs analizado en los antecedentes [20]. Además, su existencia dentro de la máquina que se está diseñando en este trabajo es el motor principal que impulsa su creación.

Por todo esto, la relevancia de su existencia dentro del sistema es elevada; no obstante, como ya se ha visto, a pesar de que el equipo de Formlabs analizado en los antecedentes sí que posee esta característica, no es algo que se pueda decir del resto de las máquinas analizadas.

De cara a plantear su inclusión dentro del sistema se va a tomar una buena referencia de la experiencia de trabajo con la Form Cure expuesta en los antecedentes. En este previo apartado, se mencionaba la existencia de tres elementos clave que permitían conseguir el logro de modificar la temperatura interna del receptáculo en el momento del proceso de curado. Estos elementos inspiran el nombre de los subsistemas que se exponen a continuación.

- Calentador.
- Movimiento de Aire.
- Detección.

5.4.1.3.1. Calentador

El subsistema calentador es uno de los tres elementos necesarios para poder modificar la temperatura dentro de la cámara de curado, su única función es la de generar en sus inmediatas proximidades una temperatura superior a la ambiental de modo que, eventualmente, el calor pueda ser transportado hacia otra posición.

Dentro del diagrama de bloques de bajo nivel se llega a plantear un componente que, de forma sencilla, es capaz de transformar energía eléctrica en calor por medio del paso de corriente eléctrica a través de una resistencia. Este componente es un radiador eléctrico.

El modelo de radiador seleccionado es un calentador de cerámica PTC de 12V/150W (con potencia similar a la observada en la Form Cure, algo mayor para mitigar el lento calentamiento en dicho modelo), aislado entre dos soportes de plástico de alta resistencia térmica. Este modelo se escoge, en realidad, por múltiples motivos. La compatibilidad con la tensión de servicio y su consumo de corriente moderado influyen sustancialmente en la decisión, aunque la facilidad en el manejo también es un factor relevante. Otros motivos son la disponibilidad de compra y su bajo coste.



Ilustración 90 - Radiador Eléctrico Seleccionado (12V/150W) [36]

Aplicando la Ley de Ohm, dado que se trata de una resistencia convencional, se estima un pico de consumo para este componente de 12.5 amperios.

Desarrollo del Proyecto

Por otro lado, debido al gran consumo de corriente que este tipo de componentes requiere será necesario controlar su flujo mediante un elemento intermediario cuya naturaleza dentro del diagrama de bajo nivel no llegó a quedar del todo determinada, figurando únicamente bajo el nombre "MOSFET". Tras la búsqueda de un componente capaz de servir como interruptor electrónico para este sistema y que cuente con un cierto nivel de inteligencia para que sea capaz de gestionar sobrecargas, sobretensiones y cortocircuitos se selecciona el "PROFET BTS7002-1EPP".

Este PROFET es un dispositivo que cumple con los requerimientos del proyecto en materia de corriente de consumo y seguridad y, además, ofrece funciones de diagnóstico, de modo que desde la programación se pueda gestionar de una forma más práctica y eficiente.

Estos componentes, junto con el resto de los necesarios para asegurar un correcto funcionamiento, podrán ser vistos en la tabla al final de este punto.

5.4.1.3.2. Movimiento de Aire

El subsistema encargado del movimiento del aire es el segundo de los tres elementos necesarios para poder modificar la temperatura dentro de la cámara de curado, su única función es la de generar una corriente de aire que desplace el calor generado en las inmediatas proximidades del radiador eléctrico hacia la cámara de curado, donde servirá para potenciar dicho proceso y conferir unas mejores propiedades a la pieza expuesta.

Dentro del diagrama de bloques de bajo nivel se especifica que este componente va a ser un ventilador. Su naturaleza final no será extraña, ya que será un ventilador normal de 60mm cuyas dimensiones se asemejen a las del radiador eléctrico.



Ilustración 91 - Ventilador 60x60x10 (mm) (De Google Imágenes)

Según indica el vendedor, el consumo de este elemento no se espera sea mayor de 0.2 amperios.

Para gestionar la corriente que hará funcionar el ventilador se selecciona un HITFET BTF3125EJ, producto de Infineon, cuyas características son compatibles con los requerimientos de esta aplicación y ofrece las mismas ventajas que el PROFET mostrado para el radiador eléctrico.

Estos componentes, junto con el resto de los necesarios para asegurar un correcto funcionamiento, podrán ser vistos en la tabla al final de este punto.

5.4.1.3.3. Detección de Temperatura

El subsistema para la detección de temperatura es el tercero de los tres elementos necesarios para poder modificar la temperatura dentro de la cámara de curado, su única función es la de detectar la temperatura a tiempo real existente dentro del receptáculo de trabajo. De esta forma, es posible ordenar un aumento de la temperatura en caso de que esta sea insuficiente o, por el contrario, cesar en el calentamiento si se ha rebasado un límite establecido.

Dentro del diagrama de bloques de bajo nivel ya se encuentra seleccionado este componente de forma completa, desvelando que su identificación es la de "DFR0198". Este sensor de temperatura se selecciona por su sencillez de uso, programación y no necesidad de acondicionamiento adicional, más allá de los elementos necesarios para evitar descargas estáticas por su exposición al usuario o la estabilización de la tensión de alimentación.



Ilustración 92 - Sensor de Temperatura DFR0198 (De Google Imágenes)

La tensión de suministro de este componente opera entre los 3 y los 5.5 voltios, con un rango de medida de entre 125°C y -55°C, suficiente para las temperaturas a las cuales se va a encontrar la cámara de curado que, como se puede ver en el estudio de Formlabs sobre las variaciones de las propiedades mecánicas [20], no superará los 60°C/70°C.

5.4.1.4. Bloque de Iluminación

El bloque de iluminación es la segunda de las tres unidades básicas cuya interacción con la pieza que se introduce a la máquina para ser trabajada es directa, su función es la de cargar con el rol de "elemento de curado inicial" a la par que garantizar la seguridad del operador aisándolo de la fuente de luz UV-A.

Por tanto, este bloque se va a dividir en los siguientes subsistemas.

- Iluminación.
- Detección del Sellado.

5.4.1.4.1. Iluminación

El subsistema de iluminación es el primero de los dos elementos dentro del sistema del bloque de iluminación, su única función es la de proyectar una radiación en forma de onda electromagnética de 405 nm sobre la superficie de la pieza expuesta.

Tal y como queda descrito dentro del estudio sobre la variación de las propiedades mecánicas de las piezas impresas por Formlabs [20], es de suma importancia conseguir un valor en concreto para la potencia del flujo proyectado sobre la superficie de la pieza (1.25 mW/cm²), ya que ni una exposición prolongada en el tiempo o exagerada en potencia lumínica podrá igual los resultados a perfeccionar la potencia del flujo proyectado.

De esta forma, por como se ha podido analizar en el apartado 4.4.2.2.1.3, la potencia del flujo depende principalmente de dos factores, la luminosidad o potencia de salida total de la fuente (en Watios) y la distancia entre la superficie expuesta y la fuente de radiación. Para seleccionar el componente LED apropiado, en esta fase del diseño, todavía no es posible determinar con precisión el parámetro de distancia, ya que esta tarea es responsabilidad de la fase de diseño mecánico. Por tanto, se tomará una medición de la distancia entre la fuente de iluminación y el centro de la plataforma de curado de una de las máquinas mostradas en los antecedentes.

Desarrollo del Proyecto

La máquina más accesible de las tres resulta ser la Anycubic Wash & Cure, que muestra el siguiente parámetro de distancia, aproximadamente 10cm de separación.

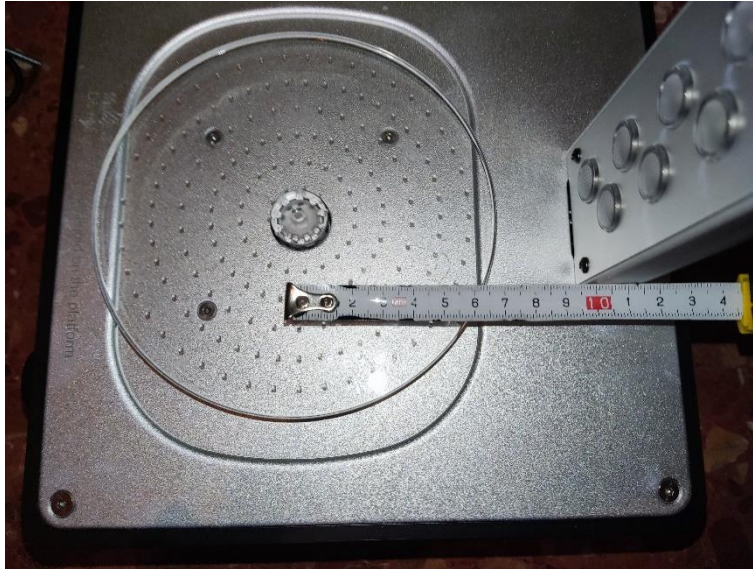


Ilustración 93 - Medición de Distancia entre Lámpara y Centro de la Plataforma de Curado en Anycubic Wash&Cure 2.0

Aplicando la fórmula del apartado 4.4.2.2.1.3 para una distancia de 10cm y una potencia del flujo de 1.25 mW/cm² se obtiene el siguiente dato de potencia para el LED que debe ser buscado.

$$\Phi = \frac{L}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow 1.25 = \frac{L}{4\pi \cdot (10)^2} \rightarrow L = \mathbf{1570.8 \text{ mW}}$$

Una potencia aproximada por LED de 1.5 Watios, donde la Wash&Cure de Anycubic cuenta con 12 LEDs UV-A sumando un total de 18 Watios únicamente en iluminación. Con estos datos de partida se inicia la búsqueda de un componente compatible.

Finalmente, tras buscar y comparar varios modelos que pudieran haber sido aptos, se escoge el "LTPL-C034UVH405" por motivos de aproximación a los datos de búsqueda, dimensiones y consumo eléctrico. En el datasheet de este componente se encuentran varios detalles técnicos en los que merece prestar atención, comenzando por una tabla en la que se relaciona el consumo de corriente por LED, con su tensión de alimentación y la potencia de salida en miliWatios.

Current	W365		W385		W405	
(mA)	Vf (V)	mW	Vf (V)	mW	Vf (V)	mW
100	3.5	126.3	3.2	183.3	3.2	198.2
200	3.6	265.7	3.4	383.0	3.4	406.1
300	3.7	403.6	3.5	579.8	3.5	608.1
350	3.8	468.7	3.6	679.4	3.5	708.6
400	3.9	538.2	3.6	775.9	3.6	806.1
450	4.0	603.8	3.7	871.1	3.7	904.3
500	4.0	665.0	3.7	975.0	3.7	1000.0
600	4.1	789.5	3.8	1156.6	3.8	1189.2
700	4.1	909.0	3.9	1336.6	3.9	1375.5

Ilustración 94 - Gráfica Comparativa Corriente-Tensión-Potencia [37, p. 7]

Como se puede ver en la columna referente al tipo de LED seleccionado (W405), la potencia de salida es menor a la del LED de referencia obtenido directamente de las mediciones de la Wash&Cure de Anycubic. Sin embargo, esto no supone necesariamente un problema, ya que la fórmula presentada en el apartado 4.4.2.2.1.3 todavía permite variar la longitud con respecto a la superficie de la pieza expuesta, a menor longitud menor potencia.

En los cálculos previos se ha empleado una longitud de 10cm para determinar la potencia necesaria, pero todavía es posible introducir una distancia menor ya que conservando las dimensiones del soporte de curado de la Wash&Cure todavía sería posible reducirla hasta los 7cm. No obstante, para no apurar en las dimensiones se tomarán 9cm como nueva variable.

Aplicando el nuevo dato se obtiene el siguiente resultado.

$$\Phi = \frac{L}{4\pi \cdot r^2} \rightarrow 1.25 = \frac{L}{4\pi \cdot (9)^2} \rightarrow L = 1272.34 \text{ mW}$$

Este dato, ahora sí, entra dentro de los márgenes entre los que opera el LED que antes únicamente se aproximaba a las estimaciones. Empleando la gráfica anterior, es posible realizar una interpolación entre las dos últimas filas para obtener la siguiente aproximación de valores; establecida una tensión de 3.85V, el consumo de un LED será de 650 mA con una potencia de salida de 1282.35mW. Como se ve, un valor muy próximo al objetivo una vez establecida la nueva distancia de 9cm.

Desarrollo del Proyecto

De este modo, únicamente queda por determinar el número de puntos de luz que, para simplificar los cálculos y reducir la corriente a gestionar, será de 10 unidades, lo que finalmente nos dará un total de 12W aproximados únicamente para iluminación. Así mismo, la estimación en los picos de consumo de corriente será de 6.5 amperios, que se mayorará a 10 amperios para evitar cualquier tipo de sobrecarga.

Adicionalmente a los propios elementos de iluminación, se selecciona el componente "HITFET BTF3035EJ", diseñado por Infineon, que gestionará el paso de la corriente y los incidentes relacionados con sobrecargas, sobretensiones y cortocircuitos, al igual que los similares componentes empleados en el ventilador y la resistencia térmica.

Por último, también se requiere de la presencia de una segunda fuente conmutada en el sistema para convertir los 12V de la tensión de servicio a los 3.85V necesarios para la alimentación de los LEDs. De nuevo, se utiliza la herramienta "WEBENCH® Power Designer" de Texas Instruments para el diseño de esta herramienta electrónica.

Tras introducir la tensión de entrada a la fuente (12V), la tensión de salida (3.85V) y el amperaje máximo de salida (10A), el sistema genera del mismo modo que en la fuente conmutada previamente expuesta una solución válida.

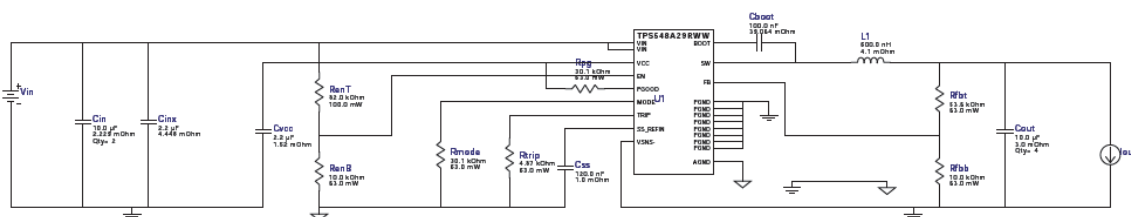


Ilustración 95 - Fuente Conmutada (12V a 3.85V) (WEBENCH® Power Designer)

A resaltar entre los componentes que figuran en la tabla al final del punto se halla el componente "TPS548A29RWW", un integrado diseñado por Texas Instruments que contiene una fuente síncrona buck.

5.4.1.4.2. Detección del Sellado

El subsistema para la detección del sellado de la cámara de curado es el segundo de los dos elementos dentro del sistema de iluminación, su única función es la de detectar cuándo la campana protectora contra la radiación UV-A está instalada, de modo que esta no sea capaz de llegar hasta el operador.

En el diagrama de bloques de bajo nivel ya queda expuesto que el elemento empleado para cumplir con esta función será el sensor IR diseñado para funcionar con el sistema de programación Arduino, este elemento se ha seleccionado por su compatibilidad con el procesador seleccionado, su facilidad de empleo y la falta de necesidad de un acondicionamiento adicional, ya que al venir previamente ensamblado en un módulo únicamente es necesario añadir los elementos para la estabilización de la tensión de alimentación y prevención contra descargas estáticas.



Ilustración 96 - Módulo Detector IR Arduino (De Google Imágenes)

5.4.1.5. Bloque Motriz

El bloque motriz es la tercera de las tres unidades básicas cuya interacción con la pieza que se introduce a la máquina para ser trabajada es directa, su función es doble al operar tanto en la etapa de lavado como en la de curado. Por un lado, en el lavado se encarga de mover el agitador dentro de la cubeta, mientras que en el curado permite rotar la plataforma de curado sobre la que se asienta la pieza para que la luz UV-A alcance la mayor cantidad de las superficies de la pieza expuesta.

A consecuencia, la importancia de este elemento dentro del sistema es alta. Sin embargo, a diferencia de los otros dos sistemas cuya función actúa directamente con la pieza expuesta, el térmico y el de iluminación, la dificultad en la selección de componentes no es muy elevada. Serán necesarios dos elementos para que este bloque cumpla su función.

Se presenta a continuación los siguientes subsistemas del bloque.

- Motor Paso a Paso.
- Driver de Control.

5.4.1.5.1. Motor Paso a Paso

El motor paso a paso es el primero de los dos elementos dentro del sistema motriz, su única función es la de transformar la energía eléctrica que se le suministra en energía mecánica de rotación para las tareas que se requiera.

En el diagrama de bloques de medio nivel, basando la elección en los antecedentes analizados, se escoge un motor paso a paso, que más adelante en el diagrama de bloques de bajo nivel se ampliará con el detalle de su tamaño, NEMA 17. Esta elección con respecto a un motor paso a paso se justifica al ser necesario que el motor sea capaz de girar en ambos sentidos dentro de unos márgenes de tiempo determinados, además de poder girar a varias velocidades y ser fácil de implementar.



Ilustración 97 - Motores Paso a Paso (De Google Imágenes)

Los picos de consumo en corriente de este elemento se estiman en, aproximadamente por las indicaciones en el datasheet, 1.5 amperios por fase.

5.4.1.5.2. Driver de Control

El sistema controlador del motor paso a paso es el segundo de los elementos dentro del sistema motriz, su única función es la de recibir las señales que contienen las órdenes de movimiento desde el microprocesador y convertirlas a señales eléctricas que serán transmitidas a las bobinas en el interior del motor.

En el diagrama de bloques de bajo nivel se escoge el controlador DRV8825 por sencillez de uso, facilidad en su implementación y previa experiencia del autor en su funcionamiento dentro de sistemas de impresión 3D.

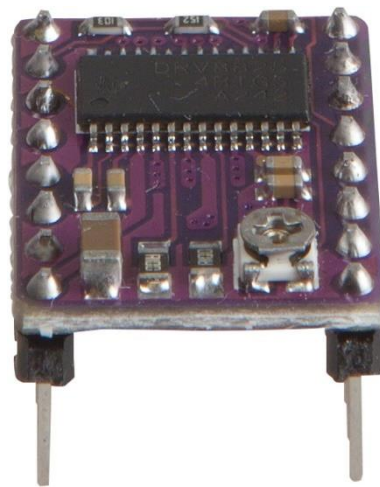


Ilustración 98 - Controlador para el Motor Paso a Paso DRV8825 (De Google Imágenes)

El resto de los componentes cuyo propósito es el de acondicionar y proteger a los ya comentados pueden ser vistos en la tabla al final de este punto.

5.4.1.6. Procesador

Este último bloque dentro de la máquina de postprocesado, a pesar de estar oculto a simple vista y no tomar parte directa en el postprocesado de las piezas, es el más importante de todos. Su función es la de gestionar de forma adecuada la totalidad de las acciones que llevan a cabo los sistemas inferiores y sus subsistemas de acuerdo con la programación que originalmente se haya concebido.

Bajo el grupo mayor del procesador la serie de subsistemas que se pueden encontrar están íntimamente ligados, siendo estas extensiones del más grande (el microprocesador) o sirviendo como aliviadero térmico. De este modo, se divide este bloque en los siguientes subsistemas.

- Microprocesador.
- Mecanismo de Reset.
- Comunicación USB.
- Comunicación SPI.
- Ventilador de Refrigeración General.

5.4.1.6.1. Microprocesador

El subsistema más grande de esta agrupación es el microprocesador, elemento imprescindible en esta máquina encargado directo de la gestión de todas las acciones llevadas a cabo por los múltiples subsistemas.

Dentro del diagrama de bajo nivel se define que el elemento que representará esta función será el ATmega328pb, que aporta múltiples mejoras en cuando a conectividad, detección de fallos, gestión de la energía y estabilidad en el funcionamiento general que pueden resultar muy interesantes para garantizar la confiabilidad de este sistema.

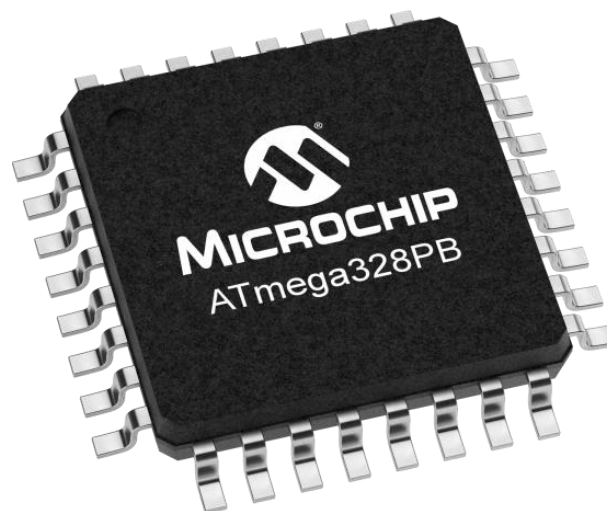


Ilustración 99 - Encapsulado del ATmega328PB (De Google Imágenes)

5.4.1.6.2. Mecanismo de Reset

El subsistema para el mecanismo de reset es un mecanismo básico en el funcionamiento del microprocesador en caso de que este requiera ser devuelto a una posición en la que se conoce su estado y está verificado que es correcto.

Este proceso es generalmente empleado en el momento de descargar nuevo software dentro de la memoria del microprocesador y pasarlo a estado vigente o cuando, por el contrario, se ha llegado a una posición donde el sistema es inestable y presenta fallos.

Para crear este subsistema se empleará una variante de resistencia pull-up a la que se le añadirá un condensador y un diodo que permitirán controlar y estabilizar la corriente redirigida al pin reset del microprocesador.

5.4.1.6.3. Comunicación USB

El subsistema para la comunicación USB es un mecanismo que habilita la carga de nuevo software dentro de la memoria del microprocesador en caso de que esto llegue a ser necesario.

Este proceso no suele ser llevado a cabo por el usuario final del producto, ya que el cometido de este suele ser únicamente usarlo. Es tarea del programador o la empresa fabricante la que carga directamente el software en el momento del ensamblaje; sin embargo, ya que este es el diseño de un producto experimental se va a dejar visiblemente una ventana para las posibles modificaciones del software.

Para constituir este subsistema se hará uso del integrado FT232RL, un componente que permite generar un puente de comunicación USB entre el microprocesador y el dispositivo desde el que se carga el nuevo programa. Adicionalmente, se requerirán otros componentes para asegurar la integridad frente a descargas estáticas por su proximidad al usuario y estabilización de niveles de tensión.

5.4.1.6.4. Comunicación SPI

El subsistema para la comunicación SPI es un mecanismo que habilita la carga de nuevo software dentro de la memoria del microprocesador de un modo diferente al método previamente comentado (USB).

Se dispone esta vía de conexión por su sencillez de implementación y su valor experimental. Para constituir este método únicamente será necesario un conector que permita unir los pines adecuados.

5.4.1.6.5. Ventilador de Refrigeración General

En último lugar, el sistema de ventilación general es un mecanismo de desahogo térmico que incorporan algunos sistemas con riesgo a una excesiva acumulación de la temperatura en el entorno de los instrumentos electrónicos.

En el caso de la máquina que se está diseñando se deberá instalar este sistema para mantener una temperatura lo más baja posible en todo instante, prestando especial interés en aquellos momentos en los que se esté haciendo uso del sistema de calefacción.

Para implementar este sistema únicamente se dispondrá un conector para el ventilador.

5.4.1.7. Listado Global de Componentes

Tras enumerar los componentes más representativos por grupos, se procede a disponer la lista completa de elementos electrónicos que deberán figurar dentro de los esquemas. La tabla queda dispuesta bajo los mismos grupos, sistemas y subsistemas que ya se han presentado, destacando en color más claro los elementos principales y en color más oscuro aquellos que sirven para acondicionar, proteger o gestionar otros con más impacto dentro del sistema.

Es posible investigar la naturaleza y características de cada componente, así como su página de compra, copiando el link acertado que acompaña a cada entrada de la tabla.

Sección	Sistema	Subsistema	Componente	Código	Unidades	Link
Alimentación	Alimentación	Alimentación Entrada 12V	Fuente Externa	230VAC a 12VDC	1	-
			Terminar Barrel Jack	694108301002	1	https://acortar.link/Nqu4Eu
			MOSFET	IRLR9343TRPBF	1	https://acortar.link/XoNyYd
			Resistencia	1kΩ	1	https://acortar.link/9uXDwi
			Diodo Zener	1N4741A	1	https://acortar.link/4xta36
			Fusible	picoASMD010S	1	https://acortar.link/XoNyYd
		Fuente Conmutada (12V -> 5V)	Convertor Buck	TPS564242DRLR	1	https://acortar.link/d6PTjp
			Condensador	10uF	1	https://acortar.link/ohfxGn
			Condensador	100nF	2	https://acortar.link/6RjSj8
			Resistencia	100kΩ	1	https://acortar.link/9bwTvC
			Resistencia	12.4kΩ	1	https://acortar.link/jQSMlV
			Inductor	1.8uH	1	https://acortar.link/RIOb8M
			Condensador	33pF	1	https://acortar.link/95Mu4D
			Resistencia	220kΩ	1	https://acortar.link/CXCFiZ
			Resistencia	30kΩ	1	https://acortar.link/4OdASs
			Condensador	22uF	1	https://acortar.link/PVwn48
		Switch Electrónico Alimentación	MOSFET	IRLR9343TRPBF	1	https://acortar.link/U8FMDG
			Amplificador Op	TSV911	1	https://acortar.link/1p7Myt
			Resistencia	5,6kΩ	1	https://acortar.link/NxE3AF
			Resistencia	6,8kΩ	1	https://acortar.link/O0vUAV

Tabla 2 - Listado de Componentes Sistema de Alimentación

Desarrollo del Proyecto

Interfaz de Usuario	Avisador Acústico	Altavoz	Buzzer	CPI-2316-5-85T	1	https://acortar.link/vUYXOS		
			Controlador del aparato	Mando	Encoder Rotativo	PEC11H-4120F-S0020	1	https://acortar.link/vZCspG
					Resistencia	10kΩ	2	https://acortar.link/Y1udMd
	Resistencia	1kΩ			1	https://acortar.link/zzyGzE		
	Diodo TVS	ESD9L			3	https://acortar.link/vVeoQ4		
	Visión de Instrucciones	Pantalla	Pantalla	LCD-16x2B	1	https://acortar.link/4YDBap		
			Condensador	100nF	1	https://acortar.link/6RJSi8		
			Diodo TVS	ESD9L	2	https://acortar.link/vVeoQ4		
			Conector	HDR100IMP40M-G-V-TH	1	https://acortar.link/K3wnNg		

Tabla 3 - Listado de Componentes Sistema de Interfaz de Usuario

Bloque Térmico	Calentador	Radiador Eléctrico	Radiador Eléctrico	12V 150W	1	https://acortar.link/tRIYQA
			PROFET	BTS7002-1EPP	1	https://acortar.link/9z9MPE
			Condensador	100nF	1	https://acortar.link/6RJSi8
			Conector Tornillos	TB002-500-02BE	1	https://acortar.link/WVQoMg
	Movimiento de aire	Ventilador	Ventilador	-	1	https://acortar.link/8zf0qZ
			HITFET	BTF3125EJ	1	https://acortar.link/wNOSzK
			Condensador	100nF	1	https://acortar.link/6RJSi8
			Resistencia	180kΩ	1	https://acortar.link/iNw6nA
			Conector	B2B-EH-A	1	https://acortar.link/2jhYMT
	Detección Temperatura	Sensor Temperatura	Sensor Temp	DFR0198	1	https://acortar.link/j3fHm5
			Fusible	MF-MSMF010	1	https://acortar.link/4fa9kw
			Conector Tornillos	TB006-508-03BE	1	https://acortar.link/B7lkgZ
			Condensador	100nF	1	https://acortar.link/6RJSi8
			Diodo TVS	ESD9L	1	https://acortar.link/vVeoQ4

Tabla 4 - Listado de Componentes Sistema Térmico

Bloque Iluminación	Iluminación	LED UV-A	LED UV-A	LTPL-C034UVH405	10	https://acortar.link/WTvCGZ
			HITFET	BTF3035EJ	1	https://acortar.link/wNOSzK
			Condensador	100nF	1	https://acortar.link/6RJSi8
			Resistencia	180kΩ	1	https://acortar.link/iNw6nA
			Terminal Tornillos	TB002-500-02BE	1	https://acortar.link/WVQoMg
		Fuente Conmutada (12V -> 3,85V)	Conversor Buck	TPS548A29RWW	1	https://acortar.link/KEIk4p
			Condensador	10uF	2	https://acortar.link/ZUpApd
			Condensador	2,2uF	2	https://acortar.link/Z9Er1
			Condensador	120nF	1	https://acortar.link/1zErK9
			Condensador	100nF	1	https://acortar.link/Sg6xbv
			Inductor	600nH	1	https://acortar.link/sGHd48
			Resistencia	82kΩ	1	https://acortar.link/uUtzLm
			Resistencia	30,1kΩ	2	https://acortar.link/ip8GEe
			Resistencia	10kΩ	2	https://acortar.link/Y1udMd
	Resistencia	53,6kΩ	1	https://acortar.link/J4ifu8		
	Resistencia	4,87kΩ	1	https://acortar.link/htNPbh		
	Detección Sellado	Sensor IR	Módulo IR Arduino	-	1	https://acortar.link/SklgVd
			Fusible	MF-MSMF010	1	https://acortar.link/4fa9kw
			Conector Tornillos	TB006-508-03BE	1	https://acortar.link/B7lkgZ
			Diodo TVS	ESD9L	1	https://acortar.link/vVeoQ4
Condensador			100nF	1	https://acortar.link/6RJSi8	

Tabla 5 - Listado de Componentes Sistema de Iluminación

Bloque Motriz	Movimiento	Motor Paso-Paso	Motor Paso a Paso	NEMA 17	1	https://acortar.link/NWRRehR
			Driver	Controlador	DRV8825	1
		Condensador		100nF	1	https://acortar.link/6RJSi8
		Condensador		47nF	2	https://acortar.link/EbhZai
		Diodo TVS		ESD9L	4	https://acortar.link/vVeoQ4
		Conector Molex	47053-1000	4	https://acortar.link/kXzgFi	

Tabla 6 - Listado de Componentes Sistema de Movimiento

Procesador	Procesador	Microprocesador	Microprocesador	ATMega 328pb	1	https://acortar.link/PriX1B
			Condensador	100nF	1	https://acortar.link/6RjSj8
			Condensador	22pF	2	https://acortar.link/E4KGrt
			Resistencia	1MΩ	1	https://acortar.link/qcGs5G
		Mecanismo Reset	Oscilador	FC4SDCBMF16.0-T1	1	https://acortar.link/9LmDqn
			Resistencia	47kΩ	1	https://acortar.link/SyQMcy
			Condensador	10nF	1	https://acortar.link/90Wnhf
			Diodo Zener	1N4148	1	https://acortar.link/Dp42cG
		Comunicación SPI	Pulsador	95C06C3RAT	1	https://acortar.link/72V4cH
			Conector	10076801-406T40LF	1	https://acortar.link/iNvhxX
		Comunicación USB	Micro Intefaz USB	FT232RL-REEL	1	https://acortar.link/Dw7SG5
			Condensador	100nF	4	https://acortar.link/6RjSj8
			Diodo TVS	ESD9L	3	https://acortar.link/VVeoQ4
			Inductor	BLM21PG221SN1D	1	https://acortar.link/VPkWvy
			Conector USB	USB1030-GF-P-B-B	1	https://acortar.link/W5a2lr
			Condensador	1pF	1	https://acortar.link/Oc5qvN
			Diodo LED	PG1101W-TR	2	https://acortar.link/dCYdvd
Fusible	MF-MSMF050		1	https://acortar.link/pVKc1s		
Resistencia	100kΩ	2	https://acortar.link/b0rH3l			

Tabla 7 - Listado de Componentes Sistema de Procesador

5.4.2. Diseño de los Esquemas Electrónicos

Con todos los componentes ya seleccionados en el apartado anterior, tanto para los elementos principales como para los secundarios, es momento de comenzar a situarlos sobre un esquema electrónico. Se trata de diseñar uno o más planos en los que se expresan visualmente las relaciones y propósitos de todos los elementos seleccionados entre sí, de forma que queden completamente localizados dentro de su función concreta en el sistema electrónico.

No obstante, esta tarea no se puede gestionar de forma apresurada, ya que del diseño que se prepare en los esquemas dependerán, en gran medida, el diseño de las placas de circuito impreso del próximo apartado. Por ello, antes de comenzar, se va a recurrir de nuevo a los antecedentes para observar cómo se ha hecho previamente y si es necesario construir más de una placa o, por el contrario, únicamente es necesaria una sola.

Comenzando por la Wash&Cure de Anycubic, tras desmontarla, es posible observar cómo está planteada la repartición de componentes entre las tres placas que se llegan a encontrar dentro de la máquina. En la principal, la que más componentes alberga, se pueden ver los elementos más relevantes dentro del cálculo, gestión y procesamiento de las diferentes tareas que es capaz de llevar la máquina; el procesador, el driver de control para el motor y los conectores que conectan la iluminación, entre otros, se hallan dentro de esta placa.

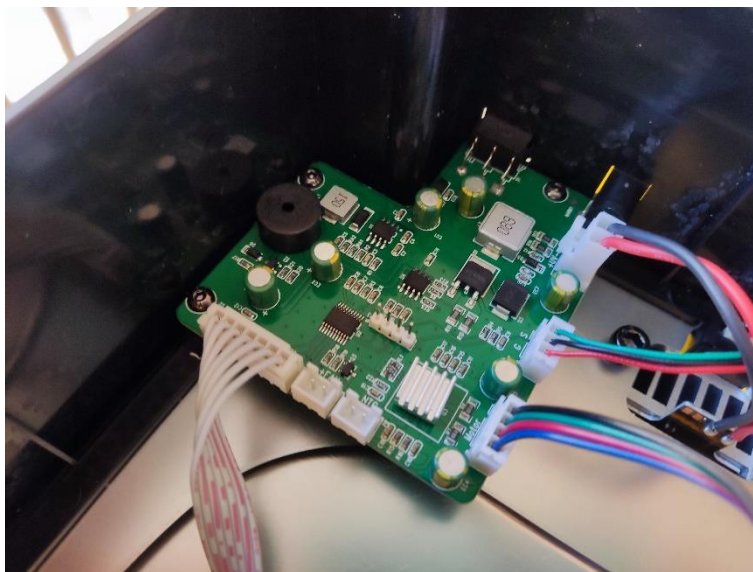


Ilustración 100 - PCB Principal Wash&Cure 2.0 Anycubic

Apartada, dando soporte a la pantalla conformada por 4 display's de 7 segmentos se puede ver otra placa, más pequeña, con muchos menos componentes dentro de ella. En esta segunda estructura, únicamente se encuentran montados los elementos más imprescindibles dentro de la interfaz de usuario, el encoder rotativo y la pantalla, mientras que el buzzer ha quedado ubicado dentro de la placa principal.

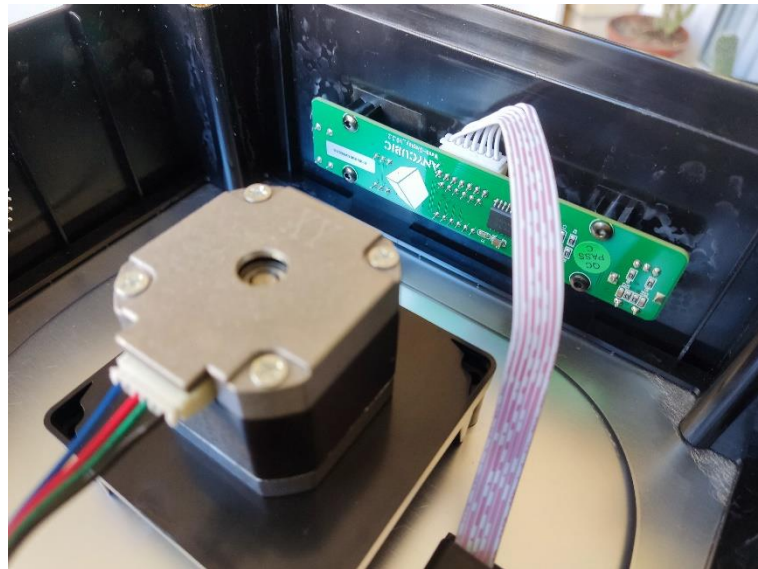


Ilustración 101 - PCB Interfaz de Usuario Wash&Cure 2.0 Anycubic

Y todavía más oculta, dentro de la torre de iluminación, se halla una tercera placa en la que únicamente se puede encontrar los LEDs UV-A dispuestos en una formación particular, en zig-zag, distribución que sí es visible desde el exterior de la máquina.

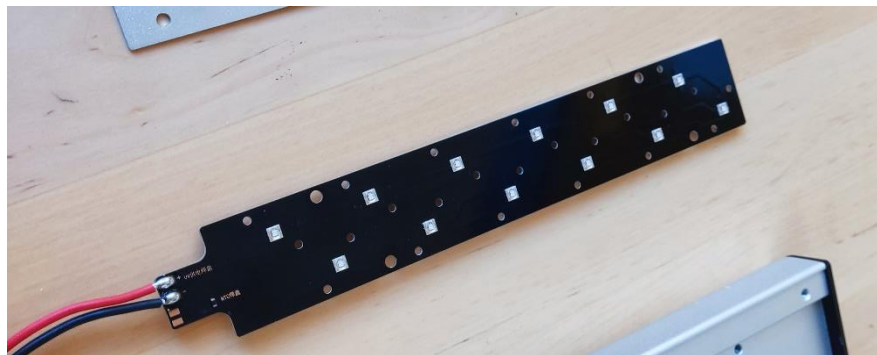


Ilustración 102 - PCB Lámpara Wash&Cure 2.0 Anycubic

Para la Elegoo Mercury X Bundle: Wash & Cure Station se prepara una electrónica más compacta, dispuesta en ambos equipos en dos únicas placas adosadas junto a la interfaz de usuario, aprovechando dicha particularidad para dar soporte a este sistema. Como excepción de las dos, el sistema de curado también necesitará de dos placas dentro de las torres de iluminación de forma que los LEDs tengan un soporte físico sobre el que poder funcionar.

