

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería electrónica, industrial y automática

**DISEÑO Y IMPLEMENTACIÓN DE UN LIGHTBOX
DINÁMICO PARA RETAIL**



Memoria y Anexos

Autor/a: Miguel Povea Castillo

Director/a: Herminio Martínez García

Convocatoria: Junio 2021

Resumen

Un lightbox dinámico es una estructura o caja de luz formada por una matriz de LEDs en la cual se puede reproducir una determinada escena en bucle. Este proyecto describe el proceso completo de diseño y fabricación de un lightbox dinámico.

El elemento principal del diseño es el circuito impreso por lo que el proyecto se centra principalmente en el desarrollo de este elemento. Inicialmente se hace un estudio de los componentes y el circuito a diseñar y posteriormente se detalla el diseño realizado mediante el software Altium Designer, una de las herramientas de diseño electrónico más utilizadas a nivel mundial.

Una vez validado el circuito impreso mediante la fase de testeo, se procede al ensamblado de varios circuitos creando cajas de luz de diferentes medidas. Paralelamente se implementan las soluciones para el almacenado y reproducción de los archivos de vídeo.

Resum

Un lightbox dinàmic és una estructura o caixa de llum formada per una matriu de LEDs en la que es pot reproduir una determinada escena en bucle. Aquest projecte descriu el procés complet de disseny i fabricació d'un lightbox dinàmic.

L'element principal d'el disseny és el circuit imprès de manera que el projecte se centra principalment en el desenvolupament d'aquest element. Inicialment es fa un estudi dels components i el circuit a dissenyar i posteriorment es detalla el disseny mitjançant el programari Altium Designer, una de les eines de disseny electrònic més utilitzades a nivell mundial.

Un cop validat el circuit imprès mitjançant la fase de testeig, es procedeix a l'acoblament de diversos circuits creant caixes de llum de diferents mides. Paral·lelament s'implementen les solucions per l'emmagatzematge i reproducció dels arxius de vídeo.

Abstract

A dynamic lightbox is a structure or light box formed by a matrix of LEDs in which a certain scene can be reproduced in a loop. This project describes the complete process of designing and manufacturing a dynamic lightbox.

The main element of the design is the printed circuit, so the project focuses mainly on the development of this element. Initially, a study of the components and the circuit to be designed is made and later the design is detailed using the Altium Designer software, one of the most used electronic design tools worldwide.

Once the printed circuit has been validated through the testing phase, various circuits are assembled, creating light boxes of different sizes. At the same time, solutions for storing and playing video files are implemented.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi familia y amigos por estar siempre a mi lado proporcionándome el afecto y la energía necesaria para poder avanzar en cada escalón y permitirme seguir creciendo tanto a nivel profesional como personal. Este trabajo también es vuestro.

A ACTILUM y en especial al departamento de investigación y desarrollo por guiarme durante toda la realización del proyecto y brindarme las herramientas necesarias en todo momento.

Por último, agradecer a la UPC y en especial a Herminio Martínez Garcia por su ayuda y su tiempo.

Glosario

- **PCB:** Circuito impreso (de las siglas en inglés *Printed Circuit Board*).
- **SMD:** Dispositivo de montaje superficial (de las siglas en inglés *Surface-mount device*). También pueden utilizarse las siglas *STL* (*Surface-mount technology*) para referirse a la tecnología de montaje superficial.
- **VIA:** Acceso de interconexión vertical.
- **DRC:** Comprobador de reglas de diseño (de las siglas en inglés *Design Rule Checker*)
- **BOM:** Lista de componentes (de las siglas en inglés *Bill Of Materials*)
- **THT:** Tecnología de agujero pasante (de las siglas en inglés *Through-hole technology*)
- **PAD:** Superficie de contacto de un pin o terminal de un componente con la PCB.
- **Huella/*Footprint*:** Diseño de uno o varios *pads* para un componente en concreto.
- **Net:** Segmento de línea que comunica dos partes o componentes de una PCB.
- **VCC:** Tensión de alimentación (Polo positivo).
- **GND:** Tierra o punto de referencia de 0V (Polo negativo) (Del inglés *Ground*).
- **Pitch:** Distancia medida en milímetros entre los centros de dos píxeles de una pantalla.
- **GERBER:** Formato de archivo que contiene la información necesaria para la fabricación de una PCB.