Desarrollo del Proyecto

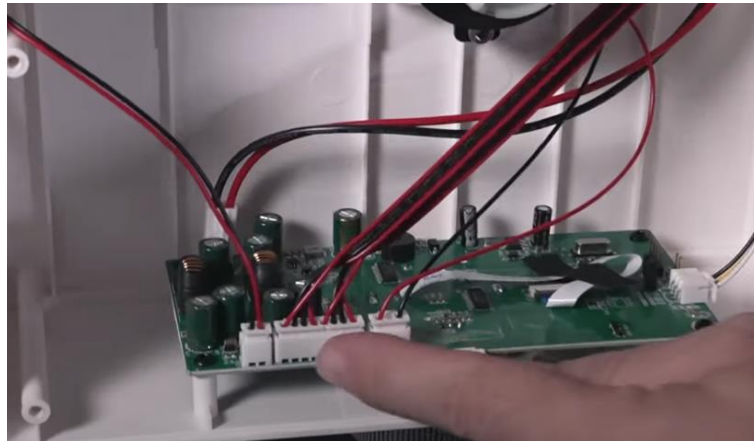


Ilustración 103 - Elegoo Mercury X Bundle; Placa Base Máquina Lavado



Ilustración 104 - Elegoo Mercury X Bundle; Placa Base Máquina Curado

Y, por último, a pesar de que en los equipos de Formlabs, la Form Wash y Form Cure, no ha sido posible estudiarlos desde su interior, es concebible que puedan llegar a emplear uno de estos dos sistemas dado el mínimo grosor de sus bases, llegando más a encajar con el sistema que compartía la Wash&Cure de Anycubic.

Y, a pesar de la necesidad de montar 3 placas distintas, se escogerá seguir el modelo que presenta Anycubic por las posibilidades que brinda este sistema a la hora de repartir más adecuadamente los componentes entre las diferentes placas y aprovechar de un modo más inteligente la superficie disponible.

5.4.2.1. Esquema Principal

De modo que, ya en el sistema que se está diseñando en este trabajo, se va a proceder con el diseño del esquema para la placa principal. En dicho sistema físico se espera que se puedan encontrar componentes relativos a todos los ámbitos de operación de la máquina exceptuando, quizá, aquellos relacionados con la interfaz de usuario, para la cual se planteará un sistema de comunicación entre ambas placas.

A groso modo, se va a seguir una estructura similar en la organización de los múltiples planos utilizando una estructura ramificada con dos niveles de profundidad. Para organizar mejor los planos del nivel inferior entre sí se van a emplear etiquetas jerárquicas que conecten los elementos periféricos con el bloque del procesador.

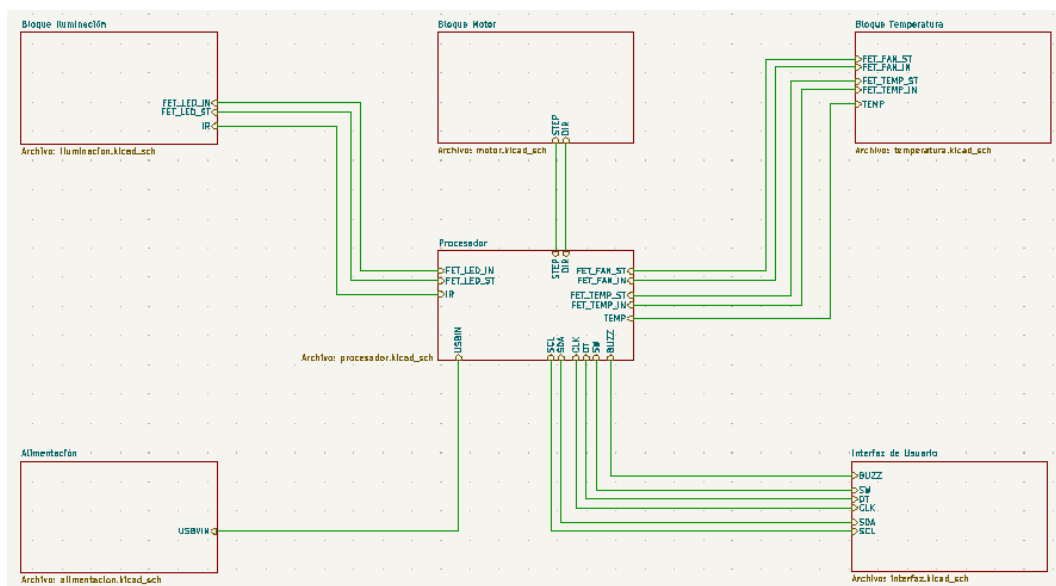


Ilustración 105 - Esquema Electrónico General Placa Principal

5.4.2.1.1. Alimentación

Como ya se ha presentado anteriormente, dentro del sistema de alimentación se espera estén contenidos los siguientes subsistemas.

- Alimentación Entrada 12V.
- Fuente Conmutada (12V a 5V).
- Switch Electrónico para la Alimentación.

5.4.2.1.1.1. Alimentación Entrada 12V

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

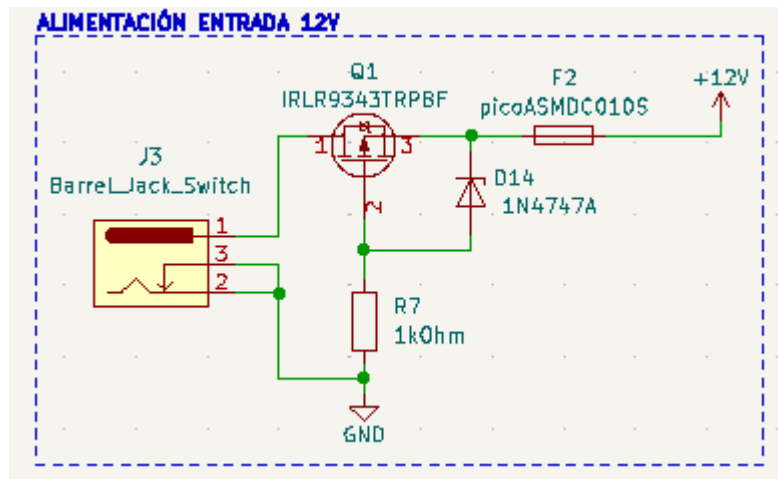


Ilustración 106 - Esquema Electrónico Subsistema Alimentación Entrada 12V

Como se puede ver, se ha dispuesto un esquema de naturaleza muy similar a la explicada en el apartado de selección de componentes, donde se ha seleccionado un MOSFET y un fusible automontante cuyos límites en materia de tensión y corriente son perfectamente compatibles con el consumo del equipo en su momento de mayor actividad, la etapa de curado.

A destacar la inclusión de conector jack para la alimentación principal que, previamente, no se había llegado a observar.

Cuando la polaridad de la conexión es la adecuada, la corriente atraviesa el MOSFET y el fusible en dirección a la pica con la señal de 12 voltios. Cuando la polaridad está invertida, el MOSFET se bloquea, abriendo el circuito, no dejando atravesar a la corriente el resto de los elementos del sistema.

5.4.2.1.1.2. Fuente Conmutada (12V a 5V)

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

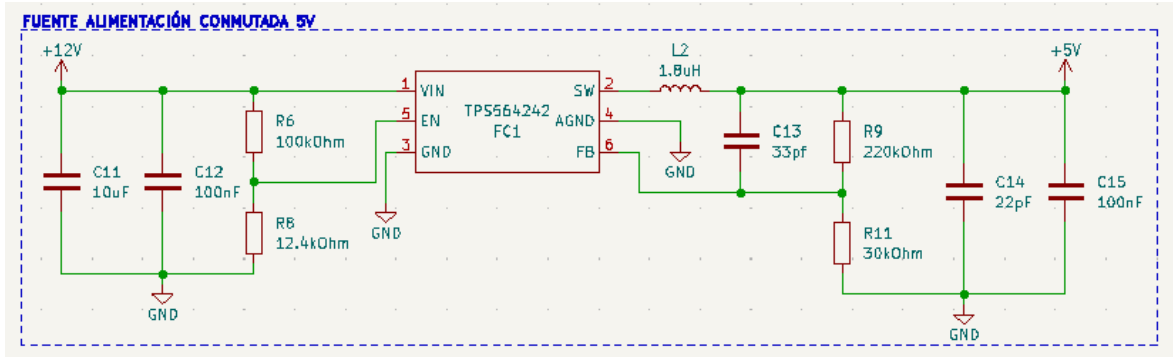


Ilustración 107 - Esquema Electrónico Subsistema Fuente Conmutada (12V a 5V)

Como se puede ver, se ha dibujado el mismo esquema generado por la aplicación "WEBENCH® Power Designer" y que consta en el informe exportado con toda la información relativa a esta fuente de alimentación [34].

La tensión de 12 voltios entra por la izquierda del esquema a través de la pica señalada con dicho nombre, mientras que la rebajada tensión de 5 voltios sale a través de la pica ubicada en la parte derecha del esquemático.

5.4.2.1.1.3. Switch Electrónico para la Alimentación

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

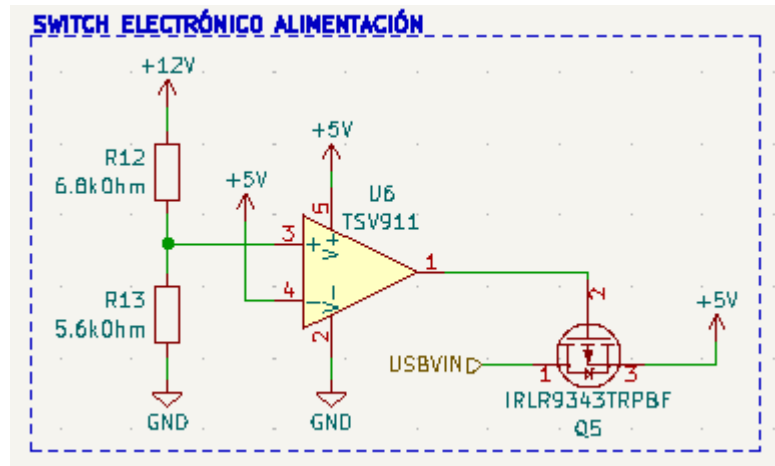


Ilustración 108 - Esquema Electrónico Subsistema Switch Electrónico para la Alimentación

Tras haber observado cómo estaba construido este mismo sistema dentro del esquema electrónico de Arduino UNO Rev3 [35] y su método de funcionamiento, habiendo analizado todo esto en el aparatado de selección de componentes, se procede a emularlo trasladando las variables a las tensiones y corriente empleadas en nuestro sistema.

De este modo, cuando la tensión en el pin 3 del amplificador operacional en modo comparador pasa a valer, aproximadamente, un valor superior a 5,4 voltios, el AO entra en saturación activando el MOSFET en corte e impidiendo el paso de la corriente hacia la tensión proveniente del USB evitando, así, un cortocircuito.

5.4.2.1.2. Interfaz de Usuario

Ya que se planea trasladar los elementos relacionados con la interfaz de usuario a otra placa, es necesario introducir un elemento dentro del esquema que permita una conexión física entre estos dos sistemas de modo que los datos puedan viajar desde una placa a otra y viceversa.

Se presenta la solución diseñada.

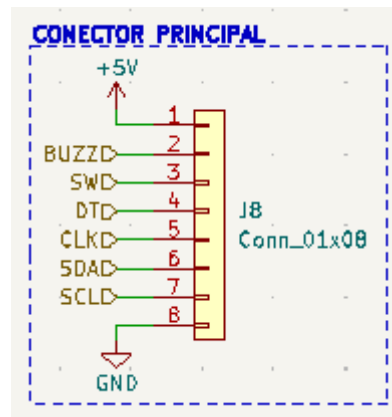


Ilustración 109 - Método de Conexión entre Placa Principal y Placa Interfaz de Usuario

Se escoge un conector de 8 pines que será colocado tanto en la placa principal como en la placa de la interfaz para transmitir los datos del buzzer (BUZZ), el encoder rotativo (DT, CLK), el pulsador (SW) y la pantalla gráfica (SDA, SCL).

Ya que este componente todavía no aparece, por motivos evidentes, dentro de la tabla de selección de componentes, a continuación se exponen sus datos.

Conector, código "JSTXHB8B8-1", <https://acortar.link/sOQbNW>.

5.4.2.1.3. Bloque Térmico

Como ya se ha presentado anteriormente, dentro del sistema del bloque térmico se espera estén contenidos los siguientes subsistemas.

- Calentador.
- Movimiento de Aire.
- Detección de Temperatura.

5.4.2.1.3.1. Calentador

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

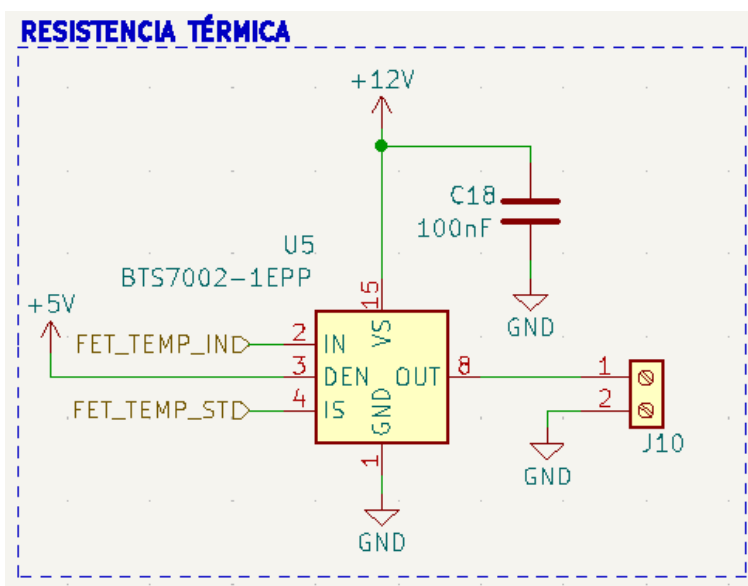


Ilustración 110 - Esquema Electrónico Subsistema Calentador

Como se puede ver, se ha ubicado el componente PROFET en el centro del esquema, habiendo estabilizado previamente su alimentación con un condensador de 100nF, alimentación que comparte con el radiador. Adicionalmente, tras haber estudiado el datasheet del PROFET BTS7002-1EPP [38] se entiende que la tensión de suministro para el radiador deberá entrar a través del pin VS, teniendo su salida a través del pin OUT, lugar donde se dispone el conector de tornillos.

Adicionalmente, se descubre que el pin IN permite activar y desactivar el paso de la corriente a través del MOSFET, generando una etiqueta para conectarlo al microprocesador. El pin DEN activa y desactiva el diagnóstico de prevención contra sobretensiones, sobrecorrientes y cortocircuitos, por lo que se deja permanentemente activado vinculando una alimentación a 5V, según indica el datasheet [38]. Por último, el pin IS permite recibir lecturas sobre el diagnóstico del componente, por lo que se habilita una etiqueta para conectarlo con el microprocesador.

5.4.2.1.3.2. Movimiento de Aire

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

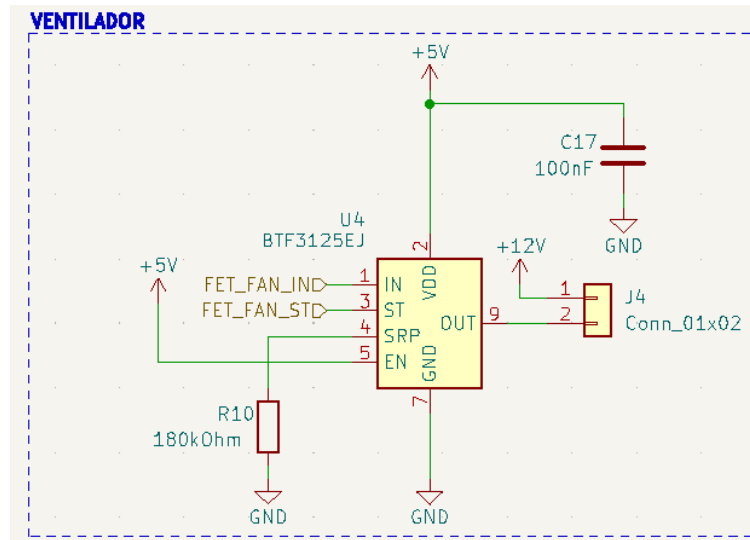


Ilustración 111 - Esquema Electrónico Subsistema Movimiento de Aire

De forma similar al caso anterior, el componente HITFET para la gestión del paso de la corriente hacia el ventilador es ubicado en el centro. Sin embargo, en esta ocasión el dispositivo funciona de una forma ligeramente diferente, ya que la alimentación se produce a través de dos canales.

En primer lugar, tras analizar el datasheet del HITFET BTF3125EJ [39] se descubre que la alimentación del componente es diferente a la del ventilador, entrando a través del pin VDD, el cual se estabiliza empleando el condensador de 100nF.

La alimentación para el ventilador pasa, en primer lugar, a través de él y el circuito queda cerrado a través del HITFET entrando por el pin OUT, que drenará la corriente saliente a través de los pines de GND.

El pin IN sirve para poner en corte o en conducción el FET, el pin ST ofrece la función de diagnóstico sobre el estado del componente, el pin EN permite activar y desactivar el FET al completo y, por último, el pin SRP que queda en desuso por no necesitar ajustar el "Slew Rate" es necesario conectarlo a una resistencia de 180kOhm tras indicación expresa en el datasheet [39].

5.4.2.1.3.3. Detección de Temperatura

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

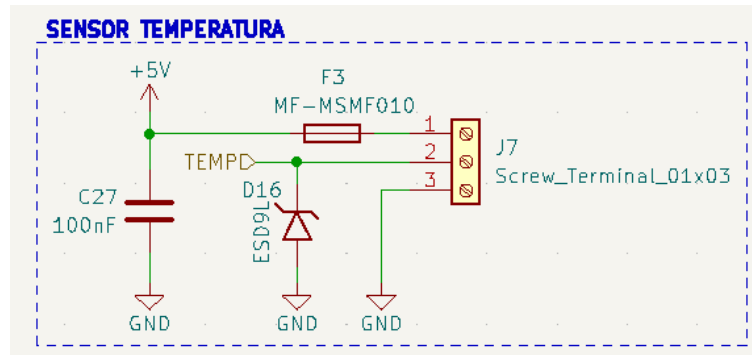


Ilustración 112 - Esquema Electrónico Subsistema Detección de Temperatura

Como se puede ver en el esquema, el sensor de temperatura DFR0198 se conecta a través del conector de tornillos que se encuentra más a la derecha. Sin embargo, para asegurar tanto la estabilidad de la tensión de alimentación, como prevenir ante sobrecargas de tensión, corriente y electricidad estática, se disponen un condensador de 100nF, un diodo TVS ESD9L y un fusible automontante.

5.4.2.1.4. Bloque de Iluminación

Como ya se ha presentado anteriormente, dentro del sistema de iluminación se espera estén contenidos los siguientes subsistemas.

- Iluminación.
- Detección del Sellado.

5.4.2.1.4.1. Iluminación

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado dentro de la placa principal.

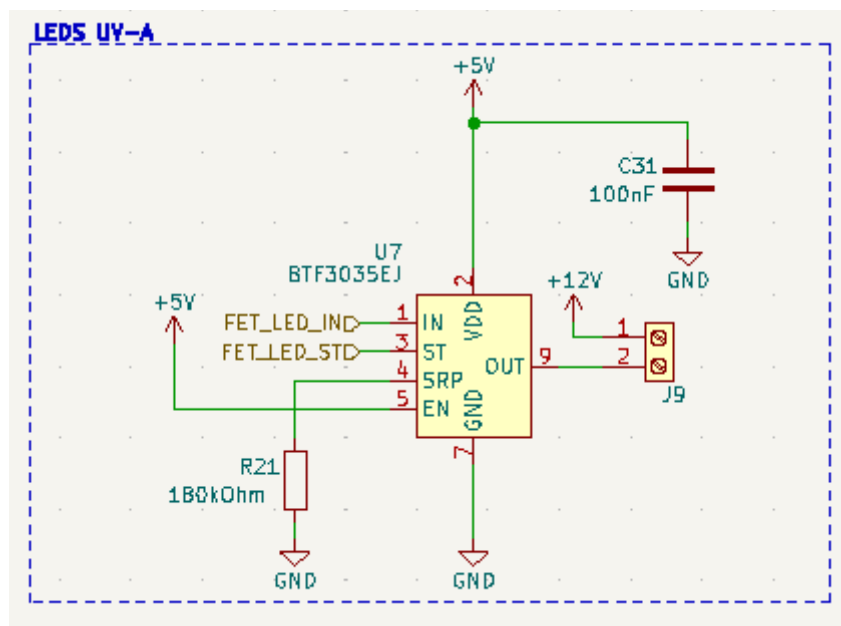


Ilustración 113 - Esquema Electrónico Subsistema Iluminación

La parte del subsistema de iluminación que se encuentra dentro de la placa principal es muy parecida a la recién observada para el subsistema para el movimiento del aire en el sistema del bloque térmico. Tras analizar el datasheet del HITFET BTF3035EJ [40] y determinar que su funcionamiento es idéntico al ya visto HITFET BTF3125EJ, las conexiones para la alimentación del sistema de iluminación que se hallará en la placa propia para la iluminación se realizarán siguiendo la misma operativa que con el subsistema para el movimiento del aire.

5.4.2.1.4.2. Detección del Sellado

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

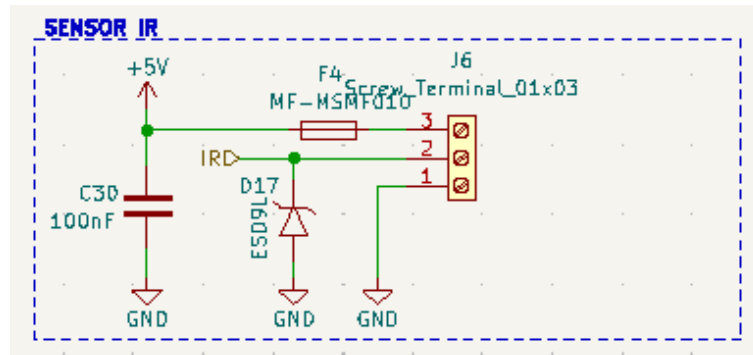


Ilustración 114 - Esquema Electrónico Subsistema Detección del Sellado

De igual modo al ya presentado para el subsistema de detección de temperatura, el módulo IR de Arduino da la comodidad de poder replicar el esquemático para el subsistema de detección del sellado. Se protege de igual modo contra sobrecargas y electricidad estática con un fusible automontante y un diodo TVS, además estabilizar la tensión de entrada mediante un condensador de 100nF.

5.4.2.1.5. Bloque Motriz

Como ya se ha presentado anteriormente, dentro del sistema de alimentación se espera estén contenidos los siguientes subsistemas.

- Motor Paso a Paso.
- Driver de Control.

Sin embargo, dado que el subsistema del motor paso a paso es un elemento independiente fuera de la placa principal únicamente se expondrá el subsistema para el driver de control, esquemático diseñado.

5.4.2.1.5.1. Driver de Control

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

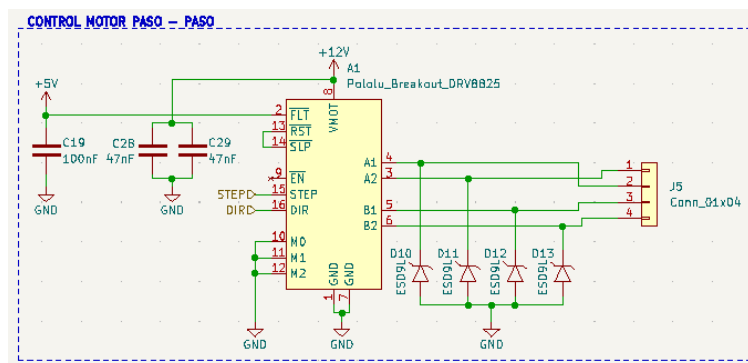


Ilustración 115 - Esquema Electrónico Subsistema Driver de Control

Una vez estudiadas las particularidades para la conexión del controlador DRV8825 a través de foros de internet y su datasheet [41], lo primero es estabilizar las tensiones de alimentación mediante el uso de condensadores. Se coloca un condensador de 100nF para la alimentación del sistema de control del DRV8825 y 2 condensadores de 47nF, tras la observación de varias ramificaciones en la alimentación, que distribuirán la carga de estabilizar la tensión de entrada.

Se inhabilita el pin EN dado el hecho de que el controlador estará siempre en funcionamiento, mientras que siguiendo el datasheet se conectan los pines RST y SLP. Además, se inhabilitan con un 0 lógico los pines M0, M1 y M2 dado el hecho de que no va a ser necesario dividir los pasos del motor y se conectan mediante etiquetas los pines STEP y DIR al microprocesador para que el controlador pueda ser programado.

En el otro lado del esquema, se conectan las salidas para la alimentación de las bobinas del motor teniendo en cuenta una mejor ordenación de los cables en relación con los pines A1 y A2. Adicionalmente, se protege con diodos TVS frente a descargas estáticas el puente físico entre el controlador y el motor.

Desarrollo del Proyecto

5.4.2.1.6. Procesador

Como ya se ha presentado anteriormente, dentro del sistema del procesador se espera estén contenidos los siguientes subsistemas.

- Microprocesador.
- Mecanismo de Reset.
- Comunicación USB.
- Comunicación SPI.
- Ventilador de Refrigeración General.

5.4.2.1.6.1. Microprocesador

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

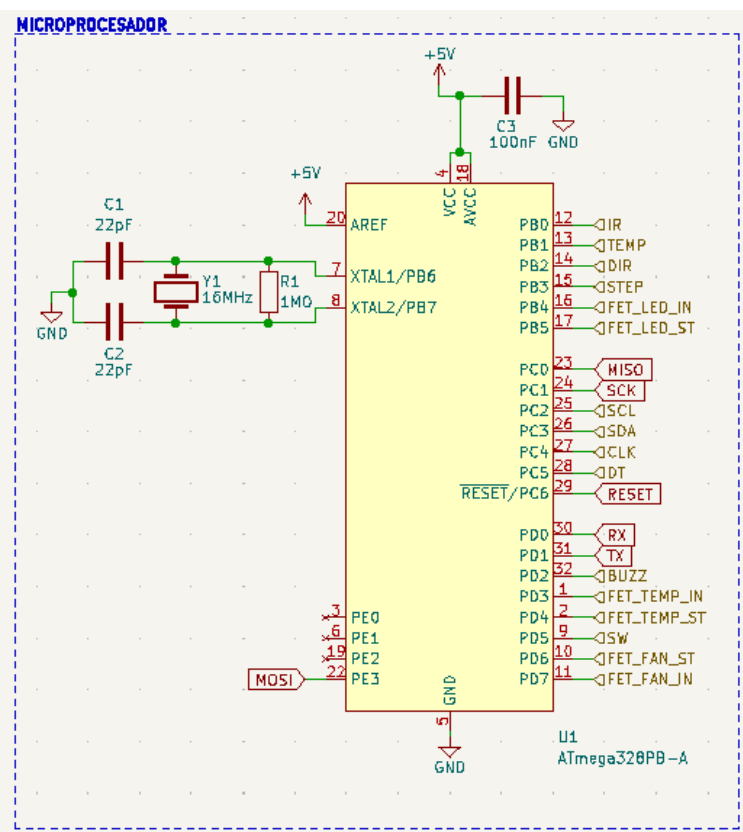


Ilustración 116 - Esquema Electrónico Subsistema Microprocesador

Tras ubicar el componente principal, el microprocesador ATmega328PB, lo primero es estabilizar la tensión de entrada de con un condensador de 100nF. Posteriormente, se coloca el cristal oscilador que va ubicado externamente al microprocesador, acompañado de un filtro resistivo construido en base a una resistencia de 1MΩ y 2 condensadores de 22pF para filtrar las señales.

Por último, se colocan todas las etiquetas previamente vistas en el resto de subsistemas diseñados.

5.4.2.1.6.2. Mecanismo de Reset

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

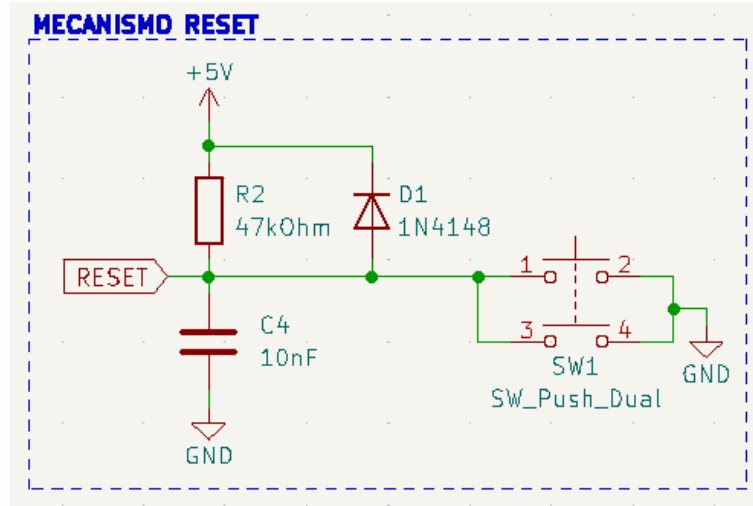


Ilustración 117 - Esquema Electrónico Subsistema Mecanismo de Reset

Tras analizar su construcción dentro del apartado de selección de componentes, se construye este mecanismo "Pull-Up" ligeramente mejorado empleando un filtro por condensador conectado al pin del microprocesador y un diodo polarizado en inversa con respecto a la pica de 5V para aumentar la estabilidad de la tensión en bornes del pin de RESET.

5.4.2.1.6.3. Comunicación USB

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

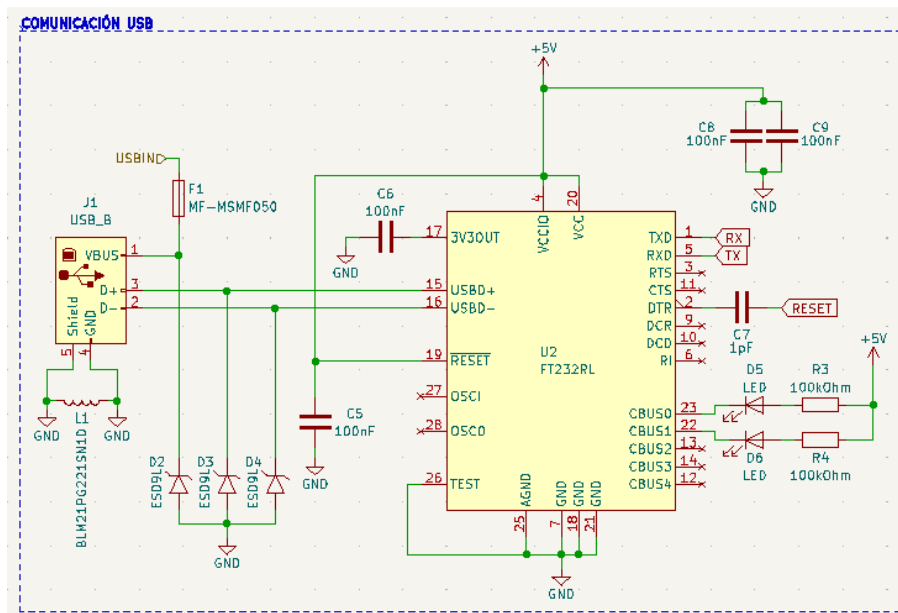


Ilustración 118 - Esquema Electrónico Subsistema Comunicación USB

Desarrollo del Proyecto

Para la realización de este esquema, se han tomado referencias de otros trabajos donde ha sido necesario montar un sistema parecido, estando previamente orientados por profesorado de la escuela, y también se ha consultado el datasheet del componente FT232RL [42]. Como se puede ver en él, lo primero ha sido conectar el conector USB tipo B con el controlador, aislando cada una de sus conexiones con diodos TVS para prevenir de descargas estáticas. Además, se ha instalado un diodo automontante para evitar un daño en los componentes por sobrecargas.

Por otro lado, se ha instalado una ferrita para reducir y/o eliminar cualquier interferencia que pueda haber en la transmisión de datos. Se han estabilizado las tensiones de entrada de los pines 19, 17, 4 y 20 empleando condensadores de 100nF.

Además, se han conectado al microprocesador los respetivos pines de emisión y recepción de datos, siempre invertidos para que la lectura y envío puedan ser efectuados adecuadamente. Y, finalmente, se han añadidos diodos LED para la notificación en el momento de la transmisión de datos.

5.4.2.1.6.4. Comunicación SPI

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

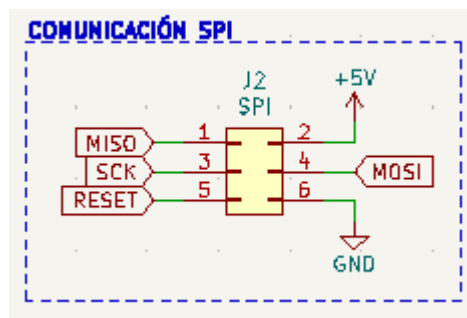


Ilustración 119 - Esquema Electrónico Subsistema Comunicación SPI

Tal y como se menciona en el aparatado de selección de componentes, debido al carácter secundario en la funcionalidad para la transmisión de datos, pero su interés experimental, se destina un conector de pines para la constitución de este sistema, conectándolos al procesador pero sin ningún tipo de protección, ya que es algo que no estará de cara al usuario.

5.4.2.1.6.5. Ventilador de Refrigerador General

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

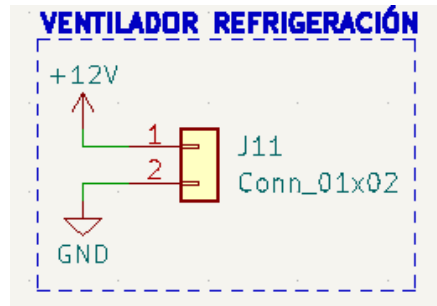


Ilustración 120 - Esquema Electrónico Subsistema Ventilador de Refrigeración General

Debido a que este sistema se va a encontrar en el interior de la carcasa de la máquina y va a estar permanentemente encendido, su conexión es directa a la tensión de servicio desde el momento en el que se conecta. No se espera que este elemento pueda tener imprevistos en sobretensiones, sobrecorrientes o descargas de electricidad estática.

5.4.2.2. Esquema para la Interfaz

Dentro del sistema para la Interfaz de Usuario, se ha obviado la inclusión del buzzer, la pantalla gráfica y el encoder rotativo al escoger un modelo de diseño electrónico que cuenta con varias placas, facilitando la ubicación de estos elementos donde realmente cumplen su función.

Dentro de la segunda placa van a coexistir los siguientes subsistemas.

- Conector
- Avisador Acústico.
- Pantalla.
- Encoder Rotativo.

5.4.2.2.1. Conector

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

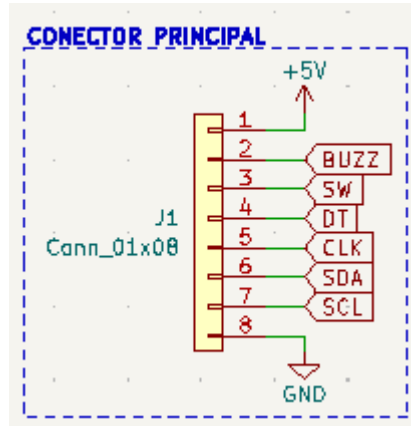


Ilustración 121 - Esquema Electrónico Subsistema Conector Placa Interfaz

De forma homóloga al conector observador dentro de la placa principal, es necesario ubicar uno de exacta naturaleza dentro de esta placa para que la comunicación sea posible.

5.4.2.2.2. Avisador Acústico

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

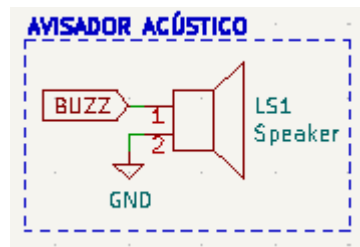


Ilustración 122 - Esquema Electrónico Subsistema Avisador Acústico Placa Interfaz

Debido a la falta de necesidad de acondicionamiento de este elemento, se realiza la conexión directa del buzzer al conector.

5.4.2.2.3. Pantalla

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

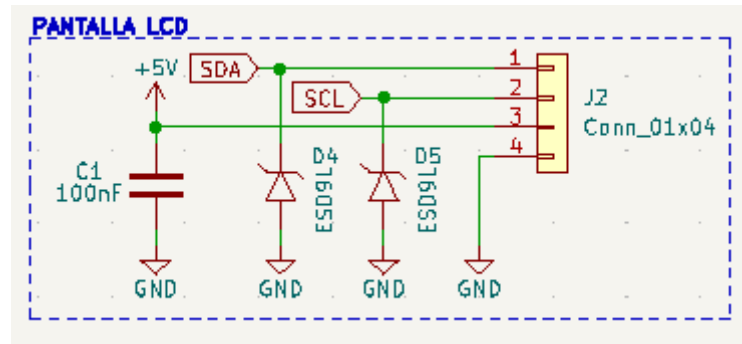


Ilustración 123 - Esquema Electrónico Subsistema Pantalla Placa Interfaz

De forma similar a otras conexiones observadas en la placa principal, se utiliza un conector como intermediario entre la pantalla y la placa, utilizando los pertinentes medios para estabilizar la tensión de alimentación y prevenir de descargas estáticas debido a su proximidad al usuario.

5.4.2.2.4. Encoder Rotativo

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

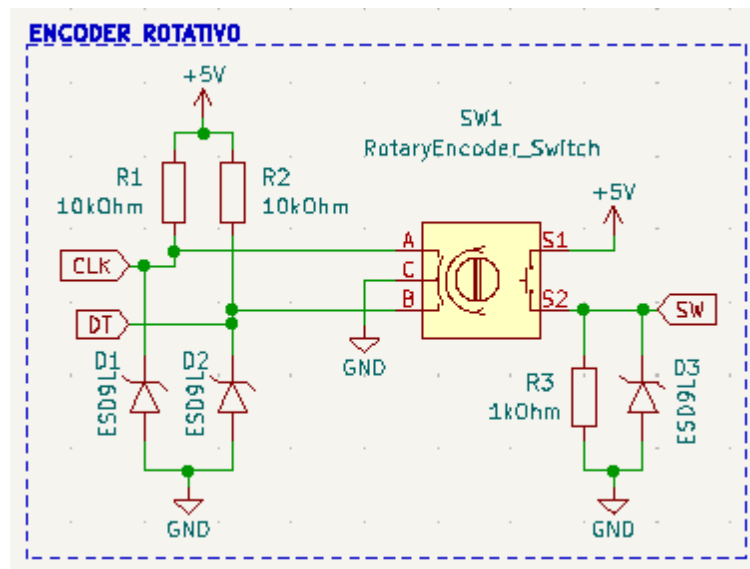


Ilustración 124 - Esquema Electrónico Subsistema Encoder Rotativo Placa Interfaz

Para conectar el encoder rotativo es necesario generar un mecanismo de resistencia "Pull-Up" para cada uno de los pines que comunican una señal, tanto para las señales de rotación como para la de pulsación.

Adicionalmente, se emplean varios TVS para evitar problemas por posibles descargas estáticas.

Desarrollo del Proyecto

5.4.2.3. Esquema para la Iluminación

Dentro del diseño del sistema de iluminación, más concretamente en el subsistema de iluminación, se ha obviado la inclusión de la fuente conmutada de 12 a 3.85 voltios y de los LEDs UV-A al escoger un modelo de diseño electrónico que cuenta con varias placas, facilitando la ubicación de estos elementos donde realmente cumplen su función.

Dentro de esta última placa va a coexistir los siguientes subsistemas.

- Conector.
- Fuente Conmutada 12V-3.85V.
- LEDs UV-A.

5.4.2.3.1. Conector

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

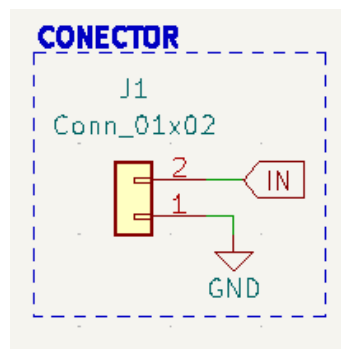


Ilustración 125 - Esquema Electrónico Subsistema Conector Placa Iluminación

En este muy simple caso de conector, se representan dos pads de cobre que deberán ser soldados a los cables que conectarán la placa principal con la placa de la iluminación. A la derecha, se conecta esta entrada de corriente con la fuente conmutada.

5.4.2.3.2. Fuente Conmutada 12V-3.85V

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

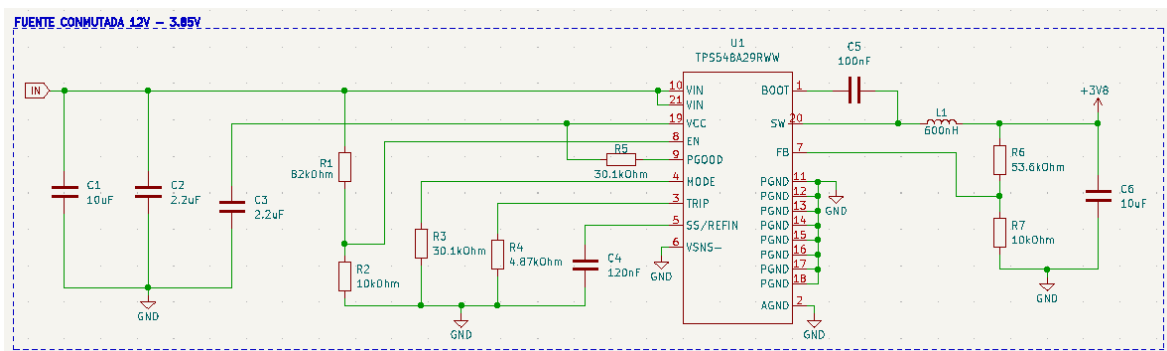


Ilustración 126 - Esquema Electrónico Subsistema Fuente Conmutada (12V a 3.85V) Placa Iluminación

De nuevo, se traza el mismo esquema generado por la aplicación web "WEBENCH® Power Designer" y que consta en el informe exportado [43] con toda la información relativa a esta fuente de alimentación.

La tensión de 12 voltios entra por la etiqueta IN de la izquierda, proveniente del conector, mientras que la ya convertida tensión de 3.85V sale por el conector de la derecha nombrado como 3V8.

5.4.2.3.3. LEDs UV-A

Se procede a presentar el subsistema electrónico diseñado.

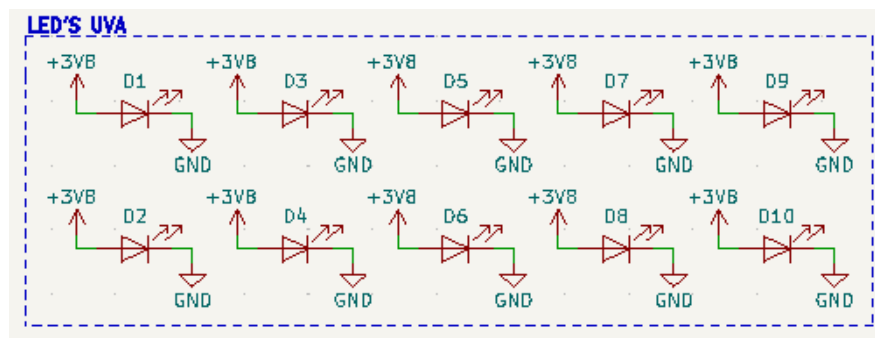


Ilustración 127 - Esquema Electrónico Subsistema LEDs UV-A Placa Iluminación

Dado que la tensión suministrada a los LEDs es ya la adecuada y todas las medidas de seguridad y prevención ya han sido tomadas, no es necesario realizar ningún acondicionamiento adicional. Se encuentran conectados los 10 puntos luminosos.

5.4.3. Diseño de las Placas de Circuito Impreso (PCB)

Una vez que se han seleccionado todos los componentes y han sido colocados dentro de un esquema demarcando, claramente, su función dentro de la estructura electrónica, esta fase ya casi ha finalizado. Es el momento de culminar esta etapa de diseño avanzando hacia la creación de las tres placas de circuito impreso que darán soporte a todos los elementos, las que han sido el último objetivo manifiesto de esta fase y permitirán que el hecho de poder integrar un elemento que no se veía en los antecedentes de bajo coste, como es el sistema de calefacción, pase de ser únicamente una idea a un proyecto de facto.

De modo que, aunque la mayor parte del trabajo al respecto ya se haya llevado a cabo, todavía es necesario planificar cómo será la morfología de las placas que darán soporte a todos los componentes. Y es que, eso podría parecer una tarea sencilla si posteriormente no se fuera a dar el caso de integrar un diseño mecánico, pero al no ser este el caso va a ser necesario planificar previamente unas dimensiones y formas determinadas para las PCBs.

Por lo que, volviendo de nuevo a los antecedentes, ya se han llegado a tomar referencias para la separación de los componentes directamente del modelo empleado por la Wash&Cure de Anycubic. Este antecedente analizado es un buen ejemplo de máquina orientada a la producción doméstica y semiprofesional que carece del sistema de gestión de la temperatura, y al no ser el objetivo de este trabajo idear un diseño original, sino integrar el sistema previamente mencionado, se va a continuar tomando como referencia las características de este último equipo.

Posteriormente, en la fase de diseño mecánico, se tendrán en cuenta las dimensiones de las placas generadas para desarrollar las necesarias carcasas que encajen con ellas. Se procede, entonces, con el diseño final de las tres placa de circuito impreso.

5.4.3.1. Placa Principal

De igual manera que con los esquemas electrónicos se inicia el diseño de la PCB principal, una placa que contendrá íntegramente los sistemas de alimentación, bloque térmico, bloque motriz y procesador. Adicionalmente, contendrá parcialmente los sistemas para la interfaz de usuario y el bloque de iluminación.

5.4.3.1.1. Preparación de la Superficie

Para comenzar con el diseño de este soporte se deberá preparar, en primer lugar, una superficie sobre la que colocar los componentes. Tomando como referencia cómo es la morfología de esta plataforma dentro de la Wash&Cure de Anycubic, es posible darse cuenta de que está alojada en una de las esquinas de la carcasa que envuelve lateralmente la cámara inferior de la máquina, adaptándose a dicha forma (una "L") y anclándose mediante unos tornillos a esta pieza plástica.

En la placa que se va a proponer como principal se va a retomar el concepto de la forma y la ubicación, llegando a establecerse la siguiente superficie.

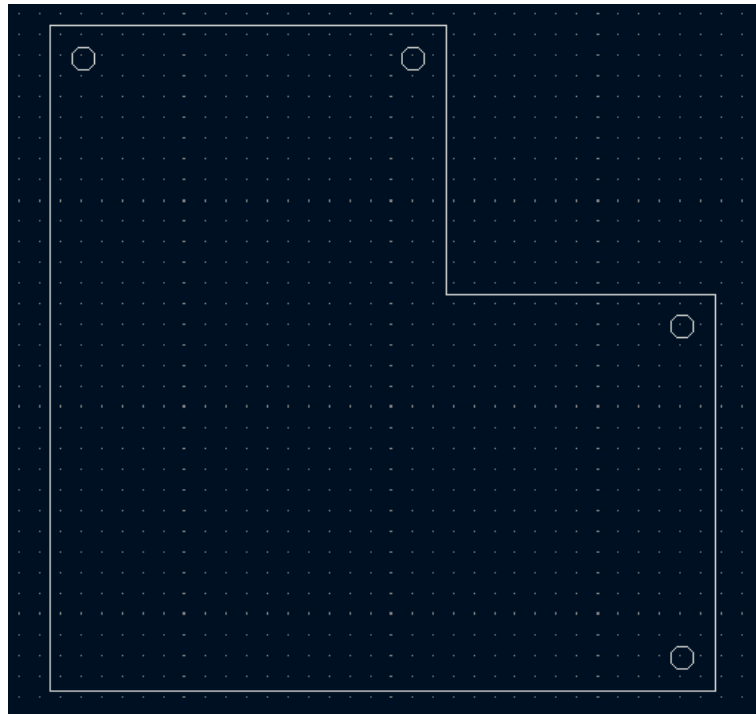


Ilustración 128 - Definición Perímetro Placa Principal

En el momento en el que se escribe este texto la placa ya ha sido finalmente diseñada e integrada dentro del diseño mecánico, por lo que las medidas se han adaptado en más de una ocasión para optimizar el área de ocupa dentro de la máquina. La placa tiene unas dimensiones de 80.5mm de lado, retirando de la esquina superior un cuadrado de 32.5mm de lado, así se establece el perímetro básico. Para los oficios pasantes que servirán para atornillarla a la carcasa se practican agujeros de 3mm de diámetro alejados de cada borde una distancia de 4mm respecto a su centro.

5.4.3.1.2. Colocación de Componentes

Creada ya la plataforma, se comienzan a distribuir los componentes. Para su correcta implementación, se procura colocar los componentes que pertenecen al mismo subsistema lo más cerca posible unos de otros, poniendo una especial atención a aquellos cuyas funciones son las de estabilización de tensión y prevención contra sobrecargas. Estas medidas básicas se toman con el propósito de procurar que haya la menor probabilidad posible de que surjan interferencias o estos componentes no lleguen a desempeñar su trabajo por encontrarse demasiado lejos. Así, se presenta el resultado de estas operaciones.

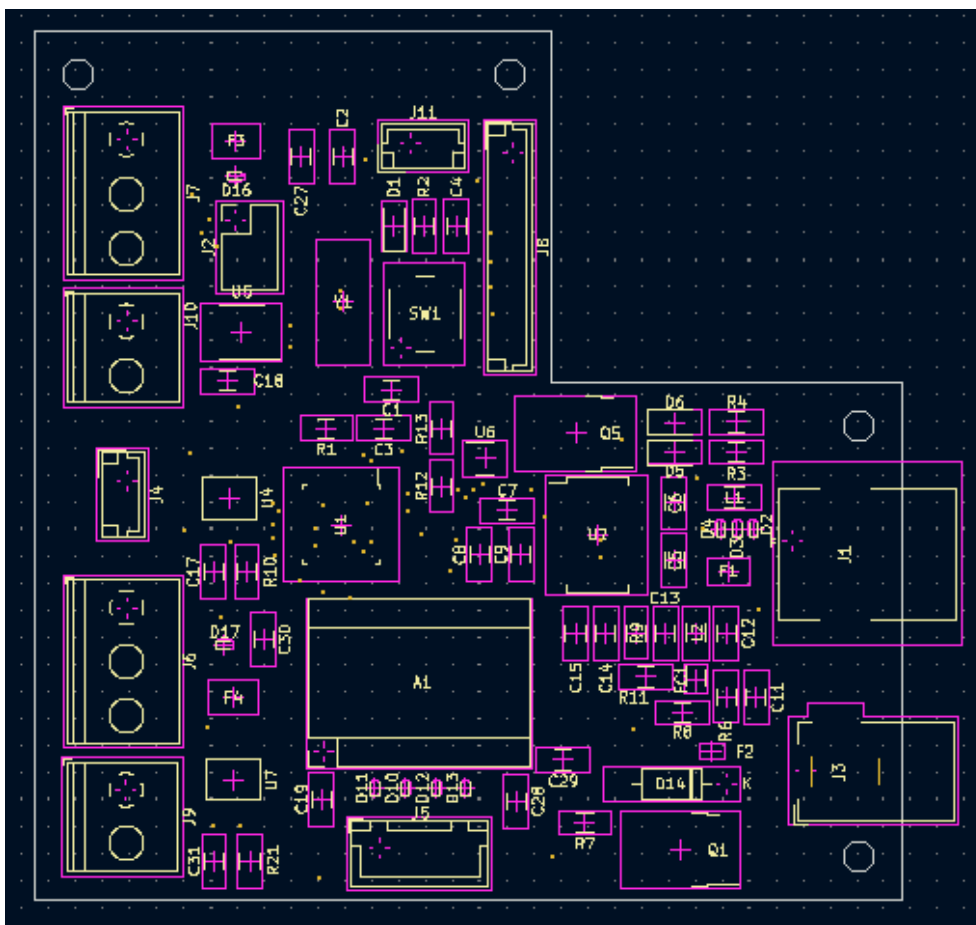


Ilustración 129 - Colocación de Componentes sobre Placa Principal

Como se puede ver y se analizará a continuación, se ha seguido una máxima para la colocación de algunos elementos, orientarlos o aproximarlos a los lugares en los que deban estar vinculados o conectados. Por esta razón, se encuentra la mayoría de los conectores orillados a la izquierda de la placa o en su margen inferior y el puerto USB y el jack para la alimentación en la parte derecha, para atravesar la carcasa y quedar aproximados al exterior.

A continuación, se va a repasar la agrupación de los componentes contenidos en los bloques previamente mencionados. Comenzando por el bloque de alimentación, subsistema de alimentación entrada de 12V, a resaltar el empleo de un diodo de tipo through-hole por previa comprensión de su existencia y funcionalidad e imposibilidad de encontrar un modelo SMD disponible con sus mismas características.

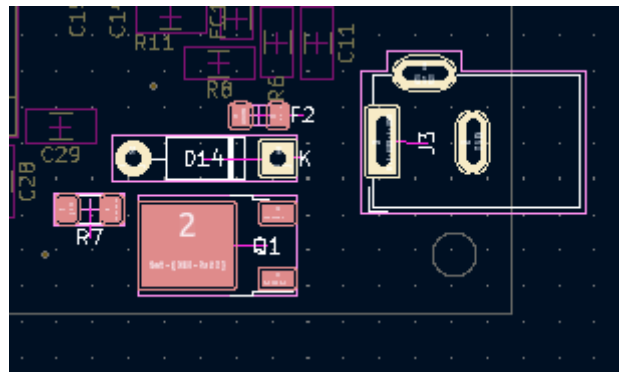


Ilustración 130 - Subsistema Alimentación Entrada 12V PCB Principal

A continuación, resaltados los elementos del subsistema para el switch electrónico de alimentación. Nada que resaltar.

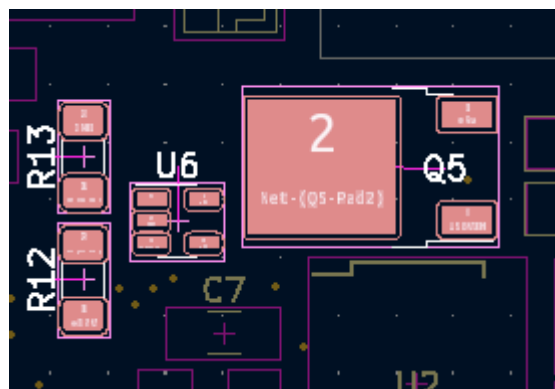


Ilustración 131 - Subsistema Switch Electrónico Alimentación PCB Principal

Desarrollo del Proyecto

A continuación, resaltados los elementos del subsistema para la fuente de alimentación conmutada de 5V.

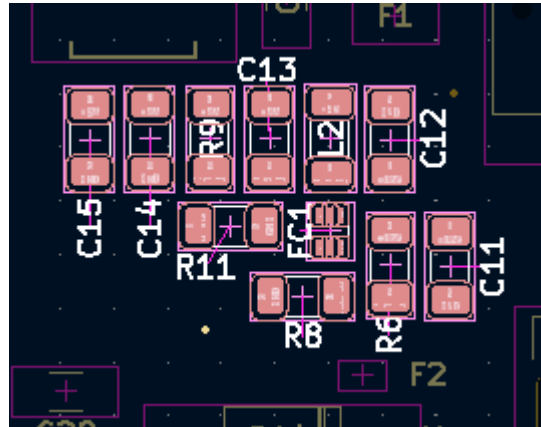


Ilustración 132 - Subsistema Fuente Alimentación Conmutada 5V PCB Principal

A continuación, resaltado el conector para la segunda placa perteneciente a la interfaz de usuario, a resaltar su deslocalizada ubicación por ser unos de los últimos elementos en ser ubicados.

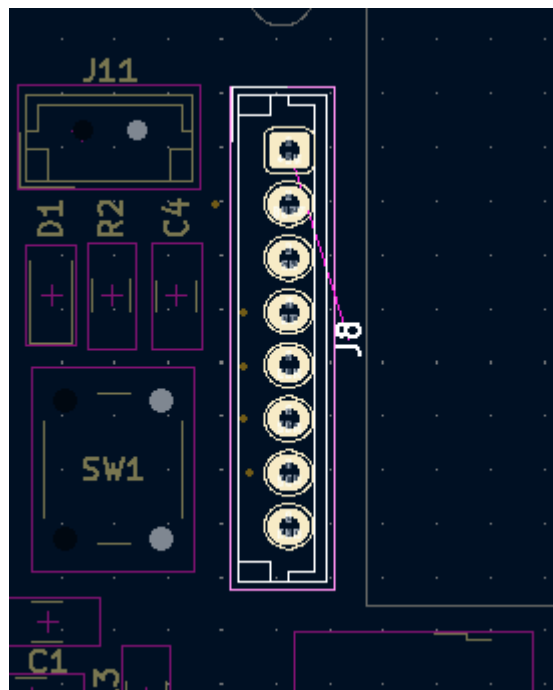


Ilustración 133 - Conector para Placa Interfaz de Usuario PCB Principal

A continuación, resaltados los elementos del subsistema microprocesador, a resaltar la intención de ubicar el microprocesador en la parte más central de la placa de forma que las pistas no tengan que recorrer distancias tan prolongadas.

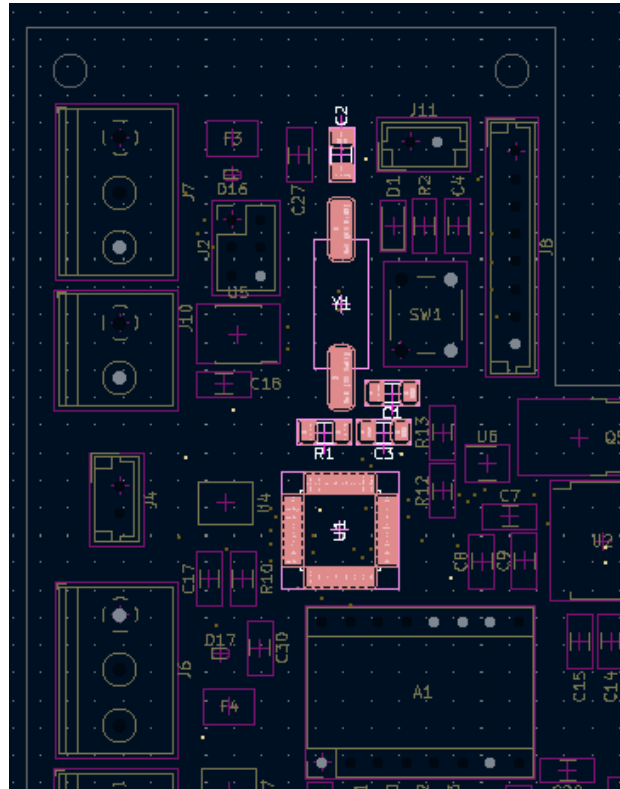


Ilustración 134 - Subsistema Microprocesador PCB Principal

A continuación, resaltados los componentes del subsistema para el mecanismo de reset.

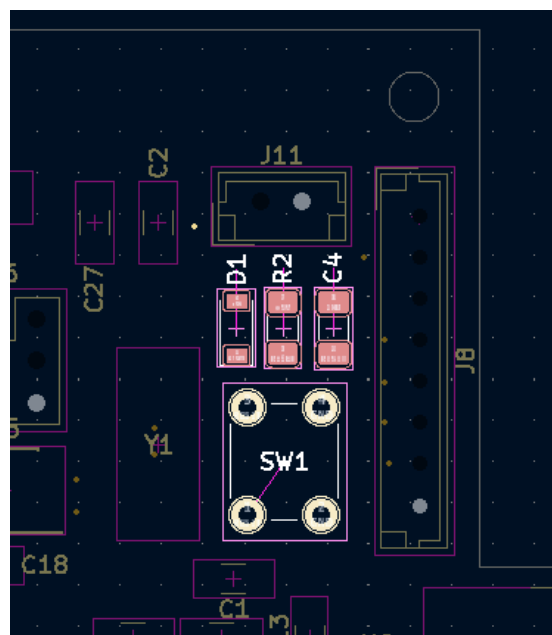


Ilustración 135 - Subsistema Mecanismo de Reset PCB Principal

Desarrollo del Proyecto

A continuación, resaltados los componentes del subsistema para la comunicación por USB.

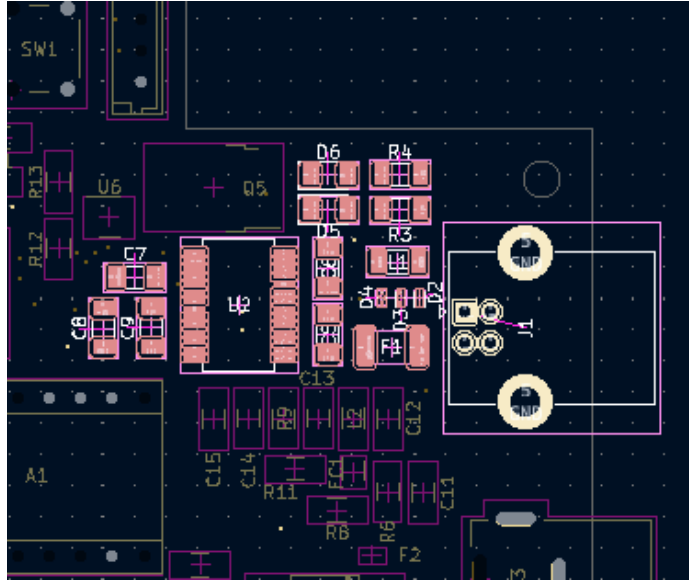


Ilustración 136 - Subsistema Comunicación USB PCB Principal

A continuación, resaltado el conector para la comunicación SPI.

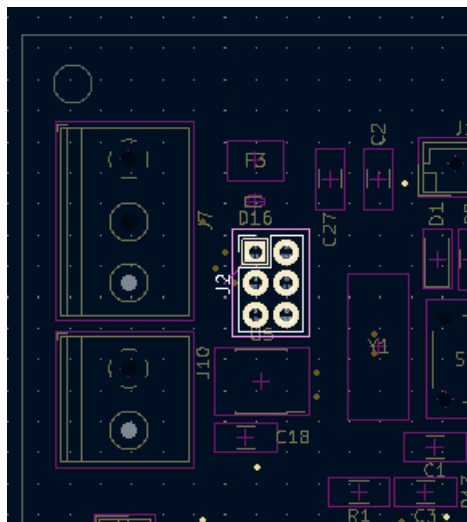


Ilustración 137 - Subsistema Comunicación SPI PCB Principal

A continuación, resaltado el conector para el ventilador de refrigeración general, a resaltar su particular colocación junto con el conector para la placa de la interfaz por ser de los últimos elementos en ser introducidos.

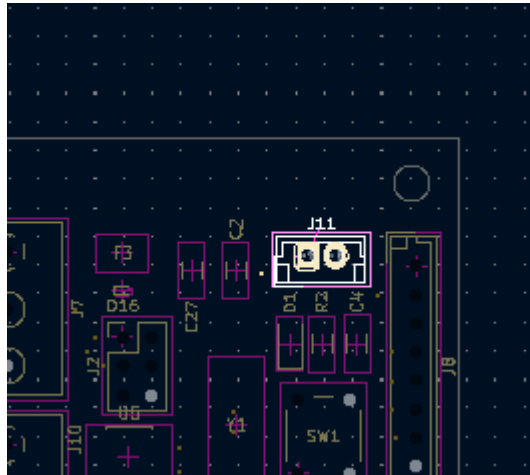


Ilustración 138 - Subsistema Ventilación General PCB Principal

A continuación, resaltados los componentes del subsistema resistencia térmica.

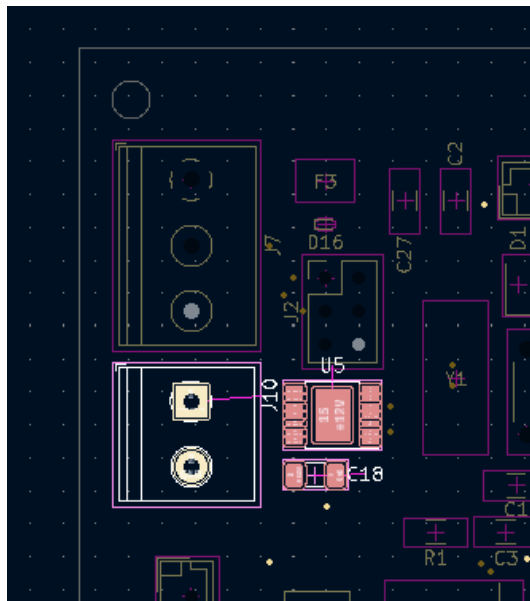


Ilustración 139 - Subsistema Resistencia Térmica PCB Principal

Desarrollo del Proyecto

A continuación, resaltados los componentes del sistema ventilador.

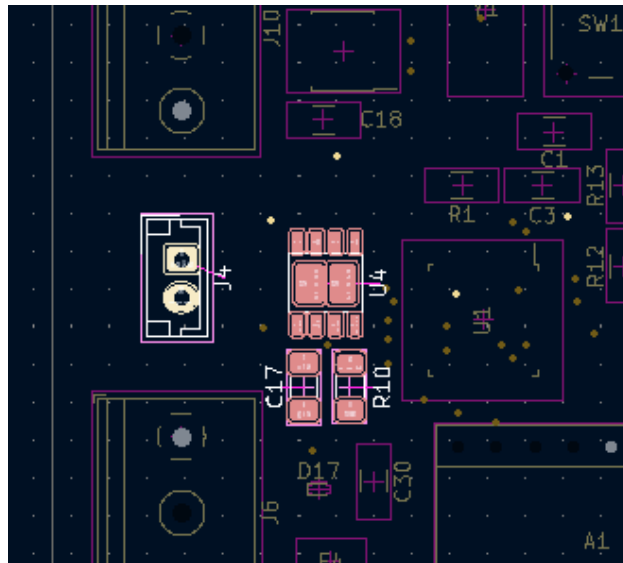


Ilustración 140 - Subsistema Ventilador PCB Principal

A continuación, resaltados los componentes del subsistema sensor temperatura.

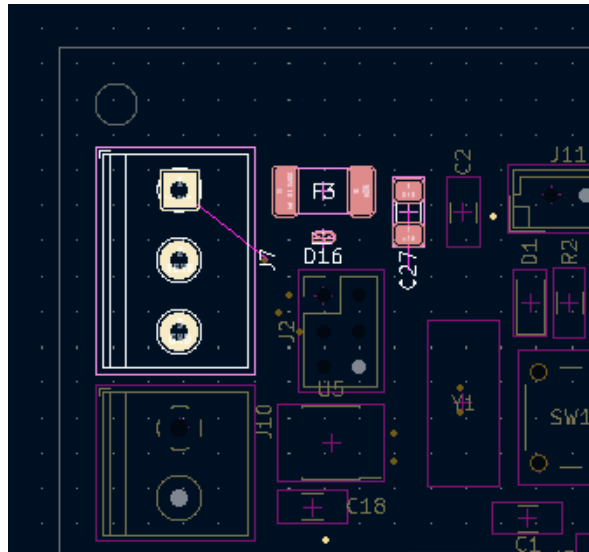


Ilustración 141 - Subsistema Sensor Temperatura PCB Principal

A continuación, resaltados los componentes del subsistema control motor paso a paso.

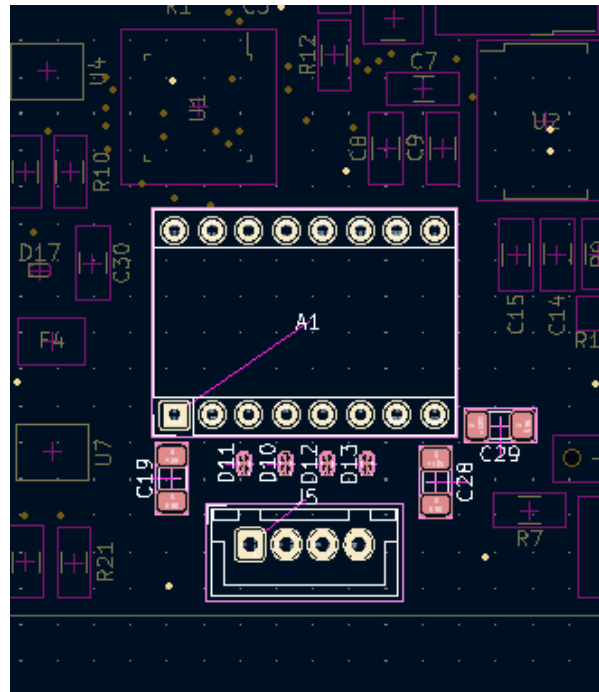


Ilustración 142 - Subsistema Control Motor Paso a Paso PCB Principal

A continuación, resaltados los componentes del subsistema del sensor IR.

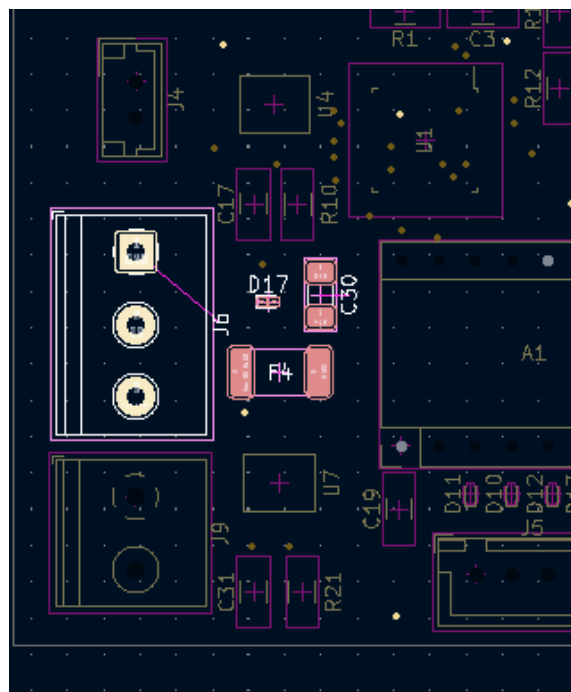


Ilustración 143 - Subsistema Sensor IR PCB Principal

Desarrollo del Proyecto

Y, por último, resaltados los componentes del subsistema LEDs UV-A.

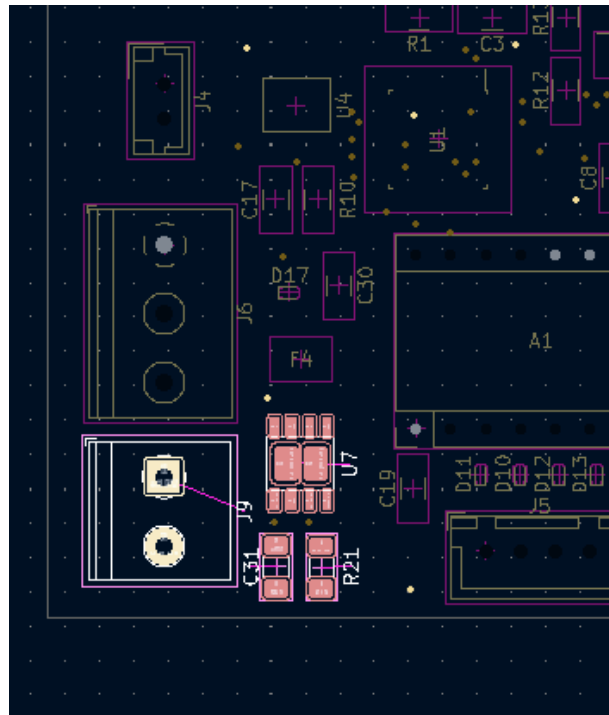


Ilustración 144 - Subsistema LEDs UV-A PCB Principal

5.4.3.1.3. Creación de Pistas y Plano

Tras la colocación de todos los componentes, es necesario generar los enlaces entre ellos para que puedan comunicarse y funcionar como un sistema completo. Para realizar esta tarea se van a emplear tanto pistas, finas líneas de cobre, como planos, superficies de cobre mayores a una pista.

El uso de los planos está justificado bajo la ya anunciada necesidad de requerir dos alimentaciones de forma simultánea, una de 12 voltios para los elementos que más corriente vayan a consumir y la de 5 voltios para la alimentación del resto de elementos de control. Para esta primera, debido a que el flujo de corriente será elevado es necesario establecer un canal lo suficientemente grande como para que no haya problemas de sobrecarga en algún punto de la línea.

Por ende, dado que la placa que se está diseñando tiene únicamente dos superficies de cobre se seguirá la siguiente metodología.

- Uso de pistas para canales de comunicación (procesador, controladores, etc) en capa superior.
- Uso de pistas para alimentación de 5V en capa superior.
- Uso de plano general y planos locales para alimentación de 12V en capa superior.
- Uso de plano general para masa (GND) en capa inferior.

Adicionalmente, se toman las siguientes medidas.

- Grosor de pistas ligeramente menor a pads de componentes.
- Quiebros de las pistas dibujados a 45° para evitar pérdidas.

Desarrollo del Proyecto

Siguiendo todas estas premisas, se obtiene el siguiente resultado.

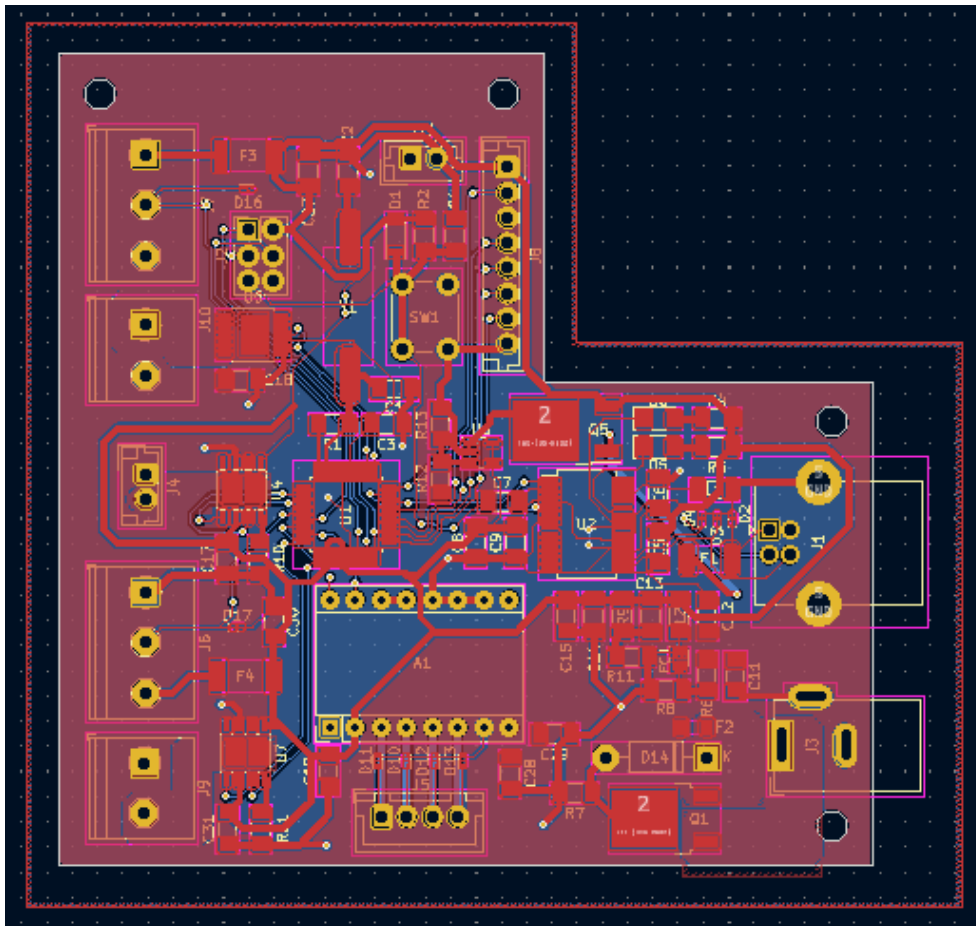


Ilustración 145 - Creación de Pistas y Planos sobre Placa Principal

A continuación, se muestran pormenorizadas las conexiones más relevantes efectuadas sobre la placa principal, comenzando por el anillo de alimentación para las tensiones de 5V. A resaltar dicha forma para procurar que todos los elementos que requieran de esta conexión estén alimentados, a la par que se procura evitar cualquier tipo de sobrecarga por creación de cuello de botella.