Tabla de Contenidos

Resumen	I
Resum	II
Abstract	III
Agradecimientos	IV
Glosario	V
1. Prefacio	1
1.1 Objetivo del proyecto	1
1.2 Colaboración	1
1.3 Justificación del proyecto	1
1.4 Alcance del proyecto	2
2 Estado del arte	2
3 Diseño del circuito impreso	4
3.1 Introducción.....	4
3.2 Concepto	6
3.3 Estudio de los componentes	7
3.3.1 Chip controlador LED WS2811	7
3.4 Estudio del circuito electrónico.....	10
3.5 Diseño del circuito impreso.....	15
3.5.1 Altium Designer.....	15
3.5.2 Librerías	18
3.5.3 Esquemático	19
3.5.4 PCB.....	27
3.5.5 Documentación y especificaciones	47

3.5.6 Resultados	59
4 Diseño de la estructura trasera	63
4.1 Concepto	64
4.2 Diseño	68
4.2.1 PCB Conexión Vertical.....	68
4.2.2 PCB Conexión Horizontal	76
4.2.3 Soporte 3D.....	78
4.2.4 Resultado.....	79
5 Interfaz de vídeo	81
5.1 Introducción.....	81
5.2 Tratamiento de vídeo / Mapeado.....	82
5.3 Reproductor de vídeo.....	87
5.4 Convertidor	90
6 Prototipo Final	91
6.1 Estructura.....	91
6.2 Control.....	96
7 Análisis del impacto ambiental	101
8 Conclusiones	102
8.1 Conclusión general	102
8.2 Futura línea de desarrollo	103
9 Análisis económico	104
Referencias	107
Lista de figuras	109
Lista de tablas	114
Anexo A: Desglose de costes del proyecto	116

9.1 A1. Coste de fabricación y montaje de la PCB Píxel Blanco	116
9.2 A2. Coste de fabricación y montaje de la PCB de conexión vertical	117
9.3 A3. Coste de fabricación y montaje de la PCB de conexión horizontal	117
9.4 A4. Coste total del proyecto.....	118
Anexo B: Esquemas y documentos de montaje	120

1. Prefacio

1.1 Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto es detallar el proceso de diseño y la implementación de un lightbox dinámico en su totalidad, entendiendo el mismo como una estructura o caja de luz formada por una matriz de LEDs en la cual se puede reproducir una escena videográfica en bucle.

Este proyecto engloba principalmente el estudio y la creación de un circuito impreso formado por una matriz de LEDs y todos los elementos necesarios para convertirlo en una caja de luz dinámica. Es decir, el diseño de una estructura que permita unir varios circuitos y la elección y programación de diversos elementos que permitan almacenar y reproducir la escena deseada.

1.2 Colaboración

Este proyecto es el resultado de la colaboración con la empresa Actilum RGB, S.L. Actilum es una empresa que cuenta con más de 10 años de experiencia en el sector de la iluminación LED. Empezó dando soluciones a diversos sistemas de iluminación dentro del área del retail y con los años se ha consolidado como una de las empresas pioneras en el sector de la retroiluminación dando soluciones personalizadas y colaborando con grandes compañías como HP, Prada, Dior, Sony, Nespresso o Calvin Klein entre otras.

Actilum tiene unos valores y una filosofía de trabajo muy clara que apuesta por el desarrollo y la investigación de nuevos sistemas. Por ello dispone de un departamento de I+D formado por ingenieros electrónicos y diseñadores de producto encargados de investigar e implementar nuevas soluciones no únicamente en el ámbito del retail sino para otros campos como la horticultura o la robótica.

1.3 Justificación del proyecto

Vivimos en un momento de cambio y evolución constante. Es innegable que la tecnología avanza a pasos de gigante y es el momento de adaptarse o quedarse atrás, es por esto que la mayoría de empresas se han visto obligadas a apostar por las nuevas tecnologías y a adaptar ciertos procesos o productos a dicha necesidad.