Adicionalmente, ha sido necesario el uso de vías entre la capa superior y la inferior para poder conectar pistas que estaban separadas por otras.

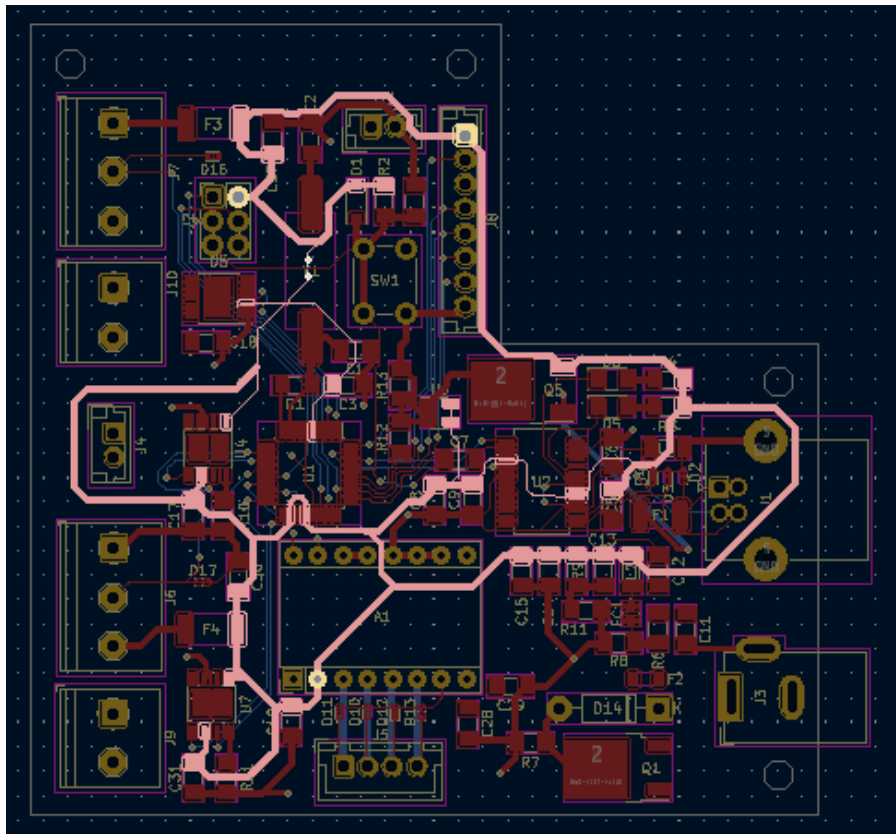


Ilustración 146 - Pistas para Alimentación 5V Placa Principal

Desarrollo del Proyecto

A continuación, se muestran las conexiones en la pista superior para los pads de GND, a resaltar los cortos trayectos sobre la capa superior el uso de vías para transferir la corriente lo antes posible a la capa inferior.

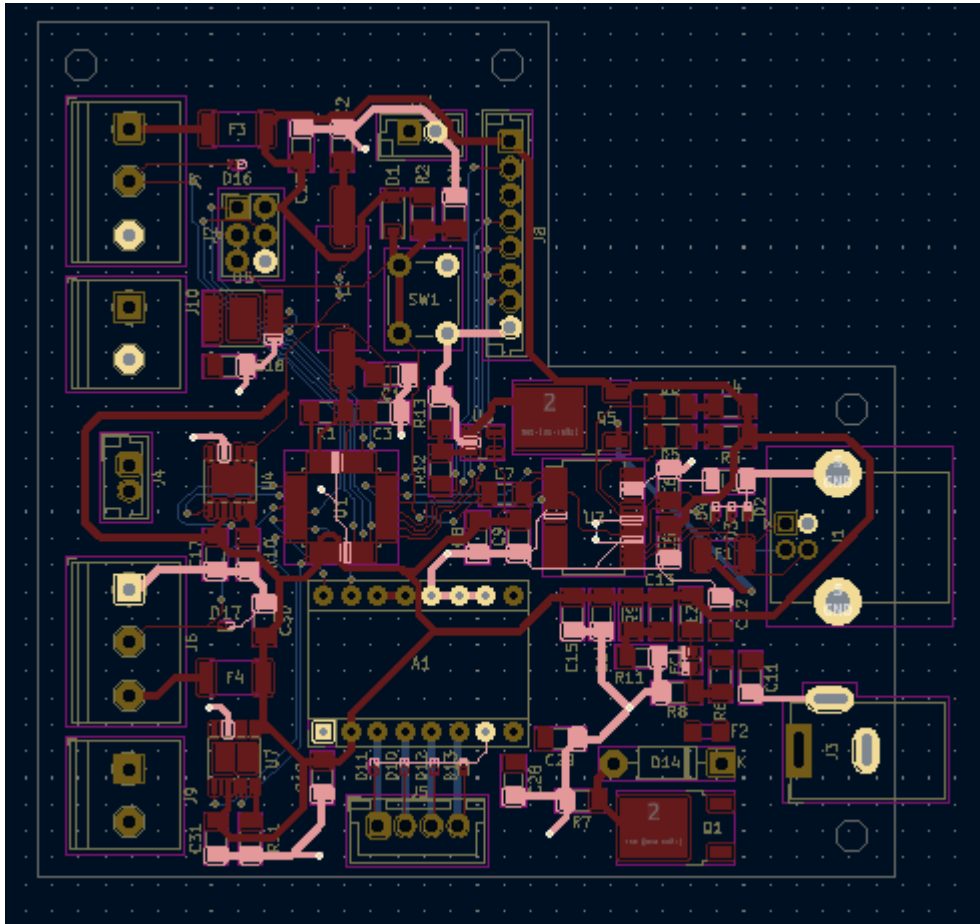


Ilustración 147 - Pistas para GND en Capa Superior PCB Principal

A continuación, se muestra el plano general y los planos locales para el transporte de la corriente de servicio a 12 voltios.

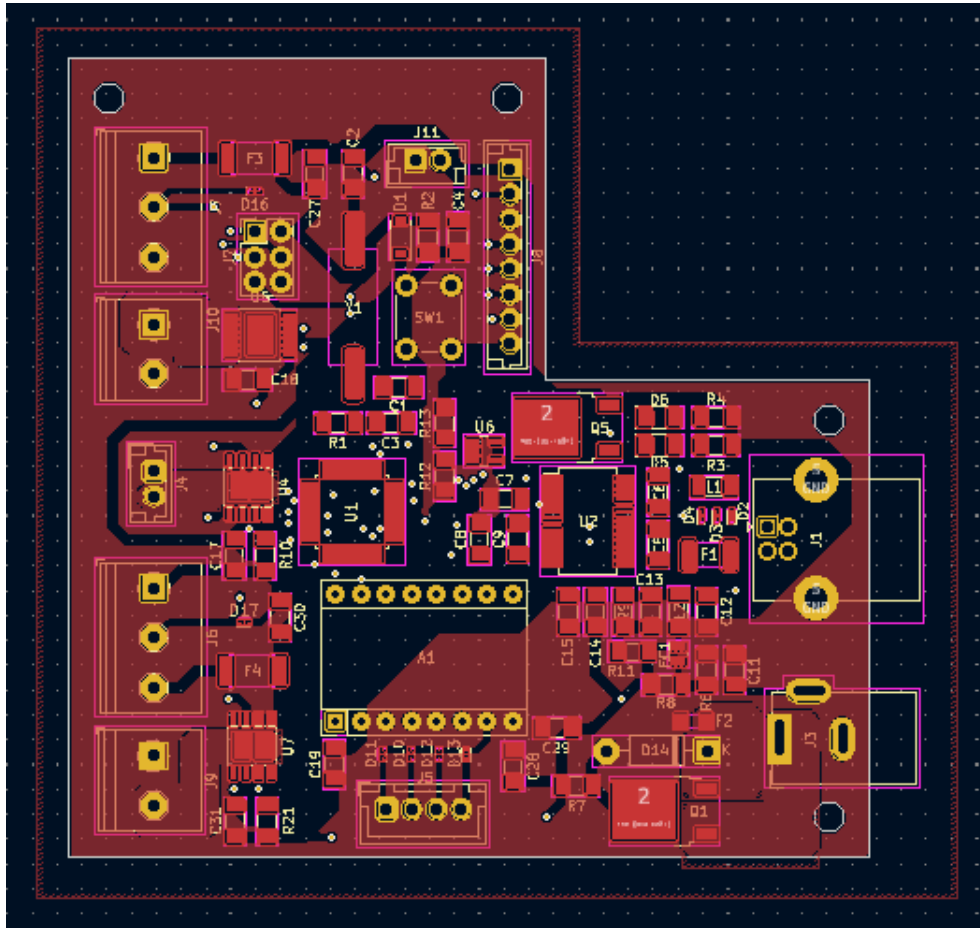


Ilustración 148 - Plano para Alimentación a 12V Placa Principal

Desarrollo del Proyecto

A resaltar los siguientes casos especiales de planos locales. Comenzando por el plano empleado para la fuente conmutada de 12 a 5 voltios, cuyas dimensiones han sido calculadas en la herramienta de KiCad para que la corriente pueda ser transmitida sin causar problemas por sobrecarga.

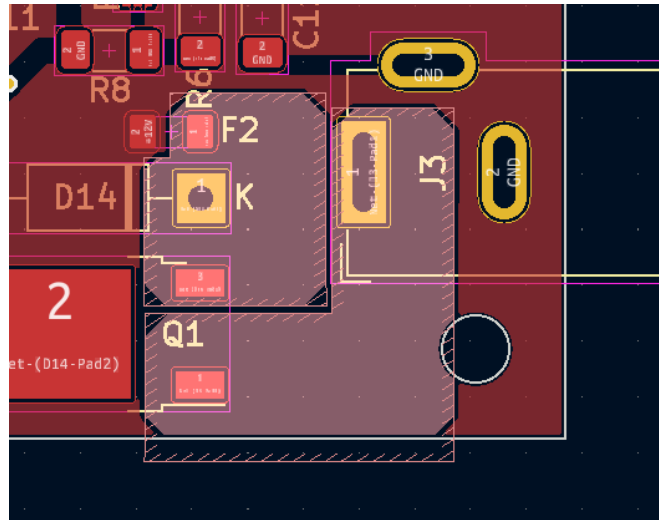


Ilustración 149 - Planos Locales 12V Fuente Conmutada 12 a 5 voltios

A continuación, el plano local empleado para transportar la corriente desde el FET que gestiona la alimentación de los LEDs UV-A hasta el conector, en cuyo cálculo también ha intervenido la herramienta de KiCAD.

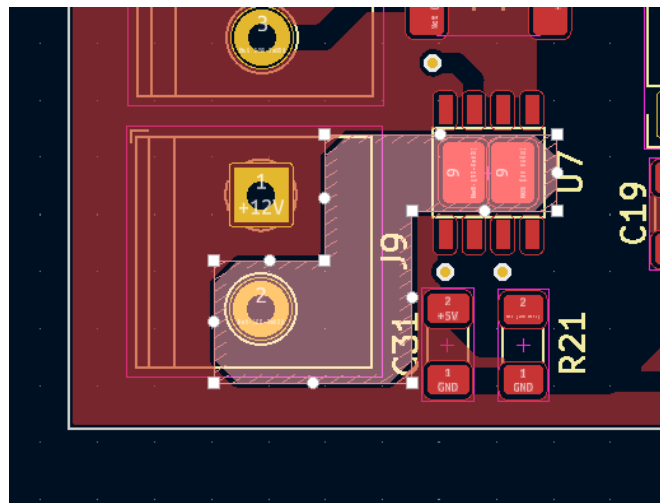


Ilustración 150 - Planos Locales 12V LEDs UV-A

A continuación, el plano local empleado para el ventilador del sistema de calefacción.

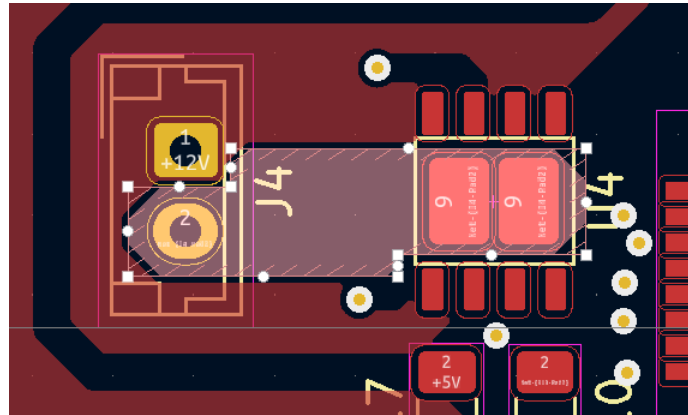


Ilustración 151 - Plano Local Alimentación 12V Ventilador Sistema de Calefacción

Y, por último, el plano local para la la alimentación de la resistencia térmica.

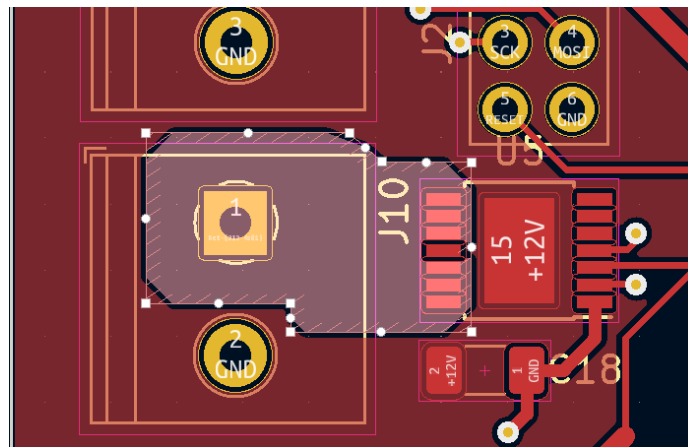


Ilustración 152 - Plano Local Alimentación 12V Resistencia Térmica

Desarrollo del Proyecto

Por último, se presenta el plano general empleado para el GND ubicado en la parte posterior de la placa.

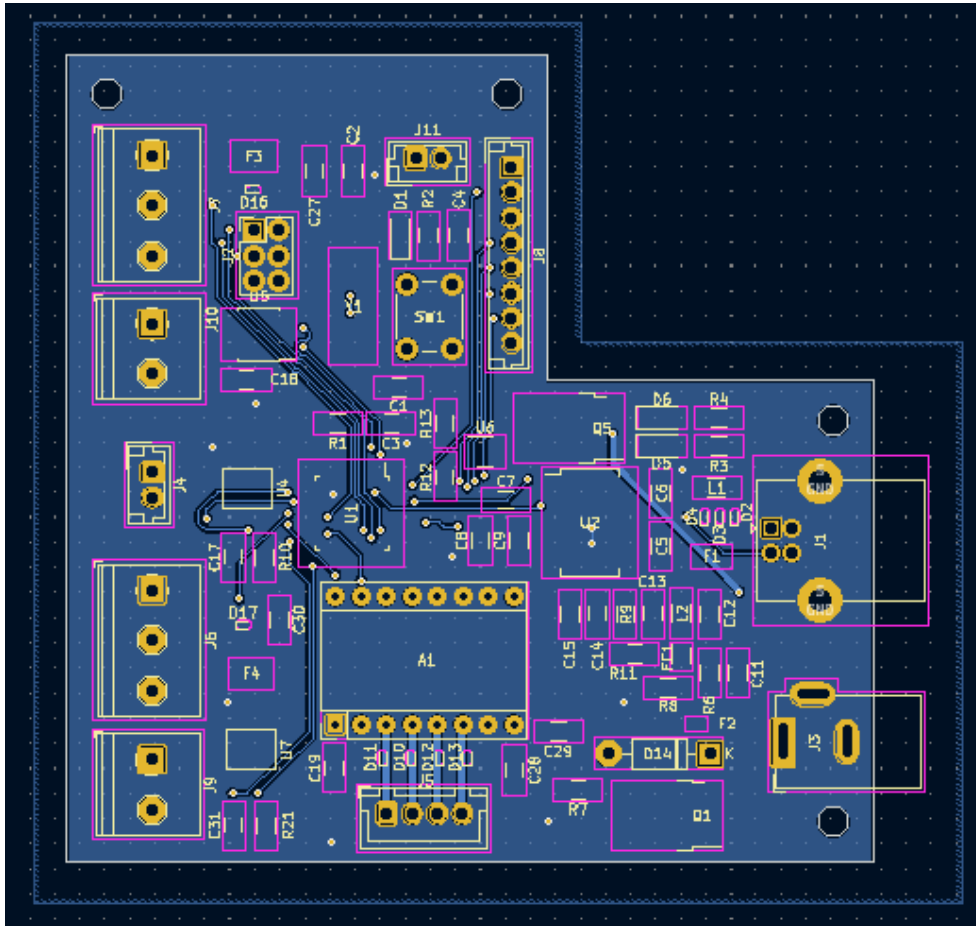


Ilustración 153 - Plano para GND Placa Principal

5.4.3.1.4. Introducción de Modelos 3D

Por último, para dar por terminado el diseño de la placa principal, se buscan todos los modelos 3D correspondientes a los componentes empleados y que no aparecen sobre la placa en la visualización del modelo 3D.

A continuación, se muestran renderizados de la apariencia final de la placa.

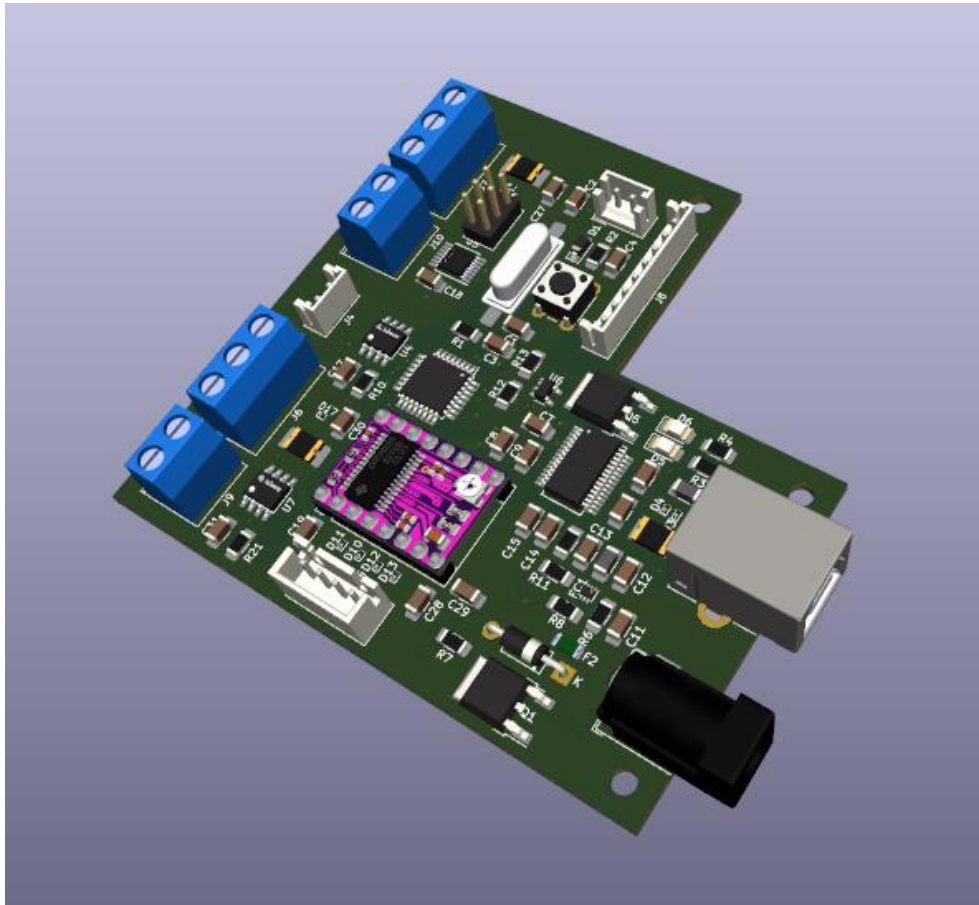


Ilustración 154 - Renderizado 3D General PCB Principal

Desarrollo del Proyecto

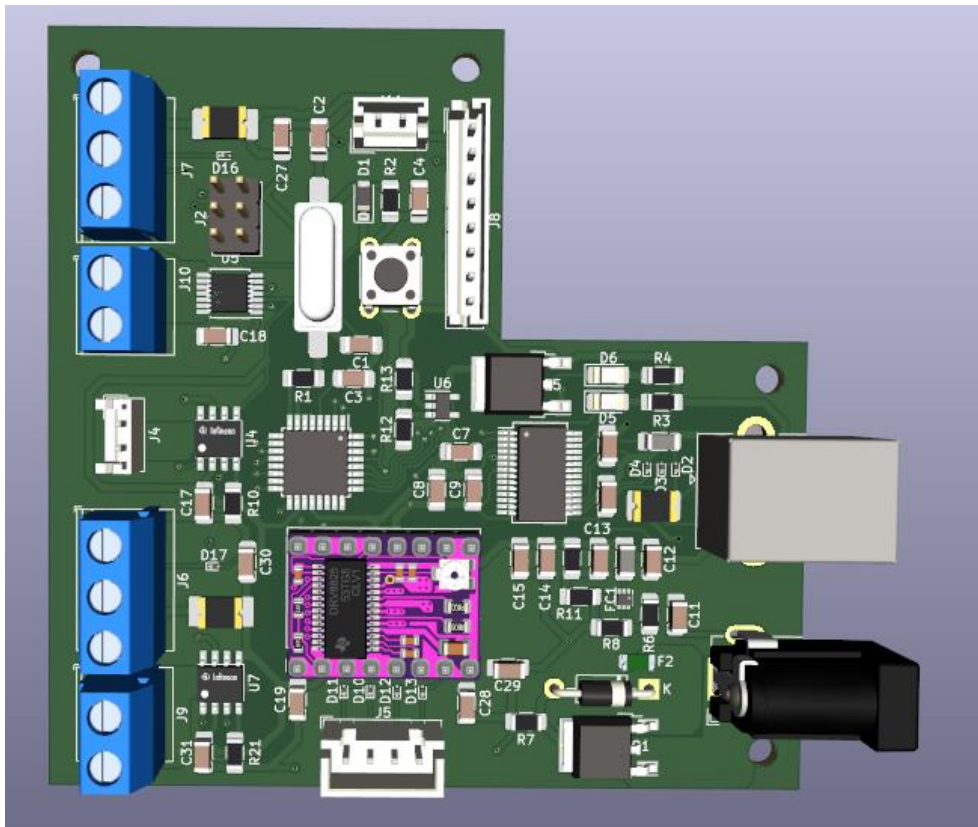


Ilustración 155 - Renderizado 3D Vista Cenital PCB Principal

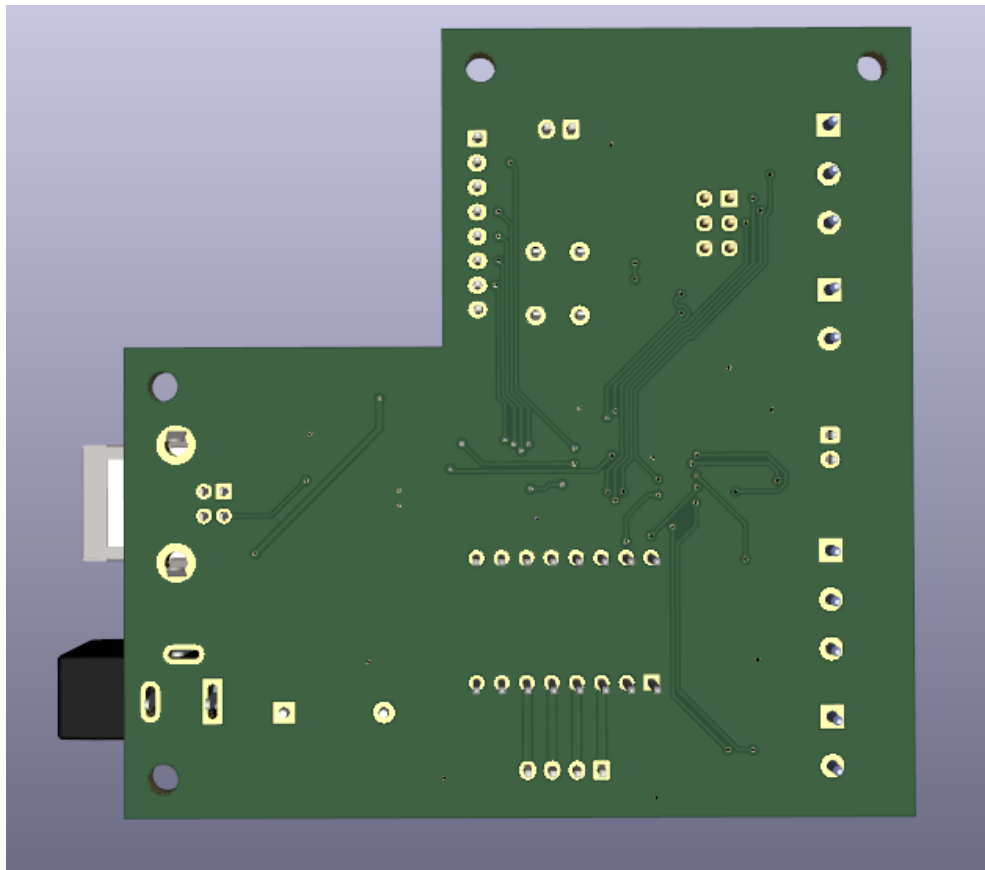


Ilustración 156 - Renderizado 3D Vista Inferior PCB Principal

5.4.3.2. Placa para la Interfaz

De igual manera que con los esquemas electrónicos se inicia el diseño de la PCB de la interfaz de usuario, una placa que contendrá íntegramente los sistemas de aviso acústico, pantalla y encoder rotativo.

5.4.3.2.1. Preparación de la Superficie

Comenzando de igual modo que en la placa principal, se establece la superficie de trabajo sobre la que se depositarán los componentes relativos a la interfaz de usuario.

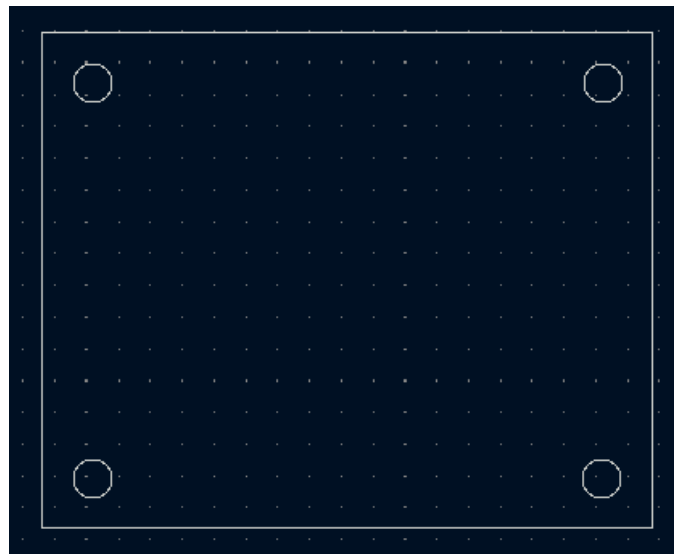


Ilustración 157 - Definición Perímetro Placa Interfaz

Esta nueva placa rectangular cuenta con unas dimensiones de 48mm por 39 mm, con 4 orificios de 3mm de diámetro alejados 4mm de los límites.

5.4.3.2.2. Colocación de Componentes

Definidos los límites de la placa destinada para la interfaz llega el momento de posicionar los componentes sobre su superficie. Tras realizar el trabajo, se observa el siguiente resultado.

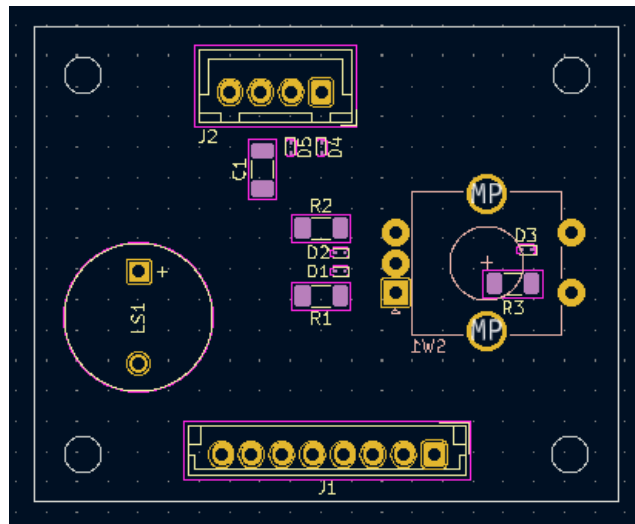


Ilustración 158 - Colocación de Componentes sobre Placa Interfaz

A resaltar la única peculiaridad en esta placa al tener uno de los componentes ubicado sobre la superficie contraria al resto, haciendo referencia al encoder rotativo. Este componente deberá estar orientado hacia el exterior de la máquina para que el usuario pueda controlarlo.

A continuación, se va a repasar la agrupación de los componentes contenidos en la placa de la interfaz de usuario, comenzando por el conector con la placa principal, ubicado en la parte inferior de la placa.

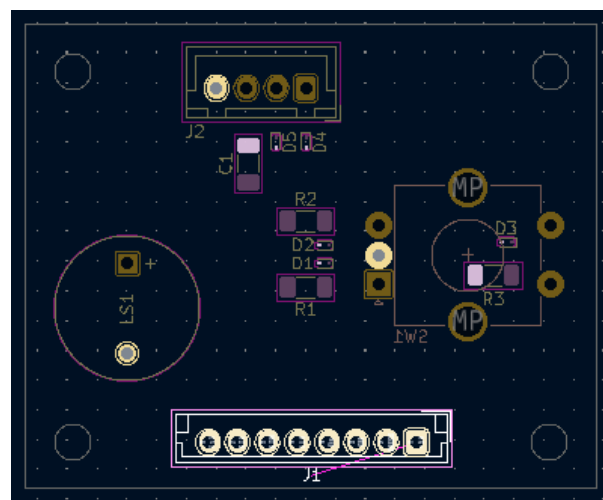


Ilustración 159 - Subsistema Conector Placa Principal en PCB Interfaz

Desarrollo del Proyecto

A continuación, resaltado el buzzer para el aviso sonoro.

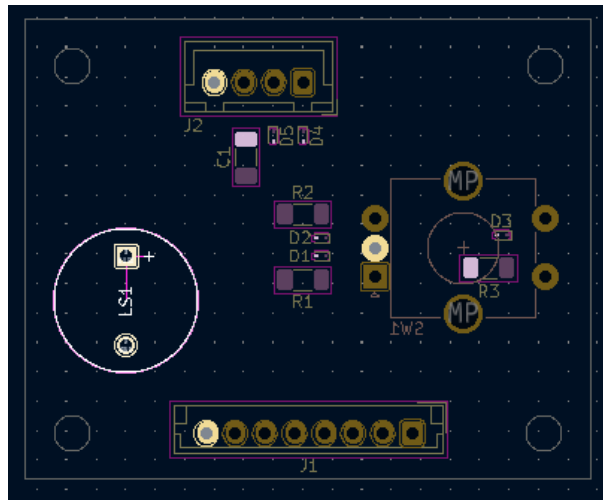


Ilustración 160 - Subsistema Avisador Sonoro PCB Interfaz

A continuación, resaltados los elementos pertenecientes al subsistema de la pantalla.

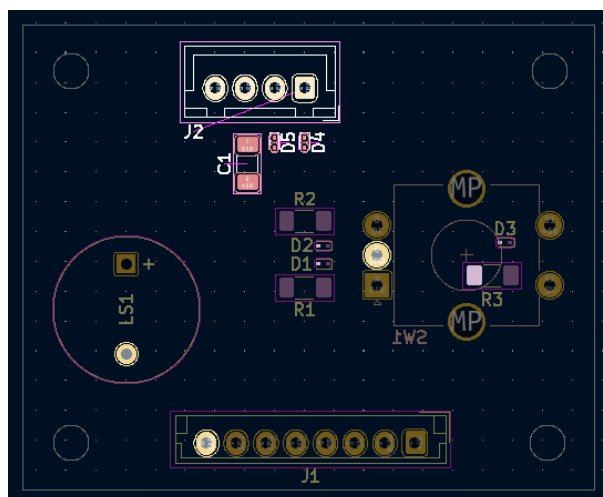


Ilustración 161 - Subsistema Pantalla PCB Interfaz

Por último, resaltados los elementos pertenecientes al subsistema del encoder rotativo, con la peculiaridad de estar, este último, orientado al otro lado de la placa.

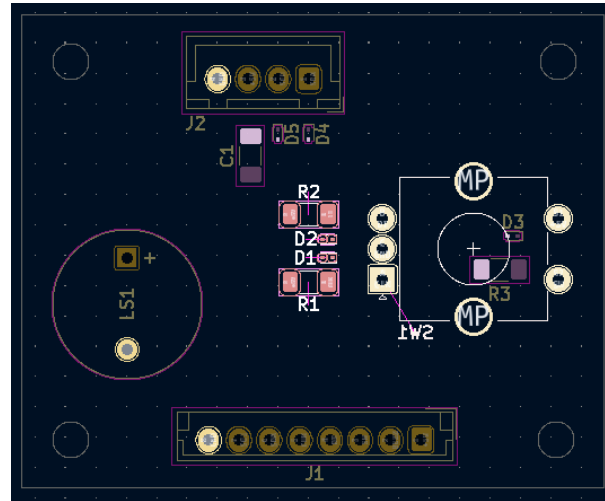


Ilustración 162 - Subsistema Encoder Rotativo PCB Interfaz

Desarrollo del Proyecto

5.4.3.2.3. Creación de Pistas y Plano

Tras la colocación de todos los componentes, se procede a generar los enlaces entre ellos. Para ello, se va a seguir haciendo uso de pistas y planos, siguiendo la siguiente metodología.

- Uso de pistas para canales de comunicación en capa superior.
- Uso de plano general para alimentación de 5V en capa superior.
- Uso de plano general para GND en capa inferior.

Adicionalmente, se toman las siguientes medidas.

- Grosor de pistas ligeramente menor a pads de componentes.
- Quiebros de las pistas dibujados a 45° para evitar pérdidas.

Siguiendo estas premisas, se obtiene el siguiente resultado.

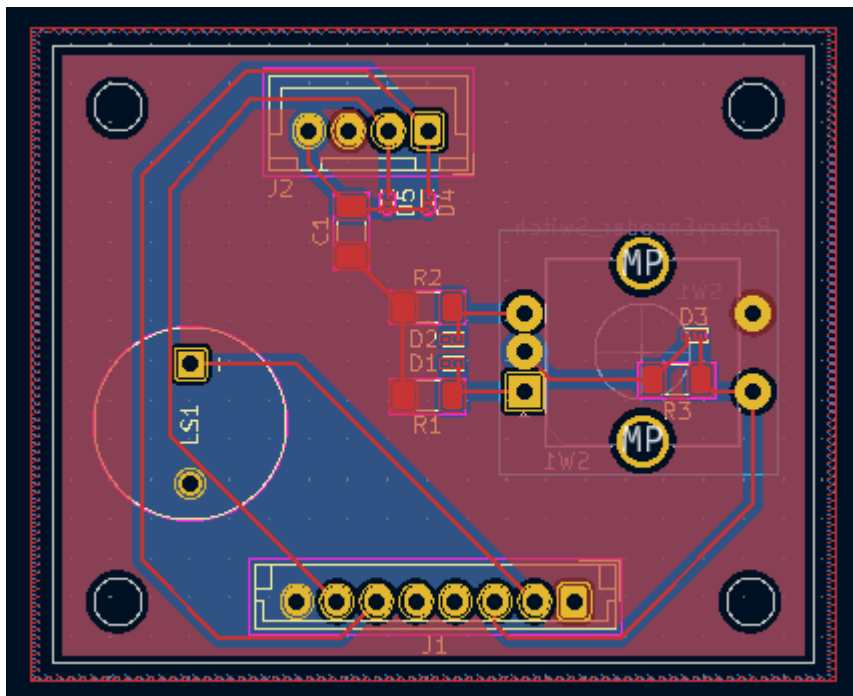


Ilustración 163 - Creación de Pistas y Planos sobre Placa Interfaz

A continuación, se muestran detalladas las conexiones trazadas sobre la placa de la interfaz, comenzando por las de la capa superior, alimentación de 5V y señales.

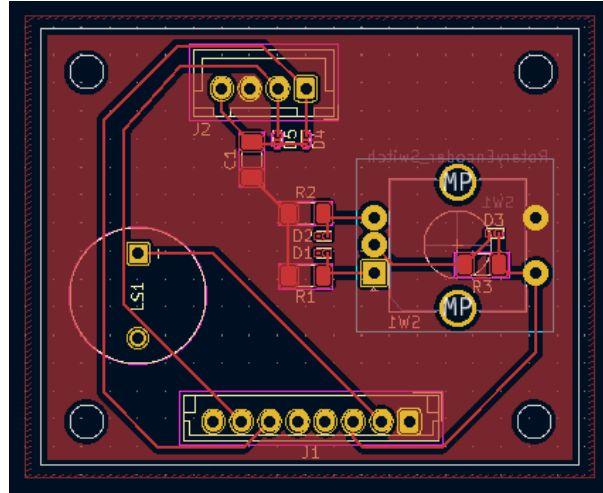


Ilustración 164 - Conexiones Capa Superior PCB Interfaz

Por último, se muestra el plano general para GND en la capa inferior.

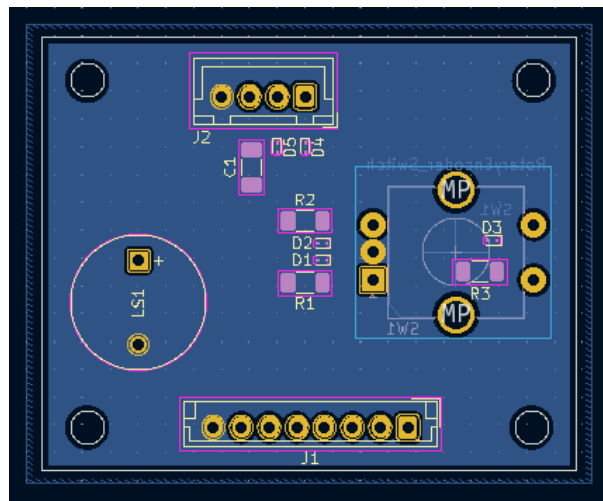


Ilustración 165 - Conexiones Capa Inferior PCB Interfaz

5.4.3.2.4. Introducción de Modelos 3D

Por último, para dar por terminado el diseño de la placa de la interfaz de usuario, se buscan todos los modelos 3D correspondientes a los componentes empleados y que no aparecen sobre la placa en la visualización del modelo 3D.

A continuación, se muestran renderizados de la apariencia final de la placa.

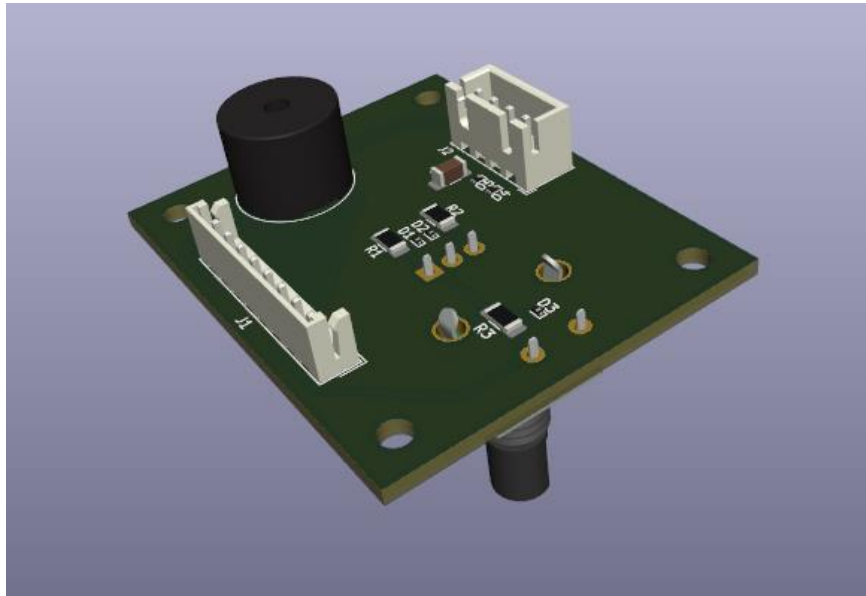


Ilustración 166 - Renderizado 3D General PCB Interfaz

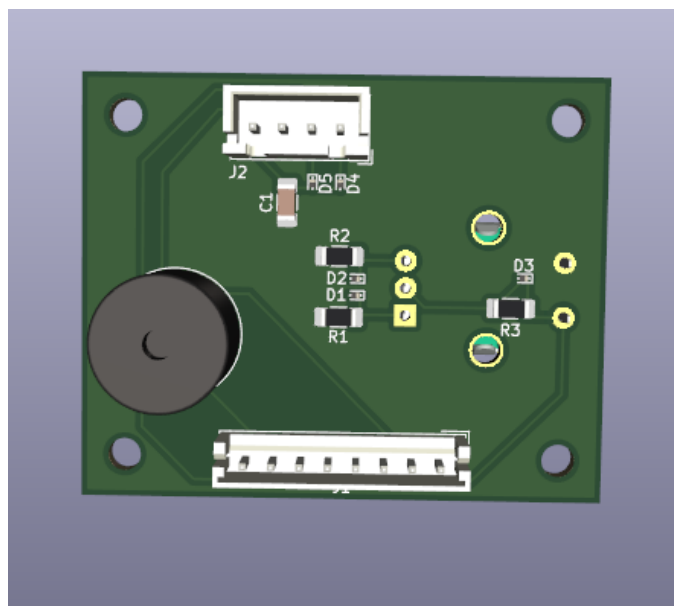


Ilustración 167 - Renderizado 3D Vista Cenital PCB Interfaz

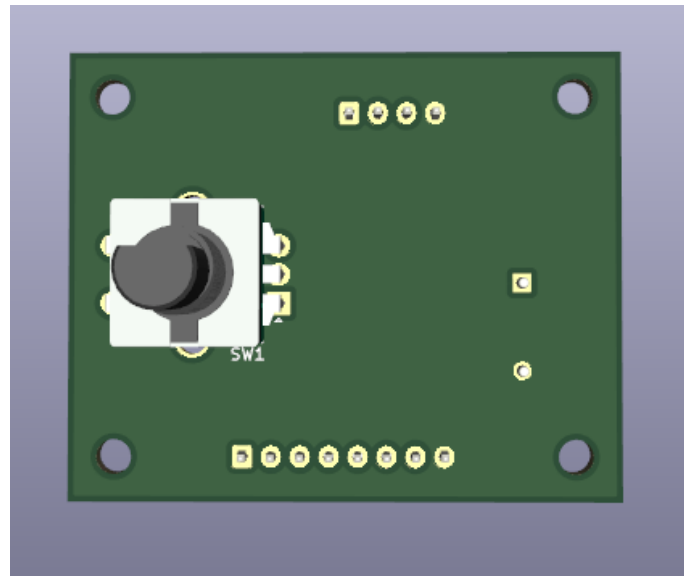


Ilustración 168 - Renderizado 3D Vista Inferior PCB Interfaz

5.4.3.3. Placa para la Iluminación

De igual manera que con los esquemas electrónicos se inicia el diseño de la PCB de la interfaz de usuario, una placa que contendrá íntegramente la fuente conmutada de 12 a 3.85 voltios y los LEDs UV-A.

5.4.3.3.1. Preparación de la Superficie

Comenzando de igual modo que en las dos placas anteriores, se establece la superficie de trabajo sobre la que se depositarán los componentes relativos a la iluminación, en esta ocasión, retomando la toma de forma de la placa integrada en la Wash&Cure de Anycubic.

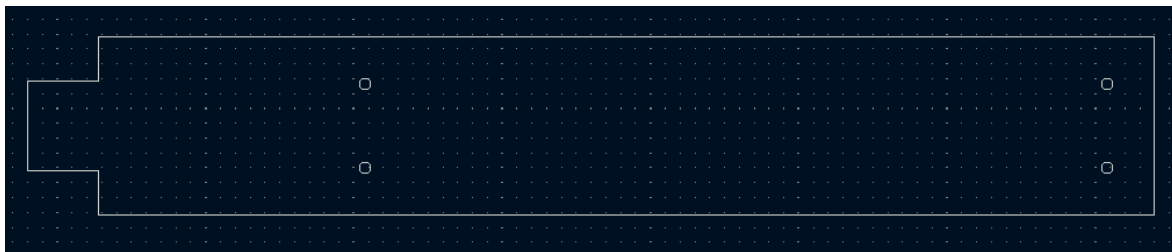


Ilustración 169 - Definición Perímetro Placa Iluminación

En esta ocasión, la placa cuenta con unas dimensiones de 190mm por 30mm, incluyendo la pequeña prolongación consistente en retirar dos rectángulos de 12mm por 7,5mm. Cuatro orificios de 2mm de diámetro servirán para atornillar la placa en su posición final.

5.4.3.3.2. Colocación de Componentes

Definidos los límites de la placa para la iluminación, llega el momento de colocar los componentes sobre su superficie. Tras realizar el trabajo, se observa el siguiente resultado.

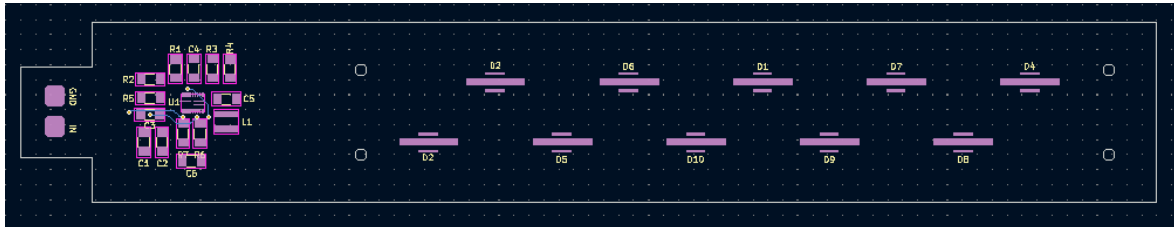


Ilustración 170 - Colocación de Componentes sobre Placa Iluminación

A resaltar varias peculiaridades; primero, la distribución en zig-zag de los LEDs emulando lo observado en la Wash&Cure de Anycubic. Por otro lado, la fuente conmutada apartada de los LEDs para evitar cualquier tipo de interferencia lumínica (zonas oscuras) que pudieran producir los componentes.

En esta ocasión, dado que los componentes se encuentran bien diferenciados no es necesario mostrar aumentos de imagen.

5.4.3.3.3. Creación de Pistas y Plano

Tras la colocación de todos los componentes, se procede a establecer los enlaces entre ellos. Para ello, se va a seguir haciendo uso de pistas y planos, siguiendo la siguiente metodología.

- Uso de plano general en la capa superior para la alimentación de 12V desde el conector hasta la fuente conmutada.
- Uso de plano general en la capa superior para la alimentación de 3.85V desde la fuente conmutada hasta los LEDs.
- Uso de plano general en la capa superior para GND hasta el conector.

Adicionalmente, se toman las siguientes medidas.

- Grosor de pistas ligeramente menor a pads de componentes.
- Quiebros de las pistas dibujados a 45° para evitar pérdidas.

Siguiendo estas premisas, se obtiene el siguiente resultado.

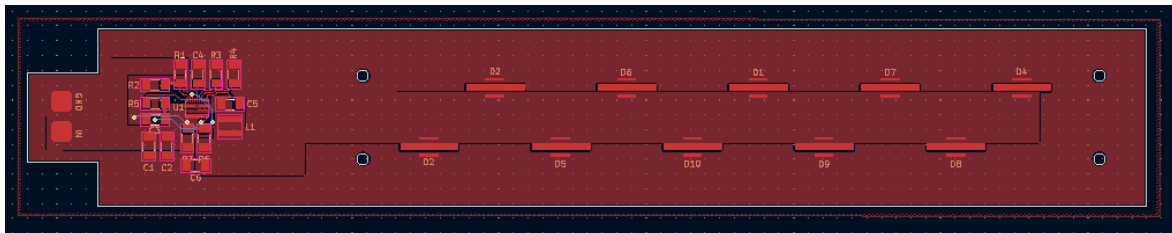


Ilustración 171 - Creación de Pistas y Planos sobre Placa Iluminación

A continuación, se muestran detalladas las conexiones trazadas sobre la placa de la interfaz, comenzando por el plano de alimentación de 12V. De nuevo, se ha empleado la herramienta de cálculo de grosores de pista de KiCAD para configurar las dimensiones de este plano.

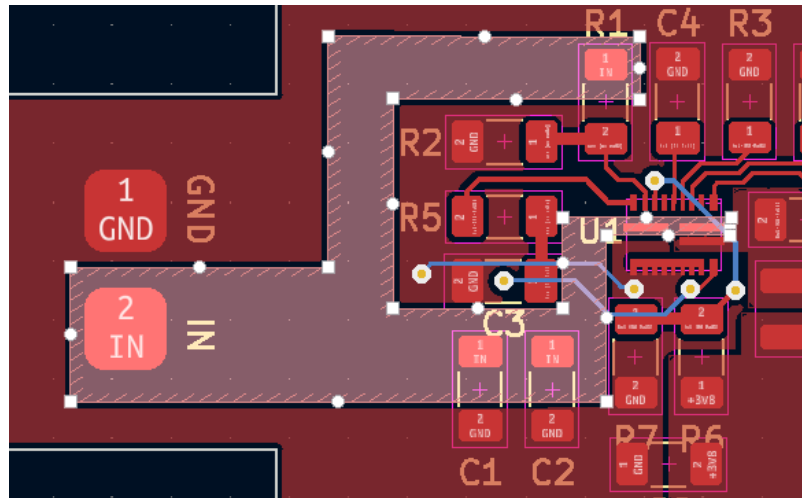


Ilustración 172 - Plano Alimentación 12V Placa Iluminación

A continuación, se muestra el plano de alimentación de 3.85V.

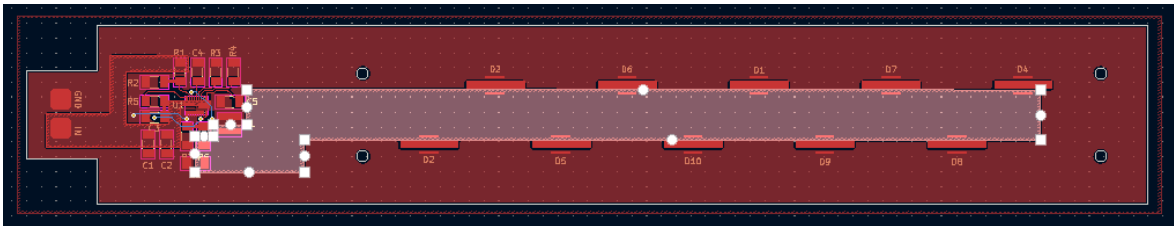


Ilustración 173 - Plano Alimentación 3.85V Placa Iluminación

Por último, se muestra el plano de GND.

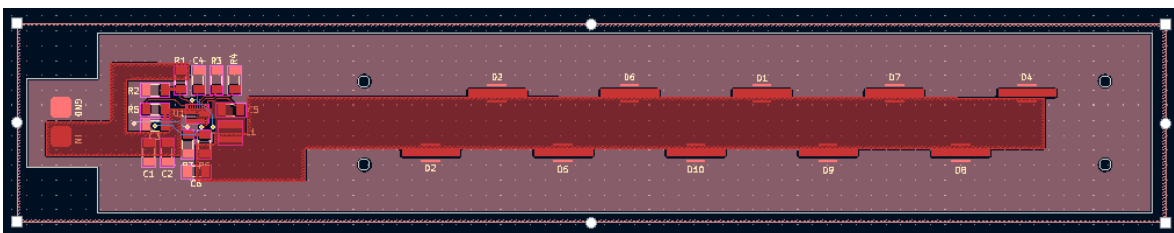


Ilustración 174 - Plano de GND Placa Iluminación

5.4.3.3.4. Introducción de Modelos 3D

Por último, para dar por terminado el diseño de la placa de iluminación, se buscan todos los modelos 3D correspondientes a los componentes empleados y que no aparecen sobre la placa en la visualización del modelo 3D.

A continuación, se muestran renderizados de la apariencia final de la placa.

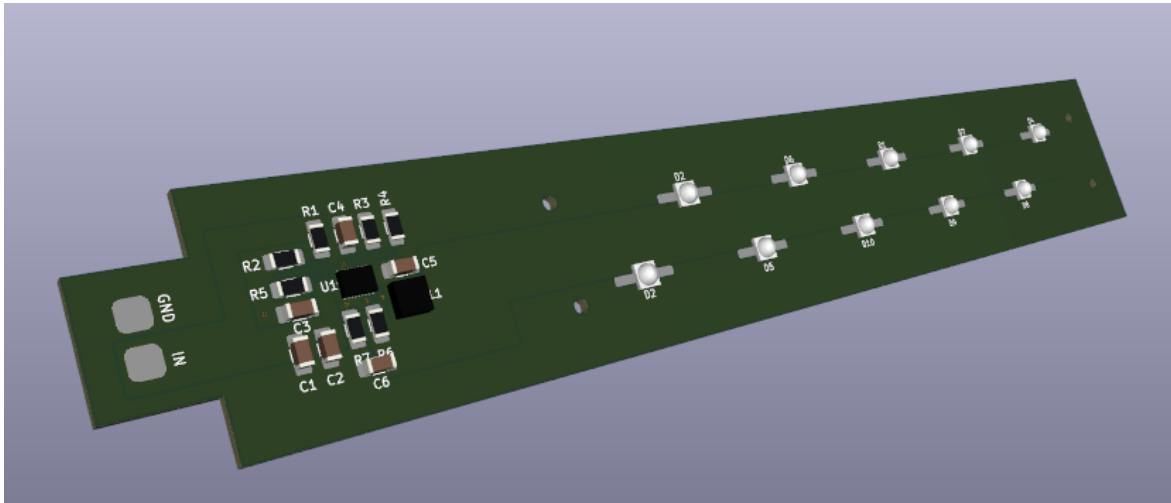


Ilustración 175 - Renderizado 3D General PCB Iluminación

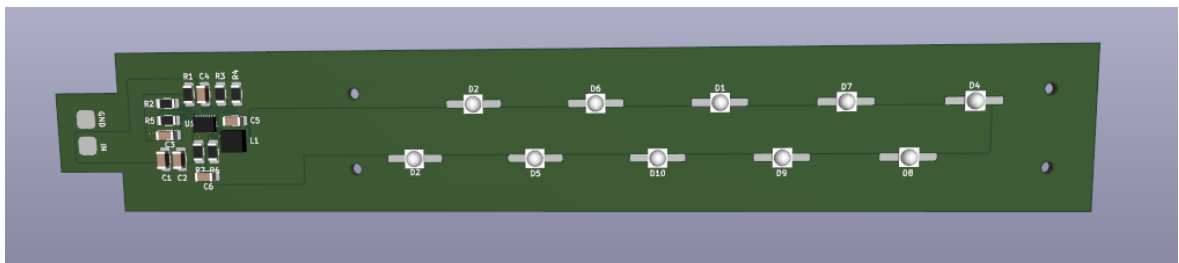


Ilustración 176 - Renderizado 3D Vista Cenital PCB Iluminación

5.4.4. Impresiones en el uso de KiCAD

Durante el desarrollo de esta fase se ha empleado el software KiCAD, en su versión 6.0, para la creación de los esquemas electrónicos y las placas de circuito impreso. Fruto de este uso continuado se han obtenido múltiples impresiones interesantes del uso del programa, estas se exponen a continuación.

- KiCAD es un programa de código libre, gratuito, con una potencia muy interesante dada la variedad de herramientas que ofrece al margen de las esperadas para el diseño y creación de placas de circuito impreso (calculadoras, conversores, etc).
- La curva de aprendizaje de KiCAD es bastante suave. La propia comunidad creadora del software ha creado documentación para permitir un aprendizaje muy ágil y pragmático. Una vez leída, más concretamente el esquemático del flujo de trabajo, es muy sencillo navegar por el programa.
- Una vez se comienza a utilizar el programa, es muy sencillo relacionar los símbolos con los elementos y opciones que el usuario más va a necesitar, facilitando así su tarea creativa.
- Dentro del módulo del editor de esquemas, el proceso creativo es relativamente sencillo dada la elección de los símbolos para la interfaz de usuario.
- En ocasiones, la rejilla (grid) del fondo fallaba, dejando en una posición ligeramente diferente los nuevos elementos con respecto a los viejos. Todavía hay que depurar algunos "bugs" menores dentro del programa.
- Existe una vasta variedad de símbolos a elegir, correlativos a componentes reales, que ya están integrados dentro de las librerías del programa. Sin embargo, también hay muchos otros que no están, para lo que existe un módulo de gestión de símbolos.
- Pese a que la tarea de crear un símbolo no es complicada, se agradecería la inclusión de "símbolos ya prediseñados" para apurar al máximo las características estéticas en diseño del nuevo componente.
- El paso del esquema electrónico a la placa de circuito impreso no es completamente intuitivo para una persona que no esté familiarizada con esta tipología de interfaz de usuario o sea novicia en software de creación de circuitos electrónicos. Creo que la inclusión de un gestor para la generación del archivo con la "netlist" sería necesario.

Desarrollo del Proyecto

- En general, ha sido cómoda la colocación de todos los componentes sobre la placa de circuito impreso y su enlazado mediante pistas y planos. Sin embargo, se apreciaría algún tipo de sistema indicador de distancias que estuviera superpuesto en pantalla según se van dibujando. Esto permitiría tener más constancia del grosor de las pistas, la distancia entre ellas o la realidad de las dimensiones de los elementos dispersos por el sistema diseñado.
- Se agradecería una mejor separación de las categorías y usos de las capas de la PCB, ayudando a la comprensión por parte del usuario del programa, especialmente en caso de un novato.
- En una ocasión, el programa falló desligando todos los símbolos de sus huellas, debiendo volver a vincularlas. Este fallo pudo darse por ubicar la carpeta del archivo en un almacenamiento en nube, en vez de en el propio equipo en el que se ejecutaba el programa.
- Se agradecería la inclusión de algún tipo de sistema simulador para el testeo eléctrico de los sistemas dados ciertos parámetros de entrada (tensión, corriente, etc).

5.5. FASE 5 - PLANTEAMIENTO DEL LAYOUT

Del mismo modo que, previamente, se han utilizado los diagramas de bloques para refinar la idea de un diseño electrónico y, además, permitir una aproximación hacia este lo más coherente posible con respecto al propósito de la máquina; en esta fase, el momento de plantear el layout, se persigue una aproximación del diseño físico de la máquina.

Una preparación ideológica de los volúmenes con los que se contará para organizar posteriormente los elementos que interesa introducir con respecto a los antecedentes analizados y, simultáneamente, aquellos componentes que se introduzcan como novedad a consecuencia del propósito de este proyecto.

5.5.1. Áreas Operativas de la Máquina

En primer lugar, se deberá volver a fijar la atención en los antecedentes estudiados y recordar que todas las máquinas estudiadas constaban, principalmente, de dos grandes cámaras en las que se organizaban los diversos componentes. Se va a plantear el siguiente esquema para facilitar la comprensión de la temática.

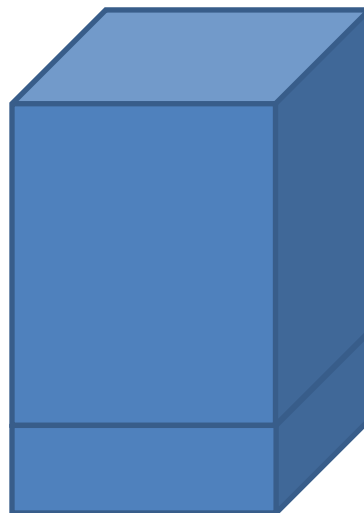


Ilustración 177 - Layout Básico en Referencia a Antecedentes

Dado este esquema, en los antecedentes se observa que en la cámara superior el operario llevaba a cabo las diferentes actividades relacionadas con el postprocesado de las piezas; esto es, el lavado y curado. Ya que, aunque bien ambas actividades se organizaran en la misma máquina o en dos distintas, siempre se reservaba la sección superior para tales fines.

Desarrollo del Proyecto

A consecuencia de esto, en la sección inferior se debía dar cabida a la mayoría de la circuitería y elementos electromecánicos que hicieran posible el funcionamiento del aparato.

En los siguientes dos puntos, en base a los antecedentes, se va a analizar qué grupos de elementos serán requeridos y cómo se deberán estructurar entre ambas cámaras de la máquina.

5.5.1.1. Área de Trabajo

El área de trabajo, o cámara superior, es el primero de los dos volúmenes que se va a analizar dentro de los límites completos de la estructura de la máquina. Por el nombre que ha recibido, la descripción escrita previamente y en base a los antecedentes, se sabe que es la única zona a la que un usuario que no desee desmontar el aparato podrá acceder para llevar a cabo las diferentes tareas que componen el postprocesado de una pieza de resina impresa en 3D.

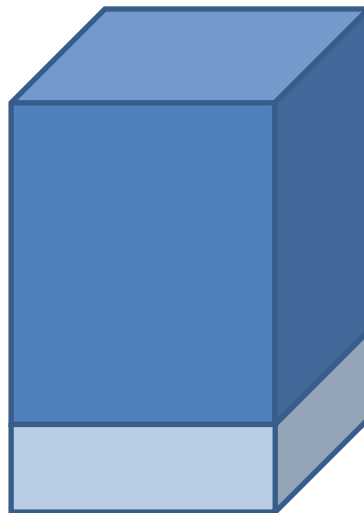


Ilustración 178 - Área de Trabajo en el Layout

De igual manera, se ha podido observar en los antecedentes cómo es necesario que ciertas unidades básicas de funcionamiento de la máquina (un concepto introducido en la fase 2) deban estar ubicadas en el área de trabajo. Estos son los casos para el sistema de iluminación y el motriz, ya que se necesitará una actuación directa por parte de dichos sistemas para poder actuar sobre la pieza.

Con respecto al sistema de calefacción se ha podido ver en la Form Cure que este también se encontraba montado dentro del área de trabajo, aunque estuviera aislado dentro de una carcasa.

No obstante, si se observan los antecedentes más acordes al producto que se desea diseñar, la Wash&Cure de Anycubic o el equipamiento de Elegoo, se llegará a la conclusión de que no es posible realizar esta misma implementación a consecuencia de que la cobertura del área de trabajo no se efectúa del mismo modo que en la Form. Por tanto, el único modo es desplazar este módulo a la sección inferior, la caja electrónica.

El resto de los elementos tienen que ver con las diversas piezas y componentes que servirán de contenedores o soportes para que la pieza pueda ser tratada. No obstante, ya se puede organizar el volumen superior en secciones más pequeñas de acuerdo con lo observado en los antecedentes siendo más sencillo determinar su posición exacta posteriormente. En las tres máquinas, o grupos de máquinas, analizados se encuentra la misma distribución de los elementos, dejando una buena parte del volumen más próximo a la interfaz de usuario y al operario para que pueda situar los útiles de trabajo y un volumen posterior (o superior) donde se ubican los elementos que gestionan el trabajo, es decir, la lámpara, el radiador, el sensor de IR y demás elementos necesarios.

De este modo, se puede previsualizar el volumen con las siguientes divisiones.

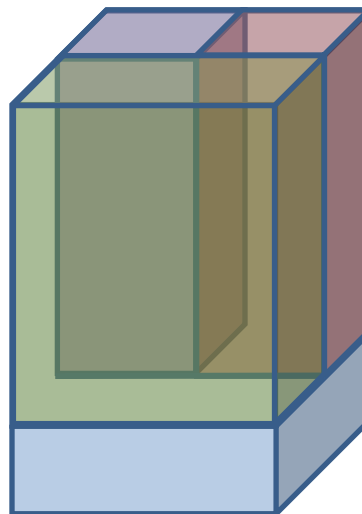


Ilustración 179 - Estructuración del Volumen Superior

En el diagrama superior, la caja de color verde determina el espacio que será utilizado para que el usuario pueda depositar los recipientes y soportes que contendrán la pieza a postprocesar, además en la base de esta área se ubicará el acople con el motor paso a paso. El volumen coloreado de color rojo señala el espacio destinado para el sistema de calefacción, mientras que el volumen morado indica dónde se situará la torre de iluminación para contribuir al curado.

Desarrollo del Proyecto

De esta forma, queda distribuido el volumen del área de trabajo en espera de concretar más detalles sobre los elementos que contendrá y sus posiciones exactas.

5.5.1.2. Caja Electrónica/Negra

La caja electrónica, caja negra o cámara inferior es el segundo de los volúmenes que se va a analizar dentro de los límites completos de la estructura de la máquina. Por el nombre que recibe se ha establecido que será el lugar donde serán depositada la mayor parte de los elementos electrónicos y electromecánicos que permitirá hacer funcional la máquina.

Naturalmente, este es un espacio cuyo acceso no está planificado al usuario. No obstante, este podría acceder a él en caso de avería o por curiosidad retirando los tornillos de las superficies que cerrasen la cámara en cuestión. A continuación, se muestra el diagrama general con el volumen resaltado.

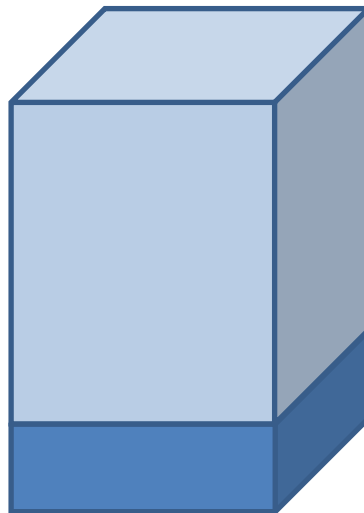


Ilustración 180 - Caja Electrónica/Negra en el Layout

Recurriendo nuevamente a los antecedentes en busca de los elementos que constan dentro de una máquina de estas características se encuentra una constante; ya que son el sistema motriz y una o más placas de circuito impreso los elementos que se hallan en su interior. En el caso de la máquina que se diseña en este trabajo, se deberá añadir al interior el sistema de calefacción y los elementos pertinentes para que la coexistencia de todos los elementos sea posible, como sería el caso de guías o ventiladores auxiliares.

Es necesario hacer una excepción con respecto a los elementos ubicados en la base al nombre aquellos que poseen, por su naturaleza, una salida hacia el exterior bien sea para entrar en contacto con un conector o que el operario pueda introducir instrucciones en la máquina y visualizar sus resultados.

De este modo, en la parte frontal de la máquina se deberán ubicar los elementos necesarios para que el operario pueda controlar el aparato (pantalla, control, altavoz), mientras que en otra parte cuya ubicación exacta queda por determinar será necesario ubicar las entradas de alimentación y conexión de datos pertinentes.

En el próximo diagrama se previsualiza el volumen inferior con las divisiones mencionadas recientemente.

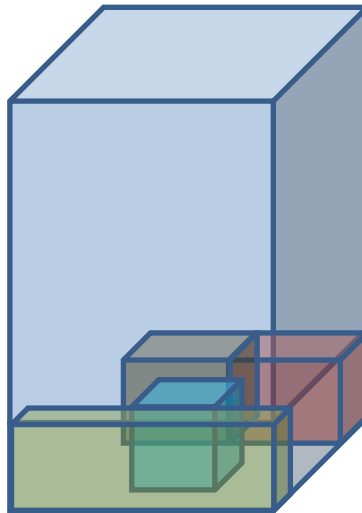


Ilustración 181 - Estructuración del Volumen Inferior

En el diagrama superior, la caja de color verde indica el volumen que será empleado por los elementos que compondrán la interfaz de usuario; la caja de color azul señala el emplazamiento del sistema motriz, centrado por su necesidad de rotar tanto el agitador de la cubeta como la plataforma de curado; la caja roja denota la posición del sistema de calefacción y, en último lugar, la caja marrón muestra dónde se podrá ubicar la placa base principal, así como las conexiones para la alimentación y la transferencia de datos en caso de ser requerida.

De esta forma, queda distribuido el volumen de la caja electrónica/negra en espera de concretar más detalles sobre los elementos que contendrá y sus posiciones exactas.

5.6. FASE 6 - DISEÑO DE LA MECÁNICA DEL SISTEMA

A la hora de entender qué elementos, tangibles o intangibles, pueden componer un sistema mecatrónico, cuando este se está observando de forma externa y sin un previo conocimiento de la máquina, a menudo se suelen comenzar a describir los componentes más inmediatamente próximos al observador. Los elementos electrónicos o el software con el que está programado dicho sistema generalmente suelen quedar en un segundo plano; quizá por su baja exposición a la vista, su carácter más secundario dentro de un estudio preliminar o, simplemente, una cuestión de ahorro de tiempo del observador.

Se trata de los componentes mecánicos (carcasas, soportes, engranajes, ruedas, etc) los que inicialmente reciben un mayor flujo de la atención y que son sometidos a un estudio más profundo en primer lugar. Dentro de una máquina expuesta en un mercado orientado al sector doméstico y semiprofesional el diseño compone dos vertientes que no deben ser dejadas aleatoriamente a su rumbo; el apartado comercial y el técnico.

El apartado técnico se encarga de procurar que todos los componentes electrónicos tengan cabida dentro del sistema de una forma práctica, eficiente para lograr que el sistema funcione de forma adecuada y segura ante el usuario final. El apartado comercial, por su parte, deberá tener en cuenta el llevar a cabo un planteamiento del de la máquina que sea estéticamente atractivo para el cliente sin interceder con las directrices que marque el técnico.

En esta fase donde se van a diseñar todos aquellos elementos físicos, denominados mecánicos en este documento, no se pretende innovar enormemente en las opciones que ya hay disponibles en el mercado y han sido analizadas en estas mismas páginas. Los diseños presentados, si bien pueden llegar a ser un poco diferentes entre sí, gozan de la ventaja de haber sido ya perfeccionados por los equipos creativos de las empresas que previamente los han diseñado. Para todos ellos, ya ha habido un precedente, dentro de su misma línea de producto, que ha permitido resaltar los fallos y olvidos de los modelos anteriores.

Por tanto, en los próximos apartados se seleccionará por sus características una de las máquinas analizadas, estudiando su despiece y generando una lista de componentes que más tarde puedan ser diseñados, con las modificaciones propias de este trabajo, para demostrar que, efectivamente, el paso de añadir el factor de temperatura dentro de estos sistemas más económicos es posible y ya puede ser dado.

Esta fase se estructurará bajo los siguientes puntos.

- Selección del Modelo.
- Análisis de la Morfología del Modelo.
- Modelado de los Nuevos Componentes.
- Trazado de Planos.

Finalmente, se añadirá un apartado que hablará sobre las diversas impresiones personales en el uso del programa Inventor, software elegido para realizar el modelado de los componentes y la creación de sus planos.

5.6.1. Selección del Modelo

Previa selección del modelo en el que se basará el modelado de los componentes para la máquina que se está diseñando en este trabajo, es necesario aclarar que dentro de los objetivos de este proyecto no está comercializar la máquina diseñada, sino únicamente dar la idea de cuál puede ser el próximo inmediato paso de estas tecnologías en los futuros años. Durante la realización de los análisis visuales y despiece de los componentes, se ha guardado el máximo respecto al esfuerzo que conlleva su diseño original.

Dentro de las máquinas analizadas en los antecedentes, como ya se ha mencionado en varias ocasiones, únicamente hay dos que encajen dentro del sector doméstico y semiprofesional principalmente por el coste económico que se deduce de su compra. Estos dos equipos son nombrados como Wash&Cure de Anycubic y Elegoo Mercury X Bundle: Wash & Cure Station.

Ambos equipos guardan una similitud apreciable a simple vista que, principalmente, se rompe con el hecho de que el sistema de Elegoo incluye dos máquinas en vez de una, lo que se aleja del objetivo de este trabajo de aunar ambas etapas del postprocesado dentro de una única máquina.

En su interior, pudiera decirse que el sistema empleado por Anycubic presenta una mayor organización y estructura al separar en múltiples placas de circuito impreso según su último propósito. Por otro lado, el apartado estético está más trabajado en los equipos de Elegoo, persiguiendo una línea mucho más atractiva al ojo.

Sin embargo, de nuevo Anycubic bate en calidad a los equipos de Elegoo al presentar una máquina que hibrida plástico y aluminio para generar un sistema robusto y confiable, y con un peso muy reducido, lo que facilita al usuario desplazar la máquina adonde quiera que sea necesario para su operación o almacenamiento.

Desarrollo del Proyecto

Cabe destacar que, en este trabajo, ya se ha inspirado el modelo para las PCB en el que mostraba la Wash&Cure de Anycubic.

Siguiendo todas estas motivaciones; por su diseño interno, robustez y versatilidad, se toma el equipamiento de Anycubic como modelo para el desarrollo mecánico de este trabajo.

5.6.2. Morfología General del Modelo

El equipo Wash&Cure de Anycubic, una máquina orientada a los sectores doméstico y semiprofesional analizado en los antecedentes, es una máquina que se ajusta muy adecuadamente al modelo generado en la fase para el planteamiento del layout donde se separaban los volúmenes del equipo en dos cámaras bien diferenciadas, el área de trabajo y la caja electrónica/negra.

Comenzando por el área de trabajo, no son muchos los componentes que se encuentran fijos dentro de este volumen, únicamente la lámpara de luz UV-A se ubica permanentemente en este espacio. Alternando entre la etapa de lavado y la de curado, es posible customizar este área para que se puedan llegar a desempeñar los trabajos utilizando útiles propios para dichas etapas, entre los que se incluyen una cubeta de lavado, su cubierta, una cesta y una plataforma para el curado, entre otros.



Ilustración 182 - Área de Trabajo Wash&Cure 2.0 Anycubic

Finalmente, todo ello puede quedar cubierto por una campana protectora que previene de la radiación UV-A, aunque su uso viene indicado principalmente para la etapa de curado. De todo este primer conjunto de componentes, es posible elaborar dos grandes agrupaciones de elementos a despiezar; la lámpara y la cubeta de lavado.

Dentro de la máquina, haciendo ya referencia a la caja electrónica/negra, es donde se encuentran ubicados el resto de los elementos electrónicos y mecánicos que permiten que el funcionamiento del equipo sea posible. Sin entrar en demasiada repetición con respecto al análisis ya descrito en la fase de antecedentes, se encuentra alojadas partes relacionadas con el mecanismo de movimiento, la interfaz de usuario y electrónica general. La complejidad de la máquina, como se puede ver, no es elevada.

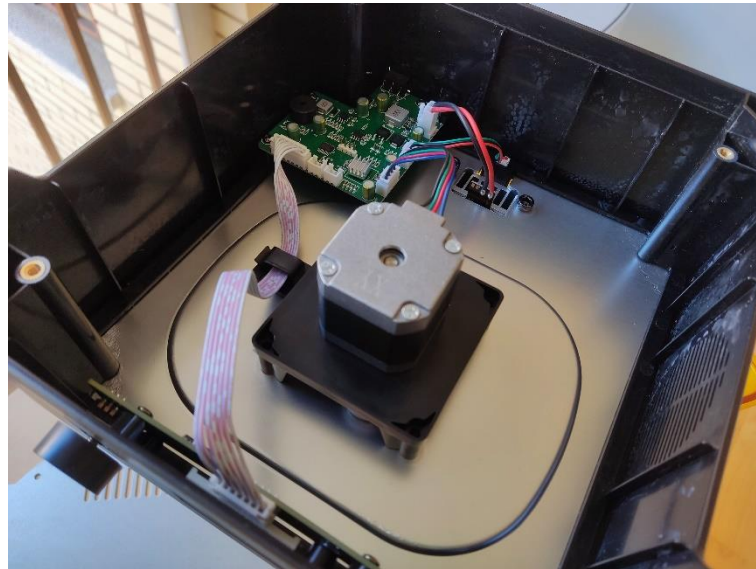


Ilustración 183 - Caja Electrónica/Negra Wash&Cure 2.0 AnyCubic

Por último, antes de pasar al despiece de los componentes, es necesario resaltar que en la práctica de este ejercicio se ha ido tomando medidas en segundo plano para, más tarde, poder generar los modelos propios basados en todo lo observado.

5.6.3. Modelado de los Nuevos Componentes

Teniendo ya identificados los componentes dentro de sus respectivos grupos, gracias al análisis del equipo modelo en los antecedentes y al anterior refresco de información, es el momento de pasar a modelar los nuevos en base a lo visto, cambiando algún detalle de acuerdo con el planteamiento de este trabajo, la simplificación de algunos aspectos no esenciales y la inclusión del sistema de calefacción dentro del conglomerado de todos ellos.

Para cumplir con esta tarea se va a seguir la misma estructura anunciada en el apartado de antecedentes, comenzando por el grupo del cuerpo base y siguiendo, en orden, la lista de elementos mencionados. De igual modo, para la presentación de cada una de las piezas se seguirá la siguiente estructura.

- Cambios o modificaciones (si los hay).
- Exposición del resultado.
- Breve descripción de su diseño.
- Propuesta de fabricación.

5.6.3.1. Cuerpo Base

5.6.3.1.1. Cubierta Superior Base

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Incremento de tamaño para permitir acoger el sistema de calefacción.
- Creación de ranuras y agujeros de soportes para la sujeción del sistema de calefacción.
- Cambio de ubicación de la torre de iluminación para acoger el sistema de calefacción.

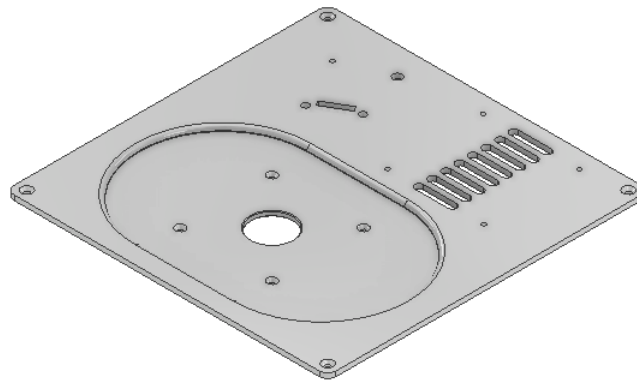


Ilustración 184 - PrinCure 3D; Cubierta Superior Base

Habiendo comenzado con una lámina sólida de material, se practican las perforaciones necesarias para su acoplamiento en la envoltura lateral base. A continuación, se genera la depresión donde se alojará la cubeta de lavado y se realizan las perforaciones necesarias para acoplar el mecanismo de movimiento. Posteriormente, se genera el boceto necesario para el acoplamiento de la lámpara, teniendo en cuenta los 9cm necesarios para cumplir con la potencia de los LEDs y se rota con respecto al eje central de la "interfaz movimiento base" para dar cabida a la salida del sistema de calefacción.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de acero inoxidable X17CrNi16-2 como material de construcción, habiendo sido elegido por sus propiedades inoxidables y sus antecedentes de uso en la industria química e ingeniería mecánica. La técnica de fabricación propuesta será corte láser, de cuya gestión se encargaría la empresa "Láser Aragón".

5.6.3.1.2. Cubierta Inferior Base

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Incremento de tamaño a consecuencia de acoger el sistema de calefacción.
- Creación de ranuras de grandes dimensiones para permitir una mayor ventilación del interior de la caja electrónica/negra.

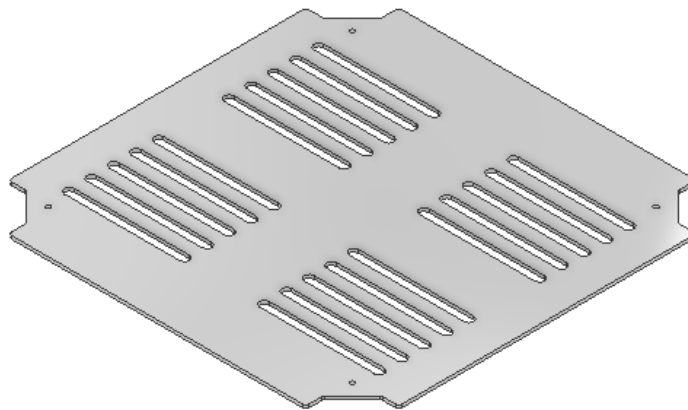


Ilustración 185 - PrinCure 3D; Cubierta Inferior Base

Planteada inicialmente de forma similar a la cubierta superior base, se trabaja principalmente con patrones circulares y rectangulares para reproducir todos los orificios, esta vez de mayor tamaño, sobre toda la superficie de la pieza.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de acero inoxidable X17CrNi16-2 como material de construcción, habiendo sido elegido por sus propiedades inoxidable y sus antecedentes de uso en la industria química e ingeniería mecánica. La técnica de fabricación propuesta será corte láser, de cuya gestión se encargaría la empresa "Láser Aragón".

5.6.3.1.3. *Envoltura Lateral Base*

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Incremento de tamaño a consecuencia de acoger el sistema de calefacción.
- Modificación de los soportes para la PCB principal para aumentar su altura con respecto a la cubierta superior base, dado que la lámpara se ubicará justo encima.
- Cambio en los orificios de la interfaz, más específicamente en el de la pantalla.
- Habilitados agujeros para la ubicación de un ventilador junto a la ranura de ventilación circular.
- Cambio de posición de los nervios que soportan la carga proveniente del área de trabajo para acomodarse a los nuevos elementos introducidos.

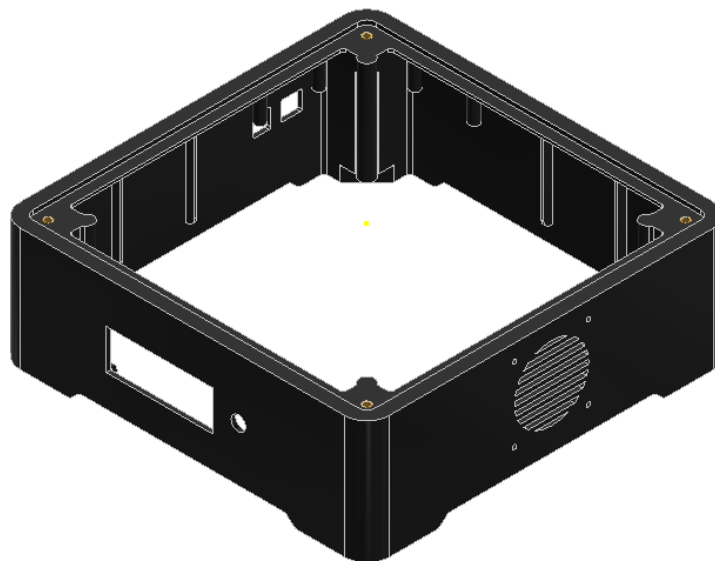


Ilustración 186 - PrinCure 3D; Envoltura Lateral Base

Siendo una pieza complicada de trabajar, se inicia a partir de un bloque de material que se vacía, abriendo más tarde el orificio principal de la parte superior. Después, se practican los soportes de las esquinas para la cubierta inferior base y se vacían, aplicando todos los detalles y empalmes necesarios. Se aplican patrones circulares para evitar la redundancia en el trabajo.

Se practican los agujeros y pequeños detalles, como la definición de los soportes en la parte inferior de la pieza y sus correspondientes empalmes. Se generan los soportes para la PCB principal, los de la PCB para la interfaz y sus orificios correspondientes. Por

Desarrollo del Proyecto

último, se generan las aberturas para los conectores de la PCB principal, la rejilla de ventilación y los nervios de soporte.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de plástico ABS como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia y ligereza. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.1.4. Carcasa Detector IR

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Ajuste de la pieza para alojar el módulo IR de Arduino.
- Cambio de ubicación de la lámpara a la superficie sobre la cubierta superior base para facilitar su instalación y manipulación.

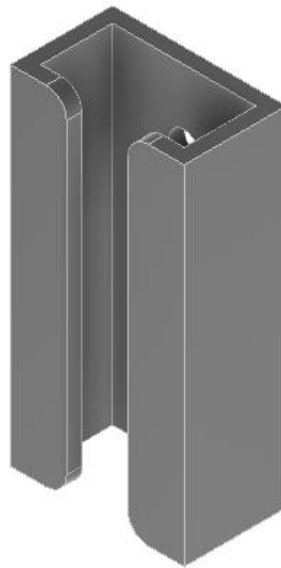


Ilustración 187 - PrinCure 3D; Carcasa Detector IR

Siendo una pieza sencilla de fabricar, se comienza trabajando a partir de un bloque de material. Se practica un único vaciado para conferir la forma de "C" con sus correspondientes empalmes. Por último, se genera el agujero para atornillar el componente previo estudio de la ubicación en el módulo IR de Arduino.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de plástico ABS como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia y ligereza. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.1.5. Soporte Guía Cables

Para el planteamiento de esta pieza, no se han tenido en cuenta cambios dignos de mención con respecto a la observada de la máquina modelo.

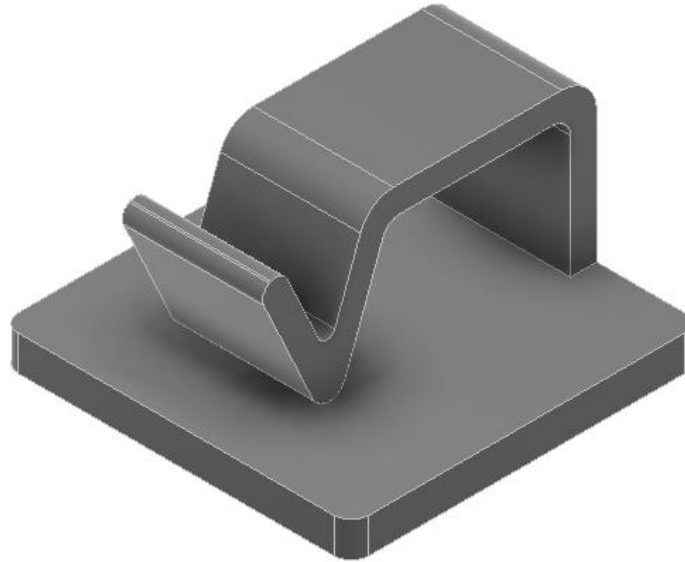


Ilustración 188 - PrinCure 3D; Soporte-Guía Cables

Se comienza el modelado a partir de la base de la pieza, generando más tarde un boceto completo con el diseño de la pinza asegurando que no toma contacto con la base. Por último, se aplican los empalmes necesarios para concluir con el perfeccionamiento del modelo.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de plástico ABS como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia y ligereza. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.1.6. *Plataforma de Curado*

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Cambio en el patrón de semiesferas de la superficie superior para simplificar su realización.
- Mejora de los empalmes y las aristas entre planos para mejorar su fabricación y calidad.

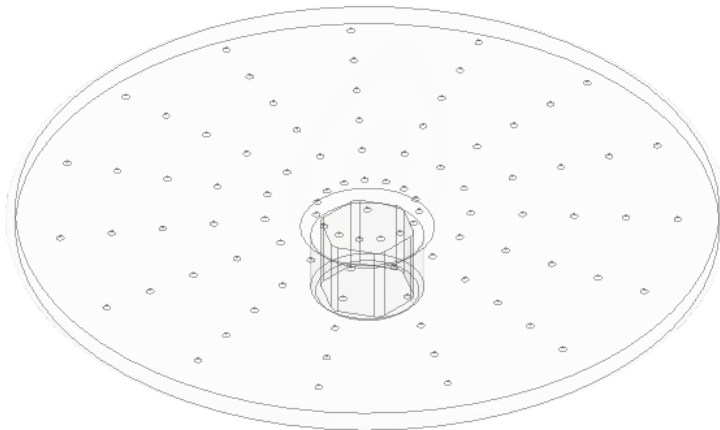


Ilustración 189 - PrinCure 3D; Plataforma de Curado

Se comienza con un cilindro de material sólido al que se le prolonga uno más pequeño con una preforma hexagonal en su interior para el amarre inferior. Se practican los empalmes necesarios. Por último, se diseña una semiesfera sobre la superficie, completando una línea entera mediante un patrón rectangular y creando varias de ellas sobre la superficie con un patrón circular.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de polipropileno (PP) como material de construcción, habiendo sido elegido principalmente por su resistencia contra múltiples agentes químicos. La técnica de fabricación propuesta será moldeado por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.1.7. Campana de Protección

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Incremento de tamaño a consecuencia de acoger el sistema de calefacción.

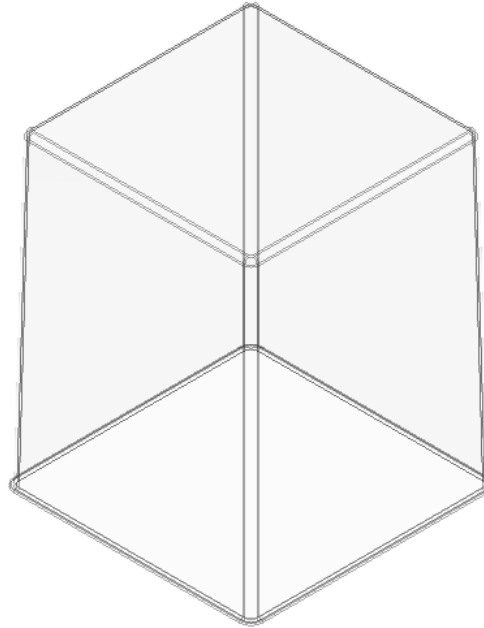


Ilustración 190 - PrinCure 3D; Campana de Protección

Se comienza creando dos planos paralelos separados a una distancia determinada sobre los que se crean dos bocetos con, cada uno, un cuadrado de unas dimensiones determinadas. A continuación, se cierra la pieza entre ambos planos con una solevación, que posteriormente se vacía. Se aplican los empalmes necesarios entre las superficies. Por último, se crea la prolongación visible en la sección inferior para servir de interfaz de soporte sobre la envoltura lateral base.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de policarbonato (PC) como material de construcción, habiendo sido elegido por sus propiedades aislantes ante radiación UV ya analizadas dentro de los fundamentos teóricos. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.1.8. Embellecedor Encoder

Para el planteamiento de esta pieza, no se han tenido en cuenta cambios dignos de mención con respecto a la observada de la máquina modelo.

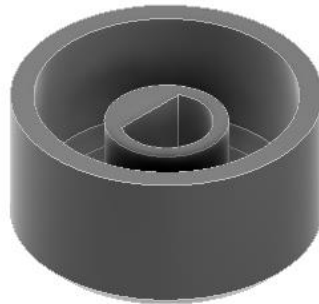


Ilustración 191 - Embellecedor Encoder

Comenzando por un bloque macizo de material, se practica un vaciado y se genera un chaflán en su interior para mejorar la estabilidad estructural dado el punto de agarre del usuario. Posteriormente, se practica una prolongación para poder acoplar esta pieza con el eje del encoder rotativo.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de plástico ABS como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia y ligereza. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.2. Lámpara

5.6.3.2.1. Cuerpo Lámpara

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Simplificación de la estructura interior para agilizar la ventilación del volumen interno.
- Cambio de la posición de los ejes para los tornillos en consonancia al diseño de la PCB.
- Adaptación de una superficie para la nueva mampara.

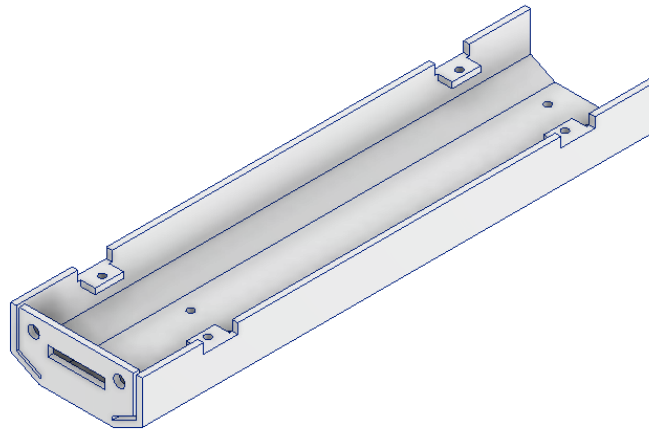


Ilustración 192 - PrinCure 3D; Cuerpo Lámpara

Se comienza de un bloque macizo que se posteriormente se vacía. Se desarrolla la parte inferior del componente teniendo en cuenta la potencial fabricación mediante corte láser. Posteriormente se preparan las interfaces de soporte para la sujeción de la mampara y la cubierta metálica. Por último, se preparan los agujeros con rosca para la sujeción de la PCB de la lámpara.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de acero inoxidable X17CrNi16-2 como material de construcción, habiendo sido elegido por sus propiedades inoxidable y sus antecedentes de uso en la industria química e ingeniería mecánica. La técnica de fabricación propuesta parte del corte por láser de la preforme, su posterior doblado y finalmente la creación de las oportunas roscas. La gestión queda a cargo de la empresa "Laser Aragón".

5.6.3.2.2. Mampara Lámpara

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Cambio del planteamiento para simplificación de su diseño e implementación.



Ilustración 193 - PrinCure 3D; Mampara Lámpara

De forma intuitiva, se captura el perfil interior dejado por la pieza cuerpo lámpara y se traslada a un boceto. Se corrigen las rupturas de la superficie cerrada y, finalmente, se extruye.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de polipropileno (PP) como material de construcción, habiendo sido elegido por su histórico en productos que requieran de gran transparencia. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.2.3. Cubierta Superior Lámpara

Para el planteamiento de esta pieza, no se han tenido en cuenta cambios dignos de mención con respecto a la observada de la máquina modelo.



Ilustración 194 - PrinCure 3D; Cubierta Superior Lámpara

Se parte de un bloque sólido de material del que más tarde se retira parte para generar la rebaba que se sujetará por presión al cuerpo de la lámpara. Por último, se practican los empalmes necesarios y se generan las ranuras.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de plástico ABS como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia y ligereza. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.2.4. Tapeta Cuerpo Lámpara

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Cambio del planteamiento para su adaptación a la nueva mampara.

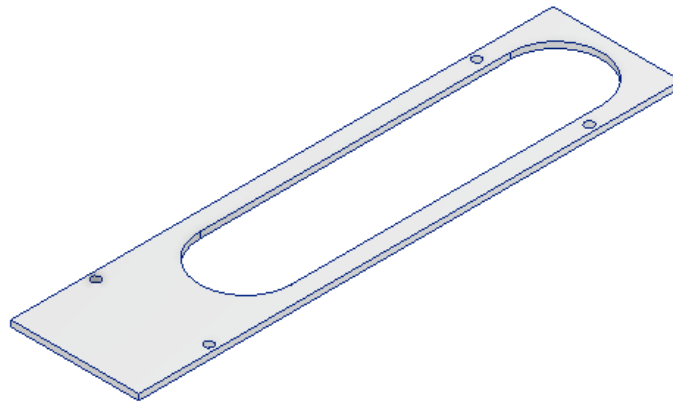


Ilustración 195 - PrinCure 3D; Tapeta Cuerpo Lámpara

Se toman las medidas interiores directamente de la pieza del cuerpo lámpara, se trasladan a un nuevo boceto y se extruye. Después, se contrastan las medidas de extensión de los LEDs dentro de la PCB para la lámpara y su posición con respecto al cuerpo de la lámpara. Una vez hecho esto, se genera una ranura coincidiendo con estos datos. Por último, se practican los agujeros para el atornillado de esta pieza.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de acero inoxidable X17CrNi16-2 como material de construcción, habiendo sido elegido por sus propiedades inoxidable y sus antecedentes de uso en la industria química e ingeniería mecánica. La técnica de fabricación propuesta será corte láser, de cuya gestión se encargaría la empresa "Láser Aragón".

5.6.3.3. Sistema de Calefacción

5.6.3.3.1. Carcasa Resistencia Térmica

No hay precedente para esta pieza dentro del modelo previamente estudiado.

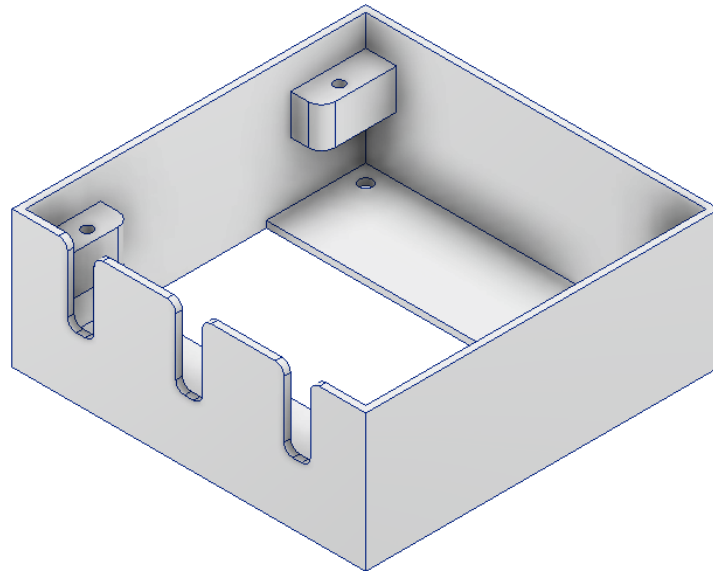


Ilustración 196 – PrinCure 3D; Carcasa Resistencia Térmica

En primer lugar, se estudian las necesidades del radiador eléctrico seleccionado y se toman las medidas de sus dimensiones, esta pieza contendrá el radiador para concentrar el calor y propagarlo en una única dirección.

Se parte de un bloque macizo de material que, más tarde, se vacía. Se generan el soporte para atornillar las partes plásticas de radiador y se propagan al resto de las esquinas mediante operaciones de simetría. Se genera la abertura en la sección inferior y se practican los orificios para atornillar la estructura a la cubierta superior base. Por último, se practican los canales para pasar los cables del radiador.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de plástico ABS como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia ante temperaturas elevadas. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.3.2. Soporte Ventilador Resistencia

No hay precedente para esta pieza dentro del modelo previamente estudiado.

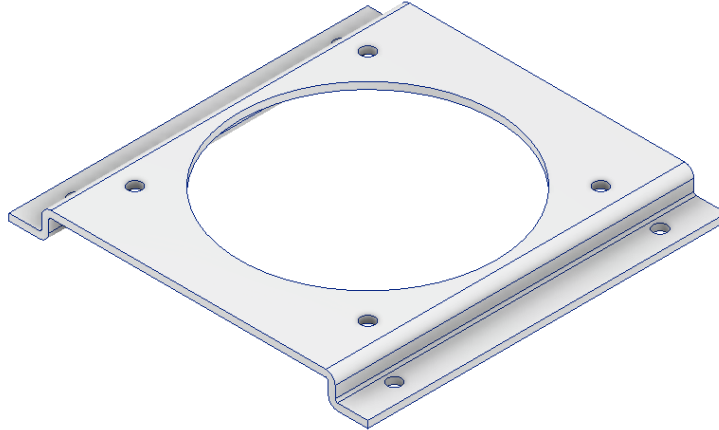


Ilustración 197 - PrinCure 3D; Soporte Ventilador Resistencia

En primer lugar, se estudian las necesidades del radiador eléctrico seleccionado y se toman las medidas de sus dimensiones, esta pieza soportará el ventilador que impulse el aire a través del radiador en dirección al área de trabajo.

Se parte de un boceto generando la mitad de la estructura, que se extruye y se completa por simetría. Se genera la abertura circular en el centro y los agujeros de soporte. Por último, se practican los empalmes necesarios.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de plástico ABS como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia estructural y ante temperaturas elevadas. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.4. Cubeta de Lavado

5.6.3.4.1. Cubeta de Lavado

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Cambio de la estructura de soporte de la base para mejorar su soporte.
- Ajuste de los alineadores internos para una mejor experiencia.

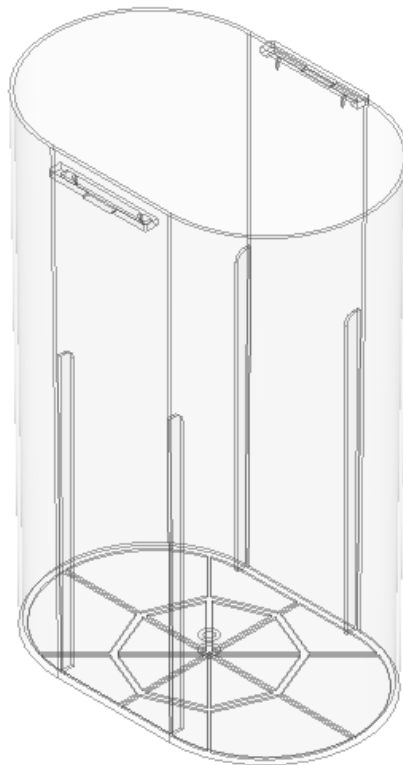


Ilustración 198 - PrinCure 3D; Cubeta de Lavado

Se parte de dos superficies que se empalman mediante una solevación. Se vacía ligeramente la base y se detalla la estructura en forma de red. Más tarde, se practica un vaciado mucho más grande al interior de la figura y se extruyen los amarraderos ubicados en el lateral del tanque, se practican los empalmes y chaflanes necesarios en ellos. Por último, se crean los alineadores y el alojamiento para el inserto.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de polipropileno (PP) como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia ante múltiples agentes químicos y su transparencia. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.4.2. Agitador

Para el planteamiento de esta pieza, no se han tenido en cuenta cambios dignos de mención con respecto a la observada de la máquina modelo.

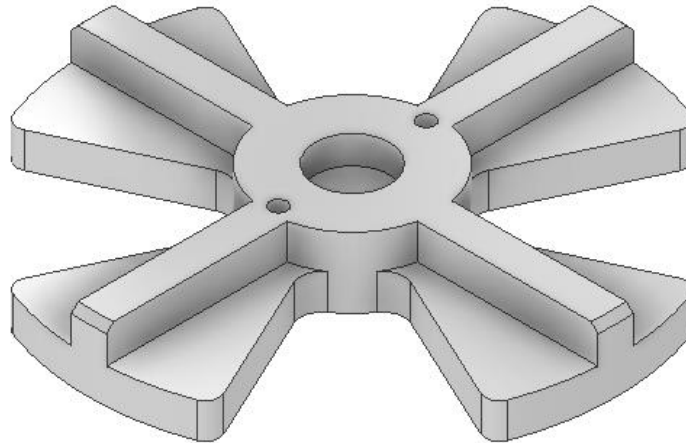


Ilustración 199 - PrinCure 3D; Agitador

Se parte de un boceto que detalla vagamente una figura maciza con el perímetro recto de una cruz con los extremos abiertos. Se practican los orificios relativos al rodamiento y sus presillas. Se generan los alojamientos para los imanes y, finalmente, se retira el material de la parte superior para crear las aletas que generarán las turbulencias en el volumen de fluido.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de acero inoxidable X17CrNi16-2 como material de construcción, habiendo sido elegido por sus propiedades inoxidable y sus antecedentes de uso en la industria química e ingeniería mecánica. La técnica de fabricación propuesta será el fresado, de cuya gestión se encargaría la empresa "Indhasa".

5.6.3.4.3. Cesta Metálica

Para el planteamiento de esta pieza, se han tenido en cuenta los siguientes cambios con respecto a la observada de la máquina modelo.

- Aumento de las dimensiones verticales de la cesta para admitir mayor número de piezas en su interior.
- Agarraderos de la cesta más cómodos a la mano.

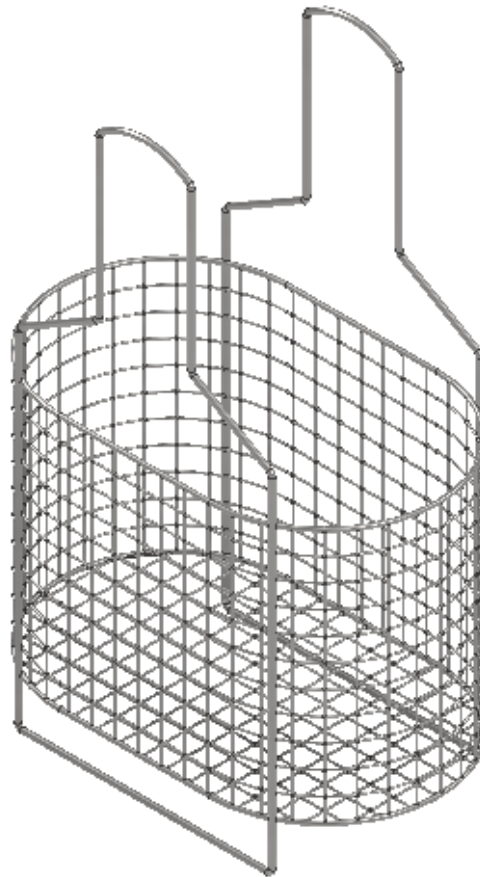


Ilustración 200 - PrinCure 3D; Cesta Metálica

Esta pieza, de difícil diseño, se crea a partir de la generación de trayectorias que colisionan con un boceto paralelo de una circunferencia, el hilo se genera mediante un barrido de dicha geometría. Inicialmente se crean los soportes laterales, después las anillas horizontales y, finalmente, la rejilla de la base de la cesta.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de acero inoxidable X17CrNi16-2 como material de construcción, habiendo sido elegido por sus propiedades inoxidables y sus antecedentes de uso en la industria química e ingeniería mecánica. La técnica de fabricación propuesta será el soldado de finos hilos previamente extruidos de acero, de cuya gestión se encargaría la empresa "Breeda Steel".

5.6.3.4.4. Junta Cubeta Tapa

Para el planteamiento de esta pieza, no se han tenido en cuenta cambios dignos de mención con respecto a la observada de la máquina modelo.

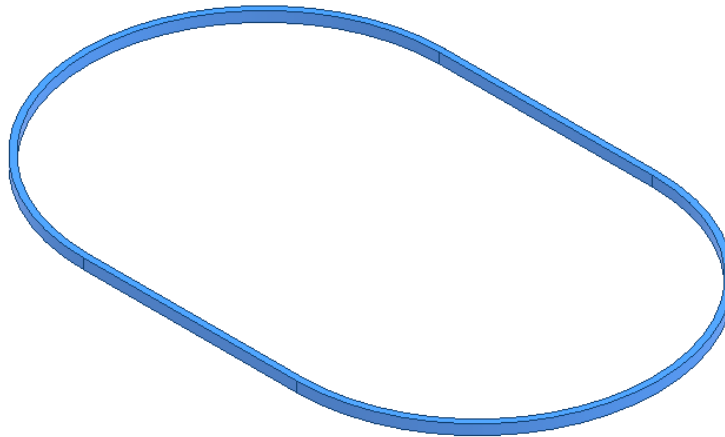


Ilustración 201 - PrinCure 3D; Junta Cubeta Tapa

Para la creación de este componente se parte de un boceto generado mediante dos ranuras superpuestas que, finalmente, se extruyen.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo del elastómero TPU como material de construcción, habiendo sido elegido por su flexibilidad. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.4.5. Tapa de la Cubeta

Para el planteamiento de esta pieza, no se han tenido en cuenta cambios dignos de mención con respecto a la observada de la máquina modelo.

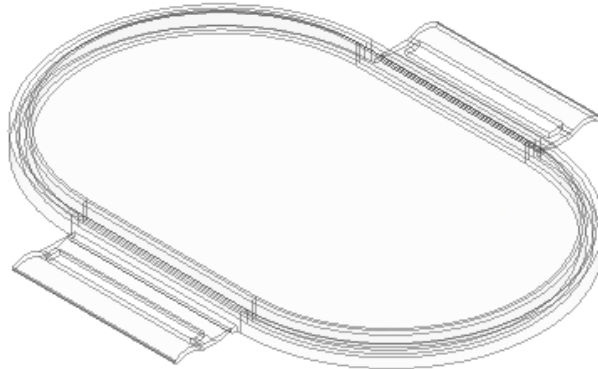


Ilustración 202 - PrinCure 3D; Tapa de la Cubeta

Tras tomar las medidas oportunas de la parte superior de la cubeta de lavado, se comienza extruyendo el volumen de una ranura que, más tarde, se vacía en dos secciones, la interna y la que contendrá la junta. Finalmente, se practica la creación de las aletas para su sujeción a la cubeta de lavado.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de polipropileno (PP) como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia ante múltiples agentes químicos. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.5. Mecanismo de Movimiento

5.6.3.5.1. Soporte Motor Paso a Paso

Para el planteamiento de esta pieza, no se han tenido en cuenta cambios dignos de mención con respecto a la observada de la máquina modelo.

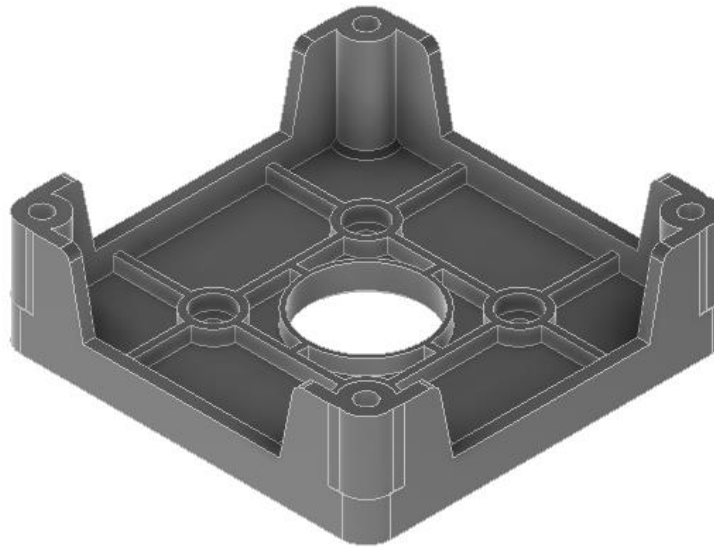


Ilustración 203 - PrinCure 3D; Soporte Motor Paso a Paso

Se comienza partiendo de una base a la que se le extruyen las aletas de conexión con la cubierta superior base, posteriormente se genera la apertura interna, los orificios de atornillado y los nervios de conexión.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de plástico ABS como material de construcción, habiendo sido elegido por su resistencia y ligereza. La técnica de fabricación propuesta será moldeo por inyección, de cuya gestión se encargaría la empresa "Protolabs".

5.6.3.5.2. Interfaz Movimiento Base

Para el planteamiento de esta pieza, no se han tenido en cuenta cambios dignos de mención con respecto a la observada de la máquina modelo.

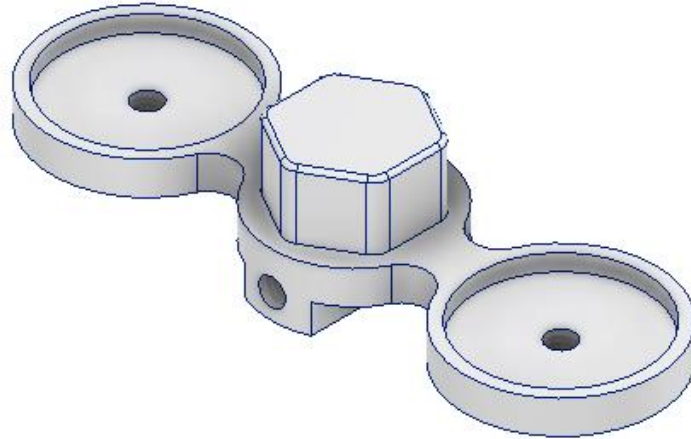


Ilustración 204 - PrinCure 3D; Interfaz Movimiento Base

Se comienza definiendo una pieza maciza con la forma de la pieza general. Se preparan los alojamientos para los imanes y el acople con la plataforma de curado. Por último, se genera la aleta inferior para asegurar una presión adecuada sobre el eje del motor paso a paso y se refuerzan los brazos que contienen los imanes con unas pequeñas protuberancias.

La propuesta de fabricación para este componente pasa por el empleo de acero inoxidable X17CrNi16-2 como material de construcción, habiendo sido elegido por sus propiedades inoxidable y sus antecedentes de uso en la industria química e ingeniería mecánica. La técnica de fabricación propuesta será el fresado, de cuya gestión se encargaría la empresa "Indhasa".

5.6.4. Impresiones en el Uso de Autodesk

Inventor

Durante el desarrollo de esta fase se ha empleado el software Autodesk Inventor, en su versión de 2021, para la creación de los múltiples modelos 3D y sus correspondientes planos. Fruto de este uso continuado se han obtenido múltiples impresiones interesantes del uso del programa, estas se exponen a continuación.

- Autodesk Inventor es un programa muy completo dada la vasta variedad de herramientas que ofrece en cada una de las fases de creación de contenido; desde herramientas de dibujo hasta modelos de simulación de cargas y renderizados 3D.
- La interfaz de usuario de Autodesk Inventor es extremadamente intuitiva y no supone ninguna dificultad a la hora de familiarizarse con el programa y llegar a trabajar con él de formas competente.
- Aun así, los tiempos y pantallas de carga del programa son, en ocasiones, demasiado largos.
- Para el propósito de este trabajo, la variedad de opciones en el modelado de las piezas es más que suficiente, permitiendo operaciones realmente complejas, como el modelado de la cesta metálica.
- La posibilidad de dar diferentes acabados a las piezas diseñadas es realmente útil para, más tarde, resaltar la coherencia del ensamblaje.
- La facilidad para la creación de los ensamblajes ha sido bastante elevada. Sin embargo, no es raro encontrar problemas menores cuando el programa cree haber encontrado incongruencias entre dos o más restricciones, dificultando el trabajo a partir de este punto.
- A la hora de crear los planos, se agradecería la inclusión de serie de múltiples modelos de planos y cajetines, a pesar de tener ya algunos previamente creados.
- Autodesk Inventor admite una gran cantidad de detalle a la hora de dar detalle en los planos. Sin embargo, en ocasiones es necesario educarlo realizando modificaciones manuales por fallos en la solidez de los elementos u algunas operaciones de detalle.

5.7. FASE 7 - DISEÑO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

En este proyecto se han llegado a abordar cuestiones de diferente carácter técnico, principalmente electrónico y de análisis y diseño de componentes físicos para poder llevar a cabo los principales propósitos de este trabajo. Sin embargo, pese a tener en estas páginas un carácter secundario, el diseño del software para la máquina también va a ser abordado de una forma limitada, aunque más extensa en análisis preliminar.

Se pretende con este apartado, por tanto, preparar el campo de trabajo para un potencial desarrollo de un código que integrar dentro de la máquina. Para ello, se va a seguir una estructura de subapartados en los que se irán conociendo las diferentes facetas de este programa; sus posibilidades de empleo y bloques funcionales. Se realizará una vasta profundización con el último objetivo de preparar su potencial desarrollo, donde se analizarán las necesidades de esta máquina y se plantearán algoritmos de trabajo compatibles con una solución.

Para todo esto, se plantea la siguiente estructura que marcará el avance de esta penúltima fase del proyecto.

- Planteamiento de los Casos de Uso.
- Planteamiento de los Diagramas de Actividad.
- Descripción de los Bloques Algorítmicos.

5.7.1. Planteamiento de los Casos de Uso

Para este primer subapartado, se va a realizar un trabajo de deducción los posibles casos de uso que pueden ejercidos sobre esta máquina, una tarea que nos permitirá identificar algunas de las necesidades más básicas sobre las que el software deberá hacerse cargo. Y, de igual manera, también le eximirá de encargase de otras, ya que será directamente el operador el que las lleve a cabo.

Antes de nada, un caso de uso se puede denominar como un empleo que alguien hace sobre un objeto, en este caso una máquina. Un diagrama que reúne varios de estos los organiza mediante una relación directa entre la acción a desarrollar y los diferentes agentes que intervienen en el proceso, pudiendo ser estos tanto el operador, como la máquina o, incluso, ambos.

Para lograr destacar estas tareas que se consideran esenciales en la vida útil de la máquina se deberá pensar en cómo sería un ciclo de trabajo a su lado, desde el momento de su conexión hasta el del apagado.

Desarrollo del Proyecto

De modo que, para agilizar este proceso deductivo, se van a presentar directamente los datos expuestos sobre un diagrama que haga uso de la estética clásica de este tipo de estructuras de trabajo y, a continuación, se detallarán cada uno de los globos de acción.

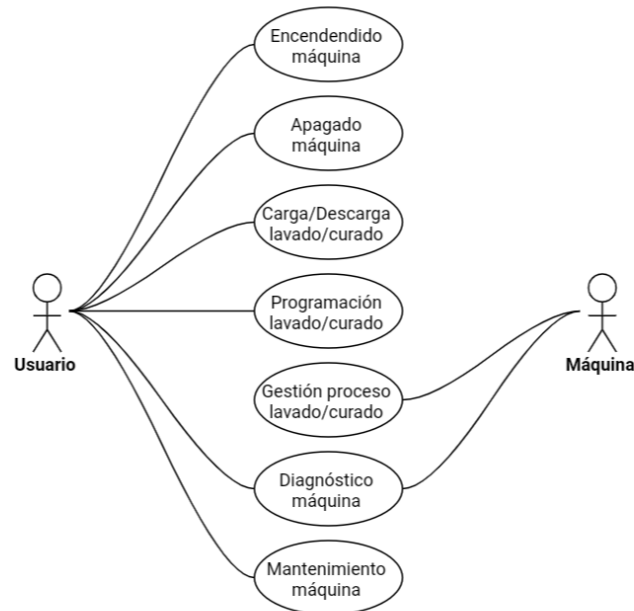


Ilustración 205 - Diagrama de Casos de Uso

Como se puede observar, se han dispuesto a los dos agentes intervinientes en el proceso, uno a cada lado. Los globos con las acciones esenciales se han colocado en la mitad y para relacionar qué agente aplica sobre qué acción se han unido mediante cortos enlaces.

Comenzando por la máquina, el agente que menos acciones tiene a su cargo, se le atribuyen dos posibles elementos.

- **Gestión del Proceso de Lavado y Curado:** Con esto, se hace referencia a la activación, por parte de la máquina, de aquellos sistemas, en tiempo y forma, que deban encargarse de ejecutar cada una de las dos etapas que configuran el postprocesado de una pieza de resina. Estos procesos deberán llevarse a cabo bajo las especificaciones que el usuario haya impuesto, siempre dentro de unos límites considerados seguros.

- Diagnóstico de la Máquina: En todo momento, debido a la incorporación de sistemas para la gestión energética, el microprocesador estará recibiendo señales sobre el estado de diversos elementos del sistema. Desde el estado de la cámara de seguridad hasta la posible producción de un cortocircuito en algunos de los sistemas de trabajo. Ante esta eventualidad, el equipo deberá ser capaz de notificar el fallo y notificar al usuario de su existencia de forma entendible.

En segunda posición, se analizan las acciones atribuidas al agente nombrado como usuario, que porta la mayor carga de estas.

- Encendido de la Máquina: Para que la plataforma de postprocesado pueda estar operativa, se requerirá que el usuario conecte la alimentación a la red eléctrica y, a continuación, al puerto de alimentación de la máquina.
- Apagado de la Máquina: Una vez el trabajo ha sido complicado, para que la máquina pueda reposar y ser limpiada será necesario que el adaptador de alimentación sea desconectado; primero del puerto de alimentación de la máquina y, a continuación, de la red eléctrica.
- Carga/Descarga del Lavado y Curado: Esta acción está relacionada con la disposición de todos los elementos necesarios para llevar a cabo cada una de las etapas del postprocesado. El usuario deberá, para el lavado, disponer las piezas dentro de la cubeta con disolvente y esta, a su vez, ser cubierta con la tapa y colocada sobre la superficie de la base en el área de trabajo. En el caso del proceso de curado, deberá disponer la plataforma de curado sobre la interfaz de movimiento y, una vez hecho esto, colocar las piezas sobre dicha plataforma. En último lugar, para garantizar su seguridad, deberá colocar la campana de protección cubriendo el área de trabajo.
- Programación del Lavado y Curado: Para que la máquina sea capaz de encargarse de la gestión de estos dos procesos, previamente será necesario que el usuario los programe mediante la interfaz de usuario con los parámetros deseados de tiempo y temperatura, este último únicamente en caso de tratarse del proceso de curado.
- Diagnóstico de la Máquina: Así como es el propio equipo el que, una vez encendido, realiza tareas de autodiagnóstico para verificar su correcto funcionamiento, deberá ser el usuario el que, visualmente, compruebe repetidamente que el estado de la máquina es correcto para su operatividad.

Desarrollo del Proyecto

- Mantenimiento de la Máquina: En caso de que una inspección visual o un aviso de la máquina notifiquen una avería, deberá ser el usuario el que dé de baja el equipo y proceda a realizar un cambio del componente afectado.

5.7.2. Planteamiento de los Diagramas de Actividad

Dentro de este segundo subapartado, se va a exponer el planteamiento general de los diversos mecanismos funcionales para el software del sistema. Habiendo analizado ya los casos de uso, quedando claro qué tareas deberán ser llevadas a cabo por cada uno de los agentes, se pretende dibujar el camino que la máquina deberá seguir desde su conexión hasta la finalización de algunos de sus programas.

Para organizar este camino que la máquina seguirá se van a utilizar las herramientas conocidas como diagramas de actividad, una forma de estructurar la información sobre el funcionamiento de un programa en la que se disponen de forma secuencial las diversas acciones y puntos de inflexión que marcarán las rutas de acción posibles. Y, de un modo similar a la ejecución de los diagramas de bloques empleados hace varias fases, se van a ir planteando de forma progresiva, según vaya siendo necesario indagar en los diferentes niveles.

Comenzando desde la capa más externa, lo que se plantea es el proyecto de un software desarrollado en el lenguaje C, con los parches aplicados para la plataforma de desarrollo de Arduino. Por lo que la estructura básica de setup/loop aparecerá en este primer diagrama de actividad. Sin embargo, para hacer funcionales el resto de los sistemas también será necesario preparar una serie de mecanismos que permitan su implementación; librerías, entradas y salidas del microcontrolador, variables básicas globales, estructuras básicas contenedoras, relojes y alarmas necesarios y las subrutinas necesarias para contener todas las tareas que no sea necesario, o recomendable, contener en las funciones básicas del programa (setup/loop).

Ahora, esta concatenación de tareas ha de plantearse siguiendo un orden en concreto, permitiendo que la información se acumule de forma escalonada y no se produzca carencia de recursos en ningún momento. Para cumplir con tal fin se propone la siguiente estructura.



Ilustración 206 - Diagrama de Actividad General

Adicionalmente, se puede observar cómo el desarrollo de los eventos toma origen en la conexión del aparato, mientras que su fin muere en la desconexión de este. Se ha dispuesto el final para cerrar el ciclo de trabajo, ya que de forma natural el programa se quedaría trabajando en el "loop" hasta el momento de su desconexión.

Ahora, es necesario aportar más detalle sobre dos de los bloques que aparecen en el diagrama de actividad general, el "setup" y el "loop". Su importancia dentro del sistema es considerablemente relevante y es necesario detallar cuáles son los procesos que se llevarían en su interior. En el caso del primero de los bloques, el "setup", se identifican como necesarias dos tareas que permitirán poner en marcha el sistema; la comprobación de sistemas y la inicialización de estos.



Ilustración 207 - Diagrama de Actividad del Setup

En el caso del "loop", sin embargo, será un bloque con bastante mayor complejidad, ya que deberá contener las sentencias y puntos de inflexión necesarios que permitan al usuario realizar toda la gestión del trabajo. Para todo ello, se deberá establecer un menú principal donde, mediante instrucciones visuales, el usuario pueda seleccionar entre la ruta para el proceso de lavado y la del proceso de curado, dentro de las que también podrá programar sus parámetros o retroceder en caso de haber cometido un error.

Adicionalmente, también sería recomendable que hubiera un menú en el que indicara las características del software empleado, la versión de la máquina u otras características interesantes.

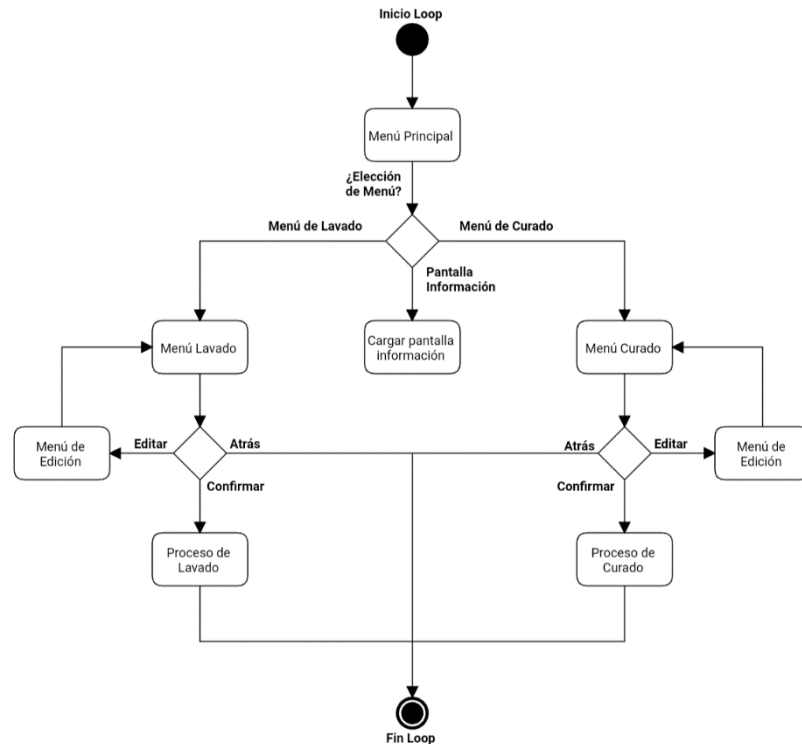


Ilustración 208 - Diagrama de Actividad del Loop

Y ahora, un tercer nivel se abre a la vista del reciente diagrama de actividad mostrado, aquel en el que se amplía la información sobre cuáles serán los procesos tomados durante los propios trabajos de lavado y de curado. Para este primero, el proceso de lavado, se deberán tener en cuenta las peculiaridades de su funcionamiento en las máquinas estudiadas en los antecedentes, donde el movimiento del agua era generado por la rotación del agitador durante un tiempo determinado, cambiando de sentido en unos determinados intervalos de tiempo.

Desarrollo del Proyecto

Se plantea que la progresión del sistema sea adaptativa, según los inputs recibidos. Dado que no es necesario realizar ningún preparativo, lo primero necesario será iniciar el reloj con la programación de la etapa; tras lo que se sucederán las diferentes comprobaciones de los posibles inputs que activarán unas medias u otras. Una vez alcanzado el tiempo límite, se retornará de nuevo al loop.

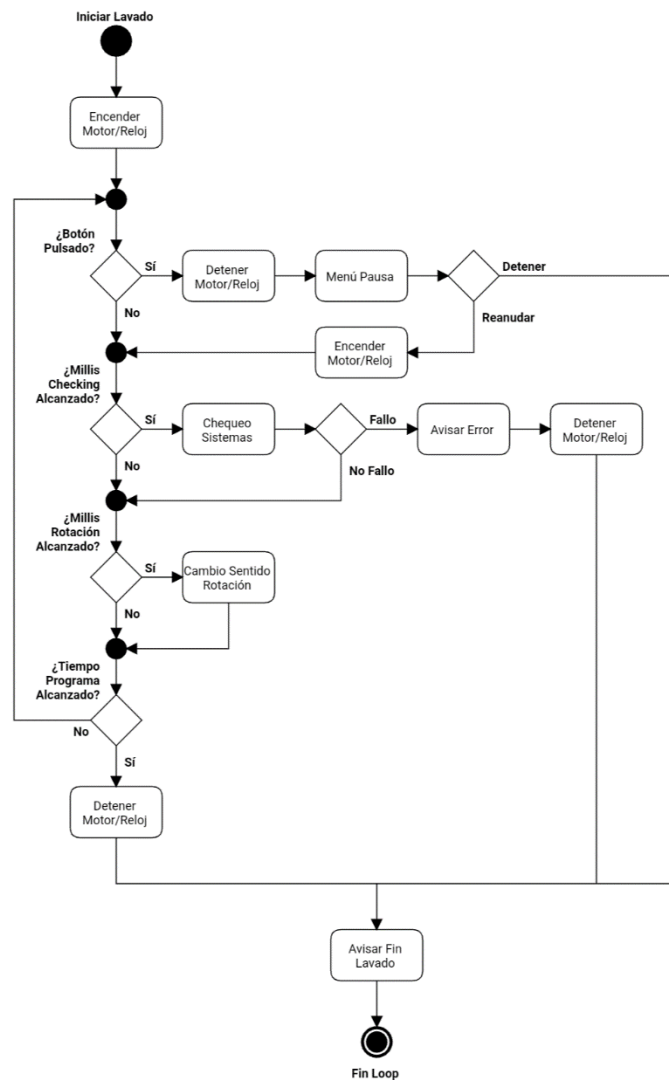


Ilustración 209 - Diagrama de Actividad para el Proceso de Lavado

Para el proceso de curado, que contará con más complejidad debido a su naturaleza, se necesitarán realizar algunos preparativos. Dada la necesidad de disponer la cámara a una temperatura determinada antes de comenzar a iluminar/rotar la pieza, se plantea el diseño de un sistema adaptativo según los inputs recibidos, pero, en esta ocasión, con el añadido de una bandera que únicamente se bajará cuando la temperatura objetivo se alcance por primera vez.

Tras esto, habrá comenzado verdaderamente el proceso de curado, por lo que se necesitará un peculiar control del temporizador de este proceso, mientras que también se precisará de un mecanismo de histéresis que controle adecuadamente la temperatura.

De nuevo, el final del programa concluirá con el retorno del sistema al menú principal del "loop".

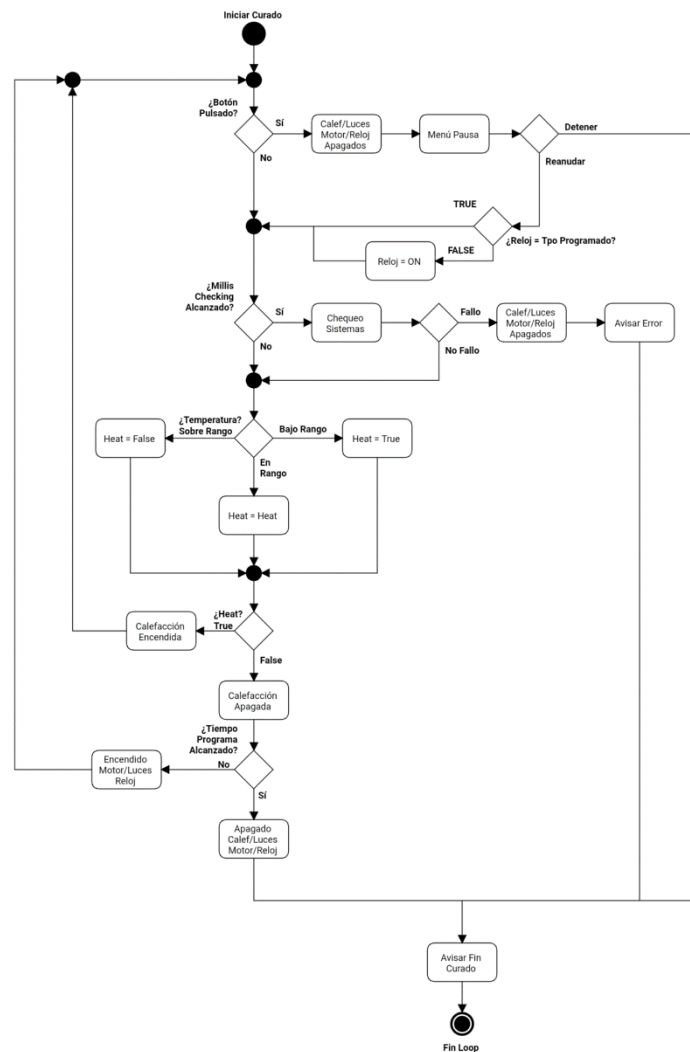


Ilustración 210 - Diagrama de Actividad para el Proceso de Curado

5.7.3. Descripción de los Bloques Algorítmicos

Teniendo planteados en el aparato anterior los diagramas de actividad que el potencial programa que controlase la máquina seguiría, resulta interesante pasar a analizar de forma más profunda cada uno de los bloques o conjuntos de acción y decisiones mostrados.

A continuación, siguiendo el orden según el que se han ido presentando en el apartado para el planteamiento de los diagramas de actividad, se encuentran algunos de los nombres de apartados o sistemas más representativos de los que merece mención comentar. Cabe necesario señalar que se mostrarán fragmentos de código que puedan ilustrar el texto al que hagan referencia, sin embargo, únicamente se hará con fines ilustrativos.

5.7.3.1. Diagrama General

Comenzando por la descripción más detallada del diagrama general, lo que se encuentra es una sistemática estructura de bloques de acción cuyo propósito de existencia es gestionar los preparativos de los recursos del sistema para que este no le falten ni fallen en ningún momento de su ejecución.

Toda esta cadena de acciones comienza con una única acción, la conexión del aparato.

5.7.3.1.1. Inclusión de Librerías

La inclusión de librerías es la primera parada en la rutina del inicio del sistema, se trata de una llamada directa para la preparación de los recursos que se encuentran alojados fuera de la programación original del sistema. Son fragmentos de código diseñado por terceros con el objetivo de simplificar algunas de las tareas de programación que, de otro modo, deberían ser construidas exclusivamente para esta aplicación.

Para este sistema, se prevé deberán ser utilizadas las librerías para el uso del temporizador del ATmega, la EEPROM y la pantalla LCD, entre otros. A continuación, se muestra un ejemplo sobre cómo podría ser el código para esta parte.

```
#include <Arduino.h>
#include <TimerOne.h>
#include <Wire.h>
#include <EEPROM.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

5.7.3.1.2. Definición de Entradas/Salidas

La definición de entradas y salidas es una herramienta empleada en este trabajo para facilitar, de cara a la recurrencia en el uso de los periféricos conectados, la relación entre el pin empleado y el periférico. De esta manera, no es necesario recordar qué pin en concreto se ha empleado, sino que se usa en su lugar un nombre fácil de recordar que vincula directamente con dicho conector.

A continuación, se muestra un ejemplo sobre cómo podría ser el código para esta parte.

```
#define ROT_A 2
#define ROT_B 3
#define SWITCH 4
#define R_RT 5
#define R_LDUV 6
#define R_FANS 7
#define CTRL_SERVOS 9
#define FC 10
#define BUZZER 11
#define TEMP A3
```

5.7.3.1.3. Definición de Variables Básicas

La definición de variables básicas, globales en este caso, resulta necesaria para aquellas funciones que precisen de un contador o forma de almacenar cierta información que no sea o deba ser perdida una vez termine la función que se estaba ejecutando. Variables de este tipo podrán ser usadas para el correcto funcionamiento del encoder rotativo o la gestión de los temporizadores.

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo podría ser una versión de este fragmento del código para el sistema del encoder rotatorio.

```
//Encoder rotatorio.
const byte offsetTime = 5;
unsigned long timeCounter = 0;
byte maxCount = 2; //PTE. DE CAMBIAR.
volatile byte selectOption = 0;
byte counter = 0;
volatile byte modifyOption = 0;
```

También será necesario, por ejemplo, definir los menús por los que el usuario podrá desplazarse a través de la parte accesible del sistema. A continuación, se muestra cómo podría ser uno de los menús principales, donde podría elegirse entre comenzar un proceso, editar el programa o regresar en el estado del sistema.

```
const byte No_submenus = 3;
const String mainMenu[No_submenus][2]{
    //MENU 1.
    {"Process", "(Begin process)"},
    {"Edit", "(Edit programs)"},
    {"Back", "(Return to menu)"};
};
```

5.7.3.1.4. Definición de Estructuras Básicas

Las estructuras, dentro del lenguaje C, es un método para organizar la información dentro de familias de datos que comparten alguna característica entre ellos. La razón principal para hacer esto es lograr una estructura del código mucho más ordenada y una simplificación a la hora de trazar una ruta entre la llamada de la función y el origen del dato.

Estas estructuras, dentro de esta aplicación, pueden ser empleadas para categorizar variables que hagan funcionar la calefacción o el sistema de ventilación. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo podría ser el fragmento del código elaborado para los dos sistemas mencionados.

```
typedef struct heaterSystem
{
    bool heater = false;
    float temp;
    bool indHyst = false;
    float hyst = 2.0;
}; //Estructura tipo para el sistema de calefacción

typedef struct ventilationSystem
{
    bool fan = false;
}; //Estructura para el sistema de ventilación.
```

5.7.3.1.5. Definición de Relojes y Alarmas

La presencia de un reloj dentro de este sistema es esencial para que este pueda tener constancia del paso del tiempo a nivel del programa y sea capaz de temporizar correctamente la duración de los procesos programados.

Su diseño más básico puede ser realizado a partir de una estructura básica como las más recientemente mostradas. Se muestra un ejemplo sobre cómo podría ser el fragmento del código.

```
typedef struct t_time
{
    byte minuts;
    byte seconds;
}; //Estructura tipo para reloj.
```

Su inicialización y funcionamiento, sin embargo, son algo más complejo y toman lugar en punto más avanzado del código.

5.7.3.1.6. Definición de Subrutinas

Las subrutinas, o funciones, son fragmentos de código aislados del flujo recurrente del programa principal cuyo propósito es cumplir una única función. Se trata de recursos usados puntualmente con un propósito muy concreto, como gestionar el comportamiento del encoder rotatorio o la transferencia de datos entre la memoria FLASH y la memoria EEPROM, entre otros.

Su ubicación fuera del programa principal cobra sentido al pretender reducir considerablemente la cantidad de código dentro de este, reduciendo así su tiempo de ejecución, y aprovecharlo de forma que el mismo fragmento de código se pueda ejecutar varias veces dentro de un mismo ciclo.

Por ahora, debido a la lectura secuencia de C mediante el que lo que sucede antes pasa a formar parte del conocimiento del programa, únicamente se van a declarar, siendo necesario darles algunos atributos. A continuación, se muestra un fragmento del código de algunas funciones que podrían representar estas funciones del sistema.

```
/* ---- CREACIÓN DE FUNCIONES ----*/

void shell(byte code);           //Función que gestiona lo mostrado a través
del LCD.
void encoder();                 //Función que gestiona el encoder rotatorio.
void blinkCursor(byte code);    //Función que gestiona el parpadeo del cursor.
void buttonAction(byte menu);   //Función que gestiona el switch del encoder
rotatorio.
```


Desarrollo del Proyecto

```
void eeprom(byte code); //Función que gestiona la memoria EEPROM.
void system_clock(); //Función que gestiona el avance del reloj.
void ctrlSystems(); //Función que gestiona los sistemas
funcionales.
void hotMaker(); //Función que decidirá cuándo se enciende el
calentador.
```

5.7.3.1.7. Setup

Esta función característica de la versión de C para Arduino únicamente se ejecuta una vez en toda la vida del programa, cada vez que este se inicia. Generalmente es empleado para inicializar los sistemas y evaluar su condición inicial.

En próximos apartados se estudiará con más detalle su contenido.

5.7.3.1.8. Declaración de Subrutinas

Las rutinas que ya han sido definidas pasan a ser diseñadas de forma que constituyan la unidad básica funcional para la que han sido establecidas. Deberán ser llamadas de igual forma y contar con los mismos atributos que en el momento en el que fueron definidas.

A continuación, se puede ver un fragmento de cómo podría ser el código de la subrutina encarga de controlar el estado de activación o desactivación de los periféricos conectados al microprocesador.

```
void ctrlSystem()
{
    if (ACC.fans.fan == true)
    {
        digitalWrite(R_FANS, HIGH);
    }
    else
    {
        digitalWrite(R_FANS, LOW);
    }
    ...
}
```

En este caso, se verifica el posible cambio de una variable (dentro de una estructura) que indicaría la concesión del permiso para la activación del ventilador para la calefacción. De estar activada, la variable booleana que gestiona directamente la alimentación de dicho sistema se activaría, de lo contrario quedaría completamente bloqueada.

5.7.3.1.9. Loop

Se trata de otra de las funciones características de la versión de C para Arduino. En este caso, la función loop se ejecuta de forma infinita siguiendo la lógica de programación "while(1)" oculta como un mecanismo básico de ejecución.

Esta función será la espina dorsal del programa que llevará el ritmo principal de su ejecución y desde donde se invocarán al resto de las funcionalidades del sistema para lograr el propósito propuesto.

En próximos apartados se estudiará con más detalle su contenido.

5.7.3.2. Rutina del Setup

La función del "setup" dentro del sistema únicamente se ejecuta una vez durante la vida del programa, cada vez que este se inicial. No se suelen hacer referencias directas a esta función y queda como un punto de inicio del programa; por ello, dentro de esta aplicación que se presenta se utilizará como plataforma para comprobar que el comportamiento de los periféricos es el adecuado y, en caso de serlo, inicializarlos.

5.7.3.2.1. Comprobación de Sistemas

La comprobación previa a la ignición del verdadero tronco de acciones del programa es vital para asegurar que este está en condiciones de hacerlo. Se trata de un mecanismo de prevención contra cualquier tipo de problemática que pudiera asaltar al programa en sus primeras fases de funcionamiento.

En el caso de esta aplicación, se debería atender a una comprobación de los siguientes sistemas.

- Estado del microprocesador.
- Estado del "FET" del radiador.
- Estado del "FET" del ventilador.
- Estado del "FET" de los LED's.
- Estado del sensor de temperatura.

5.7.3.2.2. Inicialización de Sistemas

La inicialización de los sistemas es uno de los pasos básicos dentro del "setup", porque varios de ellos requieren este trabajo previo necesariamente. Sin embargo, la naturaleza de este trabajo es múltiple, ya que no todos los sistemas se inician de forma similar; por ejemplo, la inicialización de los pines para los periféricos conectados al microprocesador.

```
pinMode(ROT_A, INPUT);
pinMode(ROT_B, INPUT);
pinMode(SWITCH, INPUT);
pinMode(R_RT, OUTPUT);
pinMode(R_LDUV, OUTPUT);
pinMode(R_FANS, OUTPUT);
pinMode(CTRL_SERVOS, OUTPUT);
pinMode(FC, INPUT);
pinMode(BUZZER, OUTPUT);
pinMode(TEMP, INPUT);
```

Por otro lado, se utilizarán interrupciones en el flujo del programa para que el reloj del sistema y el encoder puedan funcionar correctamente sin depender de estar llamando constantemente a sus funciones externas.

```
/* -- Definimos las interrupciones -- */

//Timer1.
Timer1.initialize(1000000); //Timer1 saltará cada segundo (en micros
1000000)
Timer1.attachInterrupt(system_clock);
Timer1.stop(); //Dese tiene Timer1, porque al principio no es necesario su
funcionamiento.

//Encoder.
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ROT_A), encoder, CHANGE);
```

Aquellos elementos que trabajen con librerías externas pueden requerir ser inicializados mediante un comando especial, este puede ser el caso de la pantalla LCD.

```
/* -- Inicializamos la pantalla LCD -- */

lcd.init(); //Inicializamos el lcd.
lcd.backlight(); //Encendemos la luz de la pantalla.
```

Aunque, en ocasiones, también es necesario realizar la inicialización de algunos subsistemas de forma manual, editando los valores uno a uno para poner al sistema en el estado correcto previo arranque.

```
/* -- Inicializamos el SO. -- */  
  
eeprom(1);  
shell(0);  
analogWrite(11, 127);  
delay(1000);  
lcd.clear();  
digitalWrite(11, LOW);  
}
```

5.7.3.3. Rutina del Loop

La función del "loop" dentro del sistema se ejecuta de forma infinita cíclicamente durante toda la vida del programa. Dentro de esta sección se encuentra la espina dorsal del código que llevará el ritmo principal de su ejecución, siendo la base desde donde se invocan a todas aquellas funcionalidades necesarias para lograr el correcto funcionamiento del sistema.

Un "loop" diseñado adecuadamente no tendrá demasiadas líneas de código, llegando a ser tan solo una plataforma sobre la que correr la máquina. Gracias a esto, la cantidad de código dentro de esta función suele ser bastante limitada, quedando a expensas de las subrutinas para servir al "loop" como brazos ejecutores.

En los siguientes apartados se va a analizar los bloques contenidos dentro de esta función principal cuya aparición ya ha sido revelada en el diagrama de actividad del loop.

5.7.3.3.1. Menú Principal

La tarea del menú principal, como concepto, es transmitir al usuario el control del estado del sistema, pudiendo este seleccionar la evolución de su ejecución. Traducido a código, el menú principal es un estado cíclico del sistema en el que todas las variables impiden que siga avanzando, al menos hasta que el usuario indique lo contrario.

La pantalla no actualiza su estado, a menos que el usuario mueva el cursor de selección, pero muestra las opciones más troncales del sistema. A continuación, se muestra una simulación para este menú principal, obviando el hecho de que la pantalla seleccionada únicamente dispone de 2 filas.

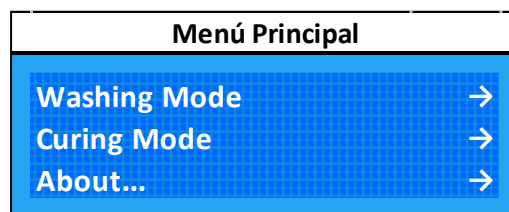


Ilustración 211 - Simulación Gráfica del Menú Principal

5.7.3.3.2. Pantalla de Información

En la pantalla de información, accesible desde la pantalla del menú principal, se muestran algunas de las características técnicas del equipo, como el nombre de la máquina o las versiones del software y de algunos componentes electrónicos. Su utilidad es únicamente informativa.

Este menú deberá contener una forma de retroceder, de nuevo, en dirección al menú principal.

A continuación, se muestra una simulación para el menú "sobre...".

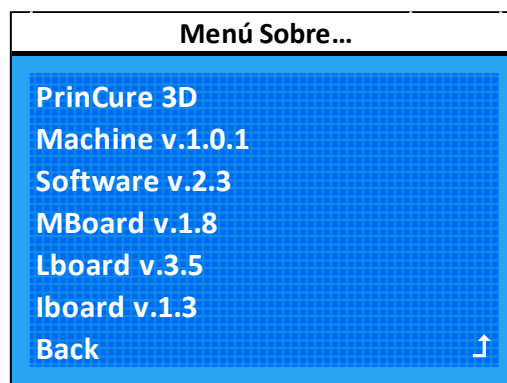


Ilustración 212 - Simulación Gráfica del Menú Sobre...

5.7.3.3.3. Modo de Lavado

El modo de lavado permite al usuario acceder a la rama de acción que, eventualmente, terminaría permitiendo que la máquina ejecute las acciones necesarias para llevar a cabo un proceso de lavado. Sin embargo, antes de que suceda este evento es necesario que tanto el sistema como el usuario lleven a cabo cierto protocolo.

5.7.3.3.3.1. Menú de Lavado

Tras seleccionar en el menú principal el modo de lavado, el sistema cambia de valor la variable que es enviada a la subrutina encargada de refrescar la pantalla LCD. A partir de este momento, la pantalla pasará a mostrar el menú de lavado, una ventana preliminar al propio proceso en el que se ofrecen tres opciones: confirmar el avance, editar los parámetros relativos a este modo y volver al menú principal.

A continuación, se muestra una simulación de este menú.

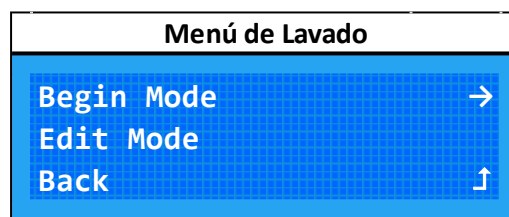


Ilustración 213 - Simulación Gráfica del Menú de Lavado

5.7.3.3.3.2. Menú de Edición

En caso de que el usuario haya decidido presionar la opción de editar el modo de lavado, se le redirigirá a un menú secundario donde se le mostrarán los parámetros que influyen dentro de este proceso, en este caso el único que se podrá configurar será el tiempo. De forma predeterminada, en la EEPROM se configurarán unos valores que serán mostrados cada vez que el usuario encienda el equipo, cuando este valor sea modificado se atenderá a una variable almacenada en la memoria FLASH. Una vez se haya terminado de modificar, el usuario podrá seleccionar la opción de aceptar para retroceder al menú de lavado.

A continuación, se muestra una simulación para el menú de edición del modo de lavado.



Ilustración 214 - Simulación Gráfica del Menú de Edición del Modo de Lavado

5.7.3.3.3. *Proceso de Lavado*

El bloque de acción sobre el que más atención se va a prestar en el modo de lavado va a ser el propio proceso de lavado, por la complejidad de las acciones y la estructura a utilizar. Ya que, pese a manejar, en este caso, una única variable que afecte directamente a la pieza expuesta es necesario llevar a cabo la gestión múltiples variables secundarias que se encargan de que todo el proceso se lleve a cabo de forma correcta.

Para explicar este proceso, se va a seguir el organigrama de acciones que muestra el diagrama de actividad para el proceso de lavado, expuesto en apartados anteriores.

Para comenzar a explicar este proceso es necesario identificar en primer lugar la metodología para la gestión de los eventos que se va a tomar, ya que dependiendo de la que se seleccione se deberá seguir una estructura de programación u otra. De modo que, en pro de limitar todo lo posible las líneas de código dentro del potencial software se va a seguir una metodología basada en las interrupciones, pudiendo ser estas temporizadas o no.

Esto es algo que se puede ver directamente en el diagrama de actividad relacionado, ya que lo que se encuentra es una línea recta desde el inicio del lavado hasta casi el final, únicamente interrumpida por la condición lógica de si se ha alcanzado el tiempo límite del programa o no. Dentro de este bucle generado bajo la circunstancia de si se ha alcanzado dicho tiempo o no se toman en consideración varios eventos, comenzando por el encendido del reloj y el motor, ya que debido a la no necesidad de preparativos dentro de este modo se puede iniciar inmediatamente el proceso una vez el usuario da paso a ello.

La siguiente acción por evaluar, ahora mediante una condición lógica, es si se ha pulsado el botón del encoder o no, lo que directamente activaría un menú de pausa que interrumpiría completamente el proceso, deteniendo el motor y el reloj. En caso de que el usuario considere finalizado el proceso, bajo el motivo que sea, se avisaría inmediatamente mediante el fin del proceso mediante un pitido acústico y se volvería al menú principal; en caso contrario, se reanuda la rotación del reloj y del motor y se continúa con el proceso. A continuación, se puede ver una simulación de este menú de pausa.

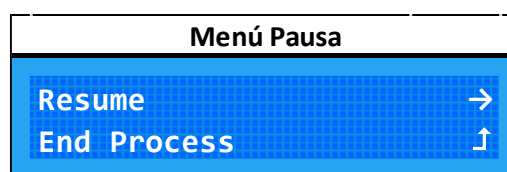


Ilustración 215 - Simulación Gráfica del Menú de Pausa (Lavado)

Desarrollo del Proyecto

La próxima acción tendrá relación con la detección de fallos en el sistema por parte de la propia máquina, esta se disparará mediante un temporizador controlado por una variable preestablecida cíclicamente cada dicho tiempo. Una vez el sistema entre dentro de este flujo se verificará el estado de los sistemas mediante sus relativos pines de diagnóstico; en caso de detectar un fallo, se avisará al usuario de la incidencia por pantalla, se detendrá el motor y se avisará del fin del lavado, volviendo al menú principal. En caso contrario, el sistema no tomará ninguna acción adicional y volverá al flujo principal del programa.

Por último, será necesario que el sistema evalúe cada cierto tiempo un cambio en la dirección de rotación del agitador. De este modo, se aumenta la probabilidad de limpiar todas las superficies de la pieza más eficazmente. Para gestionar este problema, se recurrirá nuevamente a un temporizador que dependerá de la duración seleccionada para el proceso de curado; para procesos menores a 2 minutos no se realizará cambio de sentido, para procesos superiores a este tiempo se invertirá el sentido de giro cada minuto.

Finalmente, cuando el tiempo programado en el reloj llegue a su fin de forma natural, el sistema notificará acústicamente al usuario de este evento, regresando automáticamente al menú principal para permitir la selección de un nuevo proceso.

Cabe destacar que, durante todo este proceso, la pantalla LCD ha notificado al usuario de forma continua acerca del tiempo restante del proceso, indicándole la posibilidad de recurrir al menú de pausa en caso de que fuera necesario. A continuación, se muestra una simulación de esta pantalla.

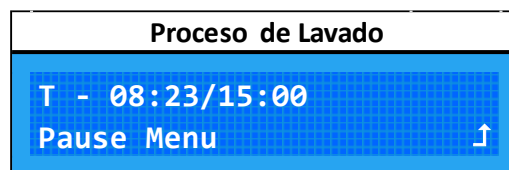


Ilustración 216 - Simulación Gráfica de la Pantalla Mostrada durante el Proceso de Lavado

5.7.3.3.4. Modo de Curado

El modo de curado permite al usuario acceder a la rama de acción que, eventualmente, terminaría permitiendo que la máquina ejecute las acciones necesarias para llevar a cabo un proceso de curado. Sin embargo, antes de que suceda este evento es necesario que tanto el sistema como el usuario lleven a cabo cierto protocolo de acciones.

5.7.3.3.4.1. Menú de Curado

Tras seleccionar en el menú principal el modo de curado, el sistema cambiará de valor la variable que es enviada a la subrutina encargada de refrescar la pantalla LCD. A partir de este momento, la pantalla pasará a mostrar el menú de curado, una ventana preliminar al propio proceso en el que se le ofrecen al usuario tres diferentes opciones: confirmar el avance, editar los parámetros relativos a este modo y regresar al menú principal.

A continuación, se muestra una simulación de este menú.

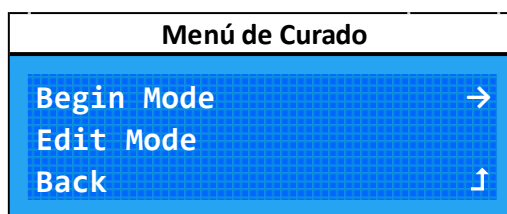


Ilustración 217 - Simulación Gráfica del Menú de Curado

5.7.3.3.4.2. Menú de Edición

En el caso de que el usuario haya presionado la opción de editar el modo de curado, se le redirigirá a un menú secundario donde se le mostrarán los parámetros que influyen dentro de este proceso. Para el proceso de curado, los parámetros que se podrán llegar a controlar será el tiempo de duración y la temperatura de la estancia. El proceder en relación con la variable mostrada por pantalla y la que podrá editar el usuario será idéntico a lo mencionado para el menú de edición del proceso de lavado.

Una vez se hayan terminado de configurar, el usuario podrá seleccionar la opción de aceptar para retroceder al menú de lavado. A continuación, se muestra una simulación para el menú de edición del modo de lavado.

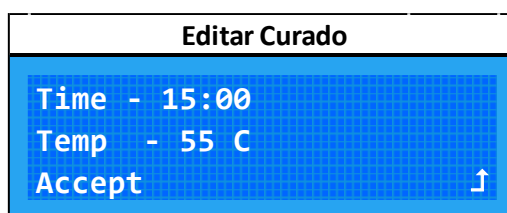


Ilustración 218 - Simulación Gráfica del Menú de Edición del Modo de Lavado

5.7.3.3.4.3. Proceso de Curado

Dentro del modo de curado, el bloque de acción sobre el que se va a destinar una mayor cantidad de atención será el propio proceso de curado, donde la complejidad de las acciones tomadas y la estructura empleada será más intrincada que en lo mostrado durante el proceso de lavado. Sin embargo, la metodología a emplear para construir la estructura de programación será la misma en aras de reutilizar parte del código del potencial software, se utilizarán interrupciones para marcar los eventos que evaluará la máquina, pudiendo ser estos temporizados o no.

En el diagrama de actividad correspondiente al proceso de curado es posible observar todo el mapa de acciones, donde lo que más llama la atención a simple vista es la mayor complejidad dentro de las decisiones tomadas al principio del programa. En este caso, sí es necesario llevar a cabo ciertos preparativos antes dar oficialmente comienzo al proceso de curado; se deberá establecer la temperatura objetivo antes de dar inicio a la cuenta regresiva del reloj.

Para conseguir esto, se plantea una estructura de doble bucle cerrado. El primero de estos bucles se cierra hasta el punto en el que se alcanza la temperatura por primera vez, momento en el que se inicia el reloj y otros subsistemas. Desde ese momento hasta que se termine la cuenta regresiva, estará tomando lugar el segundo bucle cerrado. A continuación, se muestra el diagrama de actividad para el proceso de curado señalando visualmente los dos bucles previamente mencionados.

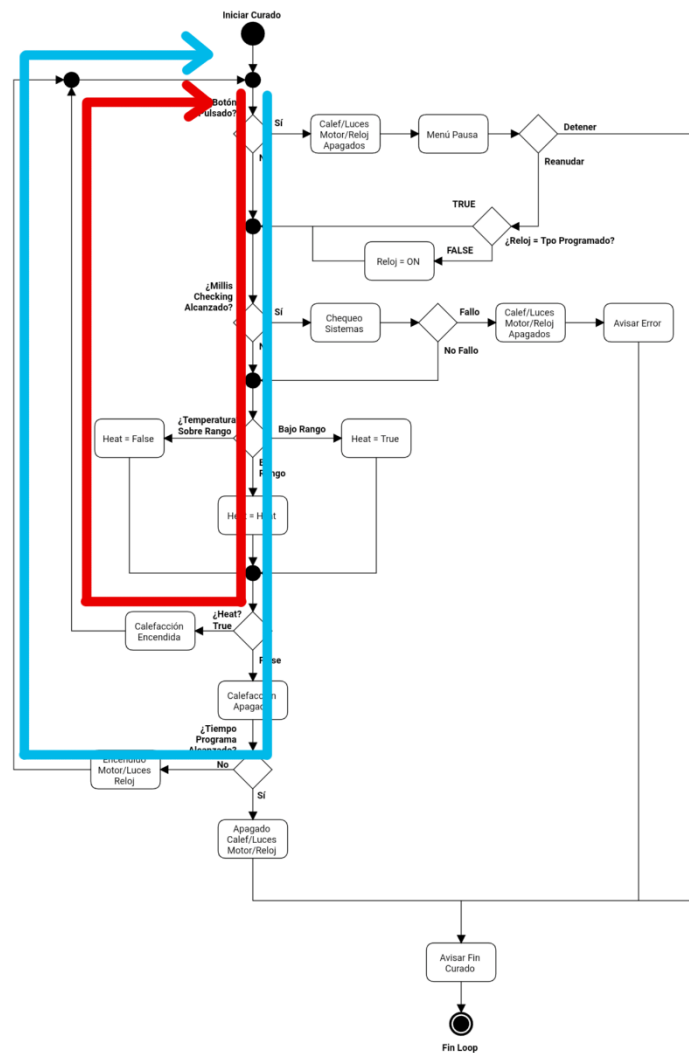


Ilustración 219 - Diagrama de Actividad para el Proceso de Curado Señalando los Bucles

A resaltar, el mecanismo empleado tras la opción "reanudar" dentro del menú de pausa, que permite pausar el programa durante el calentamiento inicial sin poner en marcha el reloj y, nuevamente, pausar el programa una vez ya ha comenzado verdaderamente, pudiendo pausar y reanudar el reloj a voluntad. De igual modo, resaltar el mecanismo de histéresis dividido en dos fases; la primera encargada de modificar una variable en función de la temperatura respecto al objetivo impuesto, el segundo verifica dicha variable para activar finalmente el calefactor o no.

En cualquier caso, más allá de la complejidad necesaria para crear estos dos bucles, uno encerrado dentro de otro, se hacen familiar dos condiciones lógicas que ya se han podido observar dentro del diagrama de actividad del proceso de lavado, haciendo referencia al menú de pausa y al chequeo de los sistemas, cuyo funcionamiento es idéntico.

Desarrollo del Proyecto

A continuación, se muestra una simulación de la pantalla LCD para el menú de curado, pudiendo comprobar que es idéntica a la del lavado debido a que no es necesario modificarla.

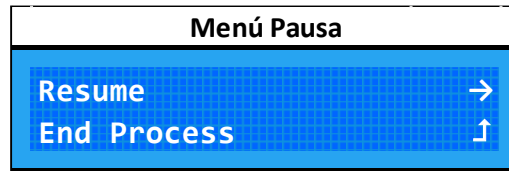


Ilustración 220 - Simulación Gráfica del Menú de Pausa (Curado)

Finalmente, cuando el tiempo programado en el reloj llegue a su fin de forma natural, el sistema notificará acústicamente al usuario de este evento, regresando automáticamente al menú principal para permitir la selección de un nuevo proceso.

Cabe destacar que, durante todo este proceso, la pantalla LCD ha notificado al usuario de forma continua acerca del tiempo restante del proceso y de la temperatura actual con respecto al objetivo, indicándole la posibilidad de recurrir al menú de pausa en caso de que fuera necesario al mover el encoder. A continuación, se muestra una simulación de esta pantalla.

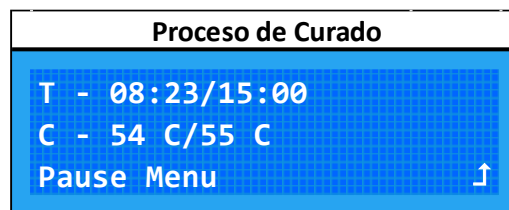


Ilustración 221 - Simulación Gráfica de la Pantalla Mostrada durante el Proceso de Lavado

5.8. FASE 8 - ELABORACIÓN DE LA MAQUETA

La existencia de esta última fase del proyecto, la elaboración de la maqueta, surge de la necesidad de acercar al mundo real el diseño prototipo llevado a cabo a lo largo de todo este proyecto. Si bien es cierto que no será posible, tanto por limitación de hardware como temporal, la fabricación y demostración in situ del sistema electrónico diseñado, se pretende aportar con esta muestra una ventana a la apariencia, dimensión y figuración de su funcionamiento.

Aprovechando la temática de este trabajo, se pretende realizar la maqueta mediante tecnologías de impresión 3D FDM, ya que con relación a su naturaleza (un prototipo), es la técnica que mejor se ajusta a esta necesidad de fabricación por su sencillez de uso, velocidad de fabricación y flexibilidad en la naturaleza estructural de las piezas para su adaptación a las dimensiones de la maqueta.

Para comenzar a elaborarla, se tomarán como punto de partida los elementos diseñados en las fases electrónica y mecánica, teniendo en cuenta que serán estos últimos los que más representen fielmente a lo verdaderamente trabajado, por su componente visual y estructural.

Con respecto al diseño electrónico, únicamente se tomarán las formas de las placas de circuito impreso diseñadas, directamente extraídas de KiCAD, para poder ser integradas dentro de la maqueta y aportar una mayor coherencia al conjunto mostrado.

5.8.1. Especificaciones de la Máquina FDM

La máquina seleccionada para la fabricación de componentes es una impresora 3D FDM de la marca Anycubic, modelo Mega Pro, con las siguientes modificaciones.

La máquina se encuentra integrada dentro de un cerramiento especialmente diseñado para este modelo. Dicho espacio cuenta con sistema de ventilación dual y depuración de aire de salida, iluminación en dos etapas y ordenador en miniatura (Raspberry Pi 3 Modelo B) con el sistema operativo Octoprint para la gestión de la máquina.

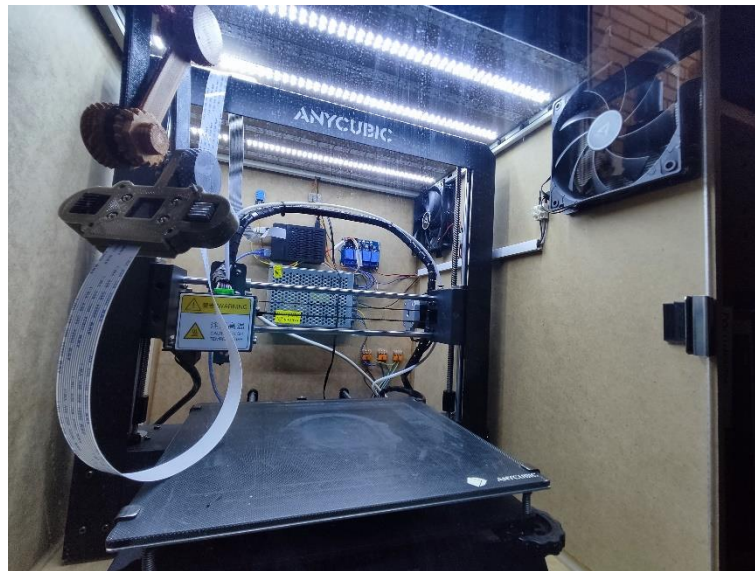


Ilustración 222 - Sistema 3D FDM Seleccionado para Fabricación de Maqueta

La impresora 3D posee las siguientes especificaciones (las más relevantes para este proyecto) facilitadas por el fabricante.

- Volumen de Construcción: 210x210x205 mm³.
- Resolución de Capa: 0.05-0.3 mm.
- Velocidad de Desplazamiento: 100mm/s.
- Diámetro de Boquilla: 0.4 mm.
- Velocidad de Impresión: 20 – 100 mm/s.

Las impresiones generales dadas por la experiencia en su repetido uso son las de una máquina sencilla de usar donde no es necesario preocuparse demasiado por el hardware proveniente de fábrica, cómoda de emplear y capaz, por la multitud de filamentos posibles de uso.

Sin embargo, cabe destacar la dificultad en el uso del material TPU (material flexible) dado el mecanismo de impulsión de material a distancia (Bowden), que permite un menor peso en el carro del extrusor a costa de una pérdida en el control de la entrada del filamento en la boquilla fusora.

5.8.2. Concesiones al Diseño

La primera temática, ya estrictamente mecánica, a tener en cuenta dentro de la fabricación de la maqueta son las concesiones al diseño. Se trata de una serie de diferencias con respecto al modelo original, diseñado a lo largo de este trabajo cuya existencia se explica por la adaptación del modelo original con todo lujo de detalles al trasladado para la fabricación de la maqueta.

La primera consideración, la más importante de todas, para tener en cuenta son las dimensiones de la propia maqueta, ya que resulta imposible debido a las características de la máquina con la que se fabricará realizar un modelo a escala 1:1. De esta forma, para que dicha reproducción sea posible de fabricar, además de fácil y cómoda de manejar y ensamblar, se decide reducir las dimensiones una tasa del 50%, dejando una escala de 1:2.

Esta decisión hace tomar otras consideraciones de diseño, como la sustitución de todos los elementos de unión por otros cuyas dimensiones sean compatibles con las medidas de la maqueta. Adicionalmente, se hará uso de silicona termofusible para la unión de varios conjuntos de piezas.

Por otro lado, será necesario eliminar la fabricación de algunos de los componentes más críticos por su tamaño a la hora de ser impresos, como los ventiladores cuyas aspas no serían posibles de fabricar a causa de su mínimo grosor. El sistema de rotación del agitador, dentro de la cubeta, también deberá ser eliminado por sus mínimas dimensiones.

Además, la movilidad de algunos elementos deberá verse limitada a consecuencia de la no existencia de los elementos que la permitían. Este es el caso de los sistemas dependientes del motor paso a paso o el encoder rotativo.

5.8.3. Proceso de Construcción

Para poder fabricar la maqueta de este proyecto, será necesario seguir una consecución de pasos que comienzan directamente en los modelos 3D diseñados en Inventor y en KiCAD y terminan en la maqueta ya ensamblada.

5.8.3.1. Obtención de los Archivos STL

El primer de los pasos es obtener los archivos STL de los modelos diseñados en los diferentes programas de creación de contenido, en este caso, KiCAD e Inventor. Un archivo STL, o por sus siglas en inglés "Stereolithography", es el formato por excelencia para la compartición de modelos 3D en Internet dada su simplicidad y bajo peso, se trata exclusivamente de la malla poligonal del modelo diseñado.

5.8.3.1.1. Autodesk Inventor

Para poder exportar el modelo diseñado a un archivo STL, primero se debe visitar el menú "Archivo" una vez se tenga un fichero IPT o IAM abierto. Dentro de este menú, se visitará el submenú "Imprimir..." y, después, "Enviar a Servicio de Impresión en 3D".

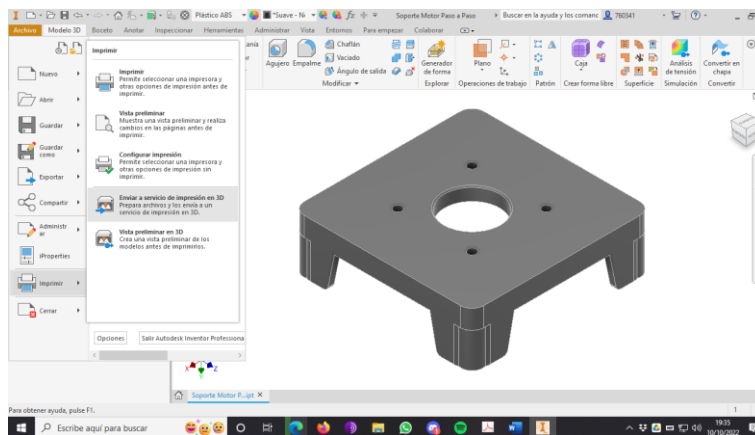


Ilustración 223 - Autodesk Inventor; Submenú "Enviar a Servicio de Impresión 3D" 1

Se abrirá el siguiente submenú, donde se deberá hacer click en "Opciones...".

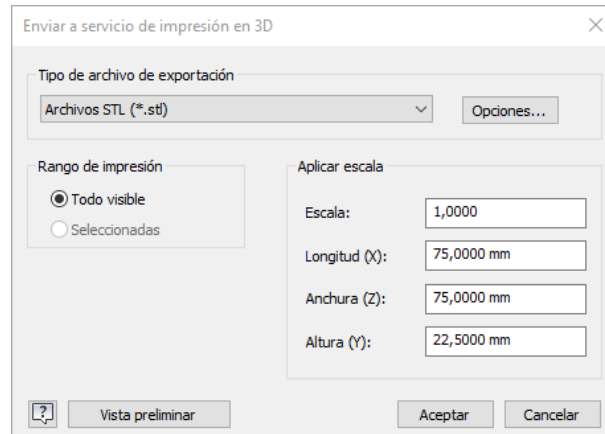


Ilustración 224 - Autodesk Inventor; Submenú "Enviar a Servicio de Impresión 3D" 2

Dentro del siguiente submenú, se seleccionará un formato binario, los milímetros como unidad de medida y una calidad de resolución alta.

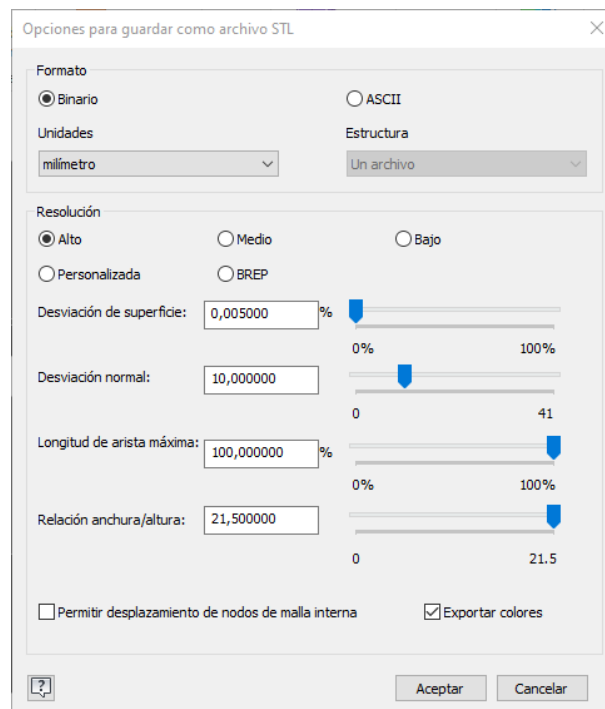


Ilustración 225 - Autodesk Inventor; Submenú "Enviar a Servicio de Impresión 3D" 3

Una vez todo esté configurado, se hace click en el botón de "Aceptar" del primer cuadro y se selecciona una ubicación dentro del sistema operativo donde exportar el archivo STL.

Desarrollo del Proyecto

5.8.3.1.2. KiCAD

Una vez dentro de un proyecto de KiCAD, en la sección del "Editor de Placas", se deberá seleccionar la opción "STEP" en el submenú "Exportar", en el interior del menú "Archivo".

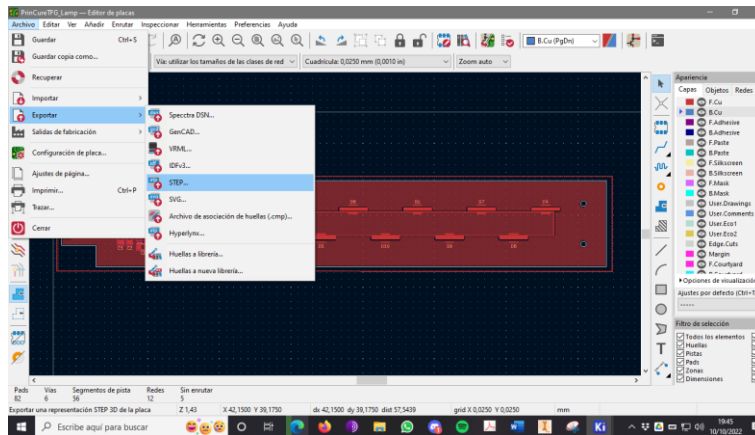


Ilustración 226 - KiCAD; Exportar en STEP

Esto generará un fichero STEP, que se deberá importar en Inventor y, de nuevo, exportar en STL siguiendo el procedimiento recién expuesto.

5.8.3.2. Escalado de los Modelos

Según se ha comentado previamente, será necesario realizar el escalado de los modelos exportados para permitir su impresión dentro de la impresora 3D seleccionada. Esta tarea se llevará a cabo en Ultimaker Cura, un software para la parametrización de las impresiones 3D y creación de archivos GCode.

Para escalar los modelos, se deberá importar primero aquel que sea requerido desde el menú "Archivo" o la interfaz de usuario gráfica visible en pantalla. Una vez hecho esto, el escalado del modelo será accesible a través del menú contextual que figura a la izquierda de la pantalla.

Por último, se podrá exportar el modelo escalado a través de la opción "Exportar" en el menú superior "Archivo", seleccionando la opción "STL Binario" y un directorio donde depositar el archivo.

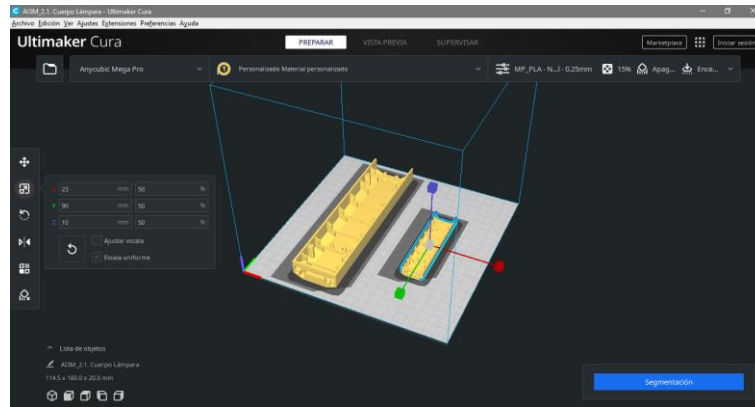


Ilustración 227 - Ultimaker Cura; Escalado de Modelos 3D

5.8.3.3. Preparación de los Archivos GCode

Con el fichero STL importado dentro de Ultimaker Cura, se creará un archivo GCode que permite a la impresora entender las instrucciones generadas por el software para realizar la impresión 3D. Este tipo de extensión se trata de un archivo de texto con miles de líneas en su interior en código ISO, similar al empleado por tornos y fresadoras.

Para configurar correctamente la impresión de las piezas es necesario tener en cuenta sus dimensiones, el material empleado y las posibles debilidades estructurales que pueda llegar a presentar, como, por ejemplo, los voladizos.

En general, los parámetros más relevantes han sido tomados dentro de los siguientes rangos y valores.

- Altura de Capa: 0.2 – 0.25 mm.
- Grosor de la Pared: 0.4 – 0.8 mm.
- Relleno: 15% - 100%.
- Temperatura de Impresión (Extrusor): 210°C
- Temperatura de Impresión (Superficie): Ambiente.
- Velocidad de Impresión: 25 – 70 mm/s.
- Adherencia: Borde, 8mm.
- Soportes: En la mayoría de los casos han sido empleados.

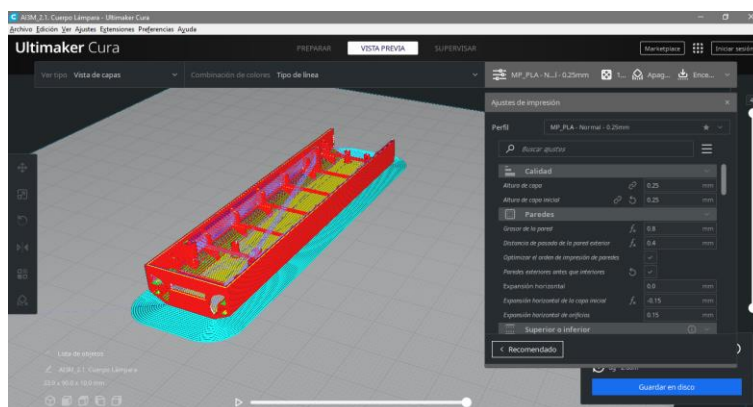


Ilustración 228 - Ultimaker Cura; Preparación del GCode

5.8.3.4. Impresión de las Piezas

Con los ficheros GCode ya preparados para todos los componentes se inicia el módulo de impresión 3D, subiendo todos los archivos al servidor que controla la máquina. Tras varios días siguiendo una rigurosa planificación de impresión, se logra llegar a obtener físicamente todos los modelos.

Tras cada impresión, se suceden unos minutos de postprocesado retirando rebabas de las superficies de las piezas para lograr sacar el mejor aspecto posible de estas.

Como datos curiosos de este largo proceso de impresión se obtuvo que la pieza que más tardó en imprimirse y más material consumió fue la campana de protección, con una duración de 5 horas y 40 minutos y un gasto de material PLA de 89 gramos. Únicamente fue necesario repetir la impresión de la pieza "Carcasa Resistencia Térmica" por una rotura en su mecanizado posterior. La pieza "Cubierta Superior Base" sufrió un efecto de retracción bastante grave, para lo que se dispuso la cama caliente a 80°C con el propósito de ablandar el material y modificar la forma final de la pieza.

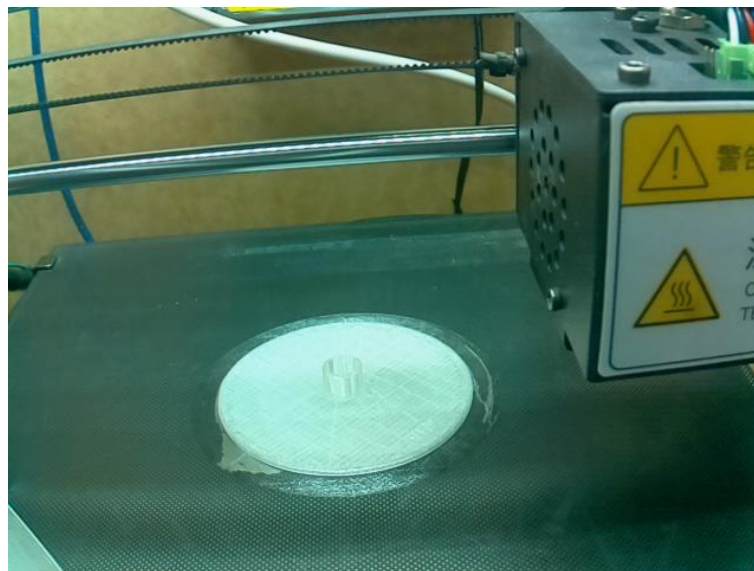


Ilustración 229 - Impresión 3D de la Pieza "Cuerpo Lámpara"

5.8.3.5. Ensamblado de las Piezas

En último lugar, una vez todas las piezas han sido impresas y postprocesadas correctamente, llega el momento de ensamblarlas siguiendo el ensamblaje previamente diseñado en Autodesk Inventor.

Como se ha indicado anteriormente, se ha utilizado silicona termofusible para el adhesivado de aquellas partes que no requieran ser desmontadas para observar cómo está constituida la máquina. Para las que este caso sea positivo, se han utilizado tornillos adecuados a las dimensiones de la maqueta.



Ilustración 230 - Maqueta Completa de PrinCure 3D

6. CONCLUSIONES

En última instancia, queda echar la vista atrás para revisar todo lo realizado, definiendo si los objetivos marcados se han logrado, o, por el contrario, no ha sido posible. Además, resulta interesante plantear qué escenarios de futuro caben dentro de todo lo comentado dentro de este proyecto, una previsión sobre cómo volver a trabajar sobre el material desarrollado, marcaje de futuros límites o nuevas.

Este trabajo comienza exponiendo sus objetivos justificando el cambio de una de sus propuestas de partida, la posible fabricación de la máquina diseñada. Inconvenientemente, esta idea se ha tenido que descartar en múltiples ocasiones por la falta de componentes electrónicos o el encarecimiento de las materias primas y sus procesos. Por tanto, debería figurar como una propuesta de futuro para motivar la mejora constante de la propuesta de esta máquina y lo que representa.

El trabajo expone desde sus más básicos conceptos hasta los más técnicos o complicados lo que es la impresión 3D mediante resina, dando sentido a su propuesta, la inclusión del sistema calefactor. Si bien es cierto que muchos de estos conceptos podrían haberse obviado, se ha considerado apropiado, y una meta cumplida dentro de los objetivos, compartir todos los fundamentos expuestos, ayudando a su comprensión. Como otro futurible, sería bueno optimizar la forma de narrar todo este conocimiento, haciéndolo más atractivo a su lectura.

La primera fase analiza tres equipos representativos de la máquina que se pretende diseñar, aportando gran cantidad de información para el desarrollo del trabajo. En el momento de su selección, se omitieron otras máquinas a consecuencia de la carencia de muchos de los sistemas que sí aparecen en las citadas. Como nueva propuesta, resultaría atractivo integrarlos y analizar por qué carecen de esos sistemas u otras particularidades que pudieran tener, también desde un punto de vista comercial.

En la agrupación de fases que trata la componente electrónica, se considera haber llegado a un punto satisfactorio de su comprensión y terminación. El objetivo último de diseñar las placas de circuito impreso que permiten a la máquina funcionar se ha logrado alcanzar, siempre tras filtrar y perfeccionar el conocimiento, ideas y productos. Como propuesta de futuro, se reta a la mejora de los sistemas diseñados para hacerlos más eficientes, seguros y capaces, al margen de las serigrafías oportunas.

Conclusiones

En la agrupación de fases que trata la componente mecánica, de nuevo, se ha llegado a un punto muy interesante de su concepción. Pese a no desarrollar un diseño propio, sino tomar inspiración y modificar en base, ha resultado satisfactorio el objetivo de diseñar un sistema mecánico que diera soporte a la electrónica y le permitiera operar correctamente. A futuro, una de las metas más atractivas es la de desarrollar, desde cero, un diseño mecánico completamente original.

En la fase de diseño del software, aún la más breve, se ha logrado llegar a un punto muy próximo a la realización de propio código, analizando y detallando los aspectos más relevantes y prácticos. Se considera logrado el objetivo inicialmente impuesto. Tras pasar a un segundo plano esta fase, por construcción, optimización y tiempo, uno de los futuribles que más inmediata atención requerirían sería el siguiente paso, la creación completa del propio código.

Para la creación de la maqueta, una propuesta que permite dar salida a parte de lo diseñado, se considera haber llegado a un punto muy adecuado. Se ha logrado desarrollar un modelo representativo que permite entender cómo funcionaría el verdadero sistema ya fabricado. Un punto de partida para el desarrollo de una mejor representación sería la integración de diferentes materiales que dieran más contexto de la realidad de la máquina, así como una posible ampliación de sus dimensiones.

Por último, resta la conclusión más valiosa de este trabajo, la sencillez con la que se puede permitir a los usuarios de impresoras 3D, domésticos o semiprofesionales, entrar en un nuevo rango para la obtención de propiedades mecánicas en sus piezas impresas, gracias al sistema térmico expuesto. En un sector que ha demostrado su potencial durante la última década y cuya expansión permite movilizar ámbitos obsoletos, nunca estará de más permitir a los usuarios que amplíen el conocimiento por cuenta propia, forjando nuevos profesionales, ideas y un nuevo y mejor futuro para una parte de la industria de la manufactura.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Gibson, D. Rosen, y B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies*. New York, NY: Springer New York, 2015. doi: 10.1007/978-1-4939-2113-3.
- [2] «Gibson et al. - 2015 - Additive Manufacturing Technologies.pdf».
- [3] Elegoo, «MSDS for Standard Elegoo Resin», feb. 2020.
- [4] SGS Group Management SA, «MSDS Report for Elegoo Water Washable Resin», SDS Report CP19-047601, ago. 2019.
- [5] C. Hull, «Method for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography», 4929402, 1990
- [6] E. Murphy, «Investment Casting Utilizing Patterns Produced by Stereolithography», 4844144, 1989
- [7] «Photopolymer», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. p. 9, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photopolymer>
- [8] SGS Group Management SA, «MSDS for Anycubic Standard Resin», SDS Report CP19-045581, ago. 2019.
- [9] Formlabs, «MSDS Clear Resin», SDS Report, feb. 2020.
- [10] Formlabs, «MSDS Durable Resin», SDS Report, may 2019.
- [11] Formlabs, «MSDS Flexible Resin», SDS Report, nov. 2019.
- [12] Formlabs, «MSDS High Temp V1 Resin», SDS Report, mar. 2020.
- [13] Formlabs, «MSDS Surgical Guide Resin», SDS Report, oct. 2019.
- [14] Formlabs, «MSDS Tough Resin», SDS Report, mar. 2020.
- [15] Formlabs, «MSDS White Resin», SDS Report, feb. 2020.
- [16] «Radiación Ultravioleta», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. p. 15, 2021. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_ultravioleta
- [17] B. Ott, «What material blocks UV rays but allows visible light to pass through», *What material blocks UV rays but allows visible light to pass through*, 2 de mayo de 2019. <https://www.quora.com/What-material-blocks-UV-rays-but-allows-visible-light-to-pass-through>
- [18] Marcologue, «Toxic? Where to put printer?», *Formlabs Community Forum*, marzo de 2017. <https://forum.formlabs.com/t/toxic-where-to-put-printer/12158/11>
- [19] Formlabs, «Resin Care», *Formlabs Support*, 21 de julio de 2021. https://support.formlabs.com/s/article/Resin-Care?language=en_US#handling
- [20] Z. Zguris, «How Mechanical Properties of Stereolithography 3D Prints are Affected by UV Curing», p. 11, 2020.
- [21] Formlabs, «Elección del Disolvente de Lavado Adecuado». <https://support.formlabs.com/s/article/Choosing-the-right-wash-solvent?language=es>
- [22] Formlabs, «Solvent Compatibility». https://support.formlabs.com/s/article/Solvent-Compatibility?language=en_US#related-articles

Bibliografía

- [23] «Longitud de Onda», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. p. 15, 2021. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Longitud_de_onda
- [24] «Tiempo», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. p. 15, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tiempo>
- [25] «Flujo de Radiación», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. p. 15, 2021. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_de_radiaci%C3%B3n
- [26] «Transferencia de Calor», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. p. 15, 2021. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Transferencia_de_calor
- [27] «Impresión 3D», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2022. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D
- [28] «Proyecto RepRap», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2022. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecto_RepRap
- [29] «Anycubic», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. p. 4, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://de.wikipedia.org/wiki/Anycubic>
- [30] «Formlabs», *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. p. 6, marzo de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/Formlabs>
- [31] Anycubic, «User Manual - Anycubic Wash & Cure 2.0». 2021.
- [32] Atmel, «AT15007: Differences between ATmega328/P and ATmega328PB», nov. 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.pololu.com/file/0J1464/Atmel-42559-Differences-between-ATmega328P-and-ATmega328PB_ApplicationNote_AT15007.pdf
- [33] D. Carrasco, «Protección de Polaridad Inversa Usando un Diodo», *Electrosoftcloud*. <https://www.electrosoftcloud.com/circuitos-de-proteccion-contrapolaridad-inversa/>
- [34] TI, «Reporte de WEBENCH® Power Designer para FC de 12V a 5V», jun. 2022.
- [35] Arduino, «Esquema Electrónico Arduino™ UNO Rev3».
- [36] YI BAI TOOLS Store, «Anuncio de Venta Calentador de Cerámica». https://es.aliexpress.com/item/32996875247.html?spm=a2g0o.order_list.0.0.7d53194dpzEtW4&gatewayAdapt=glo2esp
- [37] LITEON Optoelectronics, «LED UV-A LTPL-C034UVH405», mar. 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.mouser.es/datasheet/2/239/LTPL-C034UVHXXX%20UV%203535%20Lens%20type%20Series_Ver3.4_20-1108924.pdf
- [38] Infineon, «BTS7002-1EPP», dic. 2020.
- [39] Infineon, «BTF3125EJ», ago. 2018.
- [40] Infineon, «BTF3035EJ», ago. 2018.
- [41] Texas Instruments, «DRV8825», 2011.
- [42] FTDI Chip, «FT232RL», 2005.
- [43] Texas Instruments, «Reporte de WEBENCH® Power Designer para FC de 12V a 3.85V», ago. 2022.

Relación de documentos

(X) Memoria	264	páginas
(_) Anexos	NN	páginas
(X) Planos	63	páginas

La Almunia, a 22 de 11 de 2022

Firmado: Cristián Bonafonte Calabia