El sector del retail o venta al por menor no es una excepción, y en su seno se basa este proyecto. En un sector competitivo como este, en el cual el objetivo es captar al máximo la atención de un potencial cliente y posicionarte rápidamente por encima de tu competencia es fundamental

apostar por nuevas tecnologías y dar nuevos enfoques a la publicidad, para poder transformar ese posible interés en una venta.

Este proyecto propone una solución tecnológica a este problema creando un producto atractivo y flexible que permita a cualquier vendedor al por menor adaptarse a las cambiantes demandas del mercado aumentando así su volumen de ventas.

1.4 Alcance del proyecto

El proyecto se divide en las siguientes etapas:

1. Diseño de la PCB que forma la matriz de LEDs programables.

En este punto se incluyen: el estudio de los componentes, el diseño, la documentación necesaria para la fabricación y montaje de estos y el testeo posterior.

2. Diseño de la estructura trasera del sistema.

Dicha estructura permite la unión de varios circuitos permitiendo crear grandes pantallas.

3. Estudio de los componentes y elementos que forman el sistema de tratamiento de vídeo.

Entendiendo el tratamiento de vídeo como el proceso encargado de transformar un archivo de vídeo a una señal interpretable por la matriz de LEDs.

4. Programación o mapeado del circuito de tratamiento de vídeo.

5. Implementación física del sistema completo (Construcción del prototipo e integración de todas sus partes).

2 Estado del arte

El retail o venta al por menor es un proceso de venta de bienes de consumo o servicios a los clientes a través de diversos canales de distribución. Los minoristas se encargan de satisfacer la demanda a través de lo que se conoce como cadena de suministro, que no es más que un sistema de organizaciones, actividades, información, personas y recursos involucrados en la venta y el suministro de un producto a un consumidor.

Se conoce como comercio minorista al que se enfoca a organizar pequeños pedidos directamente a usuarios finales en lugar de realizar grandes pedidos masivos a un reducido número de clientes. Debido a que mayoritariamente estas ventas son recreativas, implican que el cliente observe un

escaparate, se pare ante un expositor, interactúe con el producto o directamente se deje aconsejar por el vendedor.

Este tipo de comercio se remonta a la antigüedad donde los primeros minoristas eran conocidos como vendedores ambulantes. Estos se dedicaban a comerciar tratando de forma directa con el usuario final incluso llegando a ofrecer un servicio puerta a puerta.

La venta al por menor a menudo tiene lugar en tiendas o establecimientos de servicios, aunque también puede ocurrir a través de la venta directa como en el caso de una máquina expendedora, las ventas puerta a puerta o canales electrónicos. Habitualmente el retail engloba una gran cantidad de toma de decisiones a nivel estratégico como puede ser el tipo de tienda, el mercado al que atender, los productos a proporcionar y el servicio al cliente entre otros. [18]

Estas ventas dirigidas al usuario final implican grandes proyectos de promoción y marketing de los productos, cosa que se ha acentuado en los últimos tiempos a causa del comercio electrónico. Este desarrollo tecnológico ha hecho que los comercios y establecimientos de la misma forma apuesten cada vez más por un desarrollo tecnológico y una experiencia de usuario que lo promueva a realizar una compra. Grandes marcas fueron las primeras en apostar y desarrollar por este marketing tecnológico.

Un ejemplo de este desarrollo es el que implementó el Corte Inglés en 2015 diseñando un escaparate interactivo en pleno centro de Madrid compuesto por 8 figuras de acción a tamaño real de la película Star Wars. Estas figuras gracias a una serie de sensores de posición y varios motores variaba la posición de su cabeza siguiendo así el paso de la persona que se situaba frente al escaparate.[6]



Figura 2.1. Escaparate dinámico expuesto por El Corte Inglés en el centro de Madrid en el año 2015 (Fuente: OTU CINEMA [6]).

Otro ejemplo es el implementado por Nike en varias de sus tiendas en Barcelona en 2013. En estas situaban grandes pantallas que gracias a una serie de sensores permitían al usuario

seleccionar y acceder a cierto contenido dentro de esta pantalla únicamente con el movimiento de su mano.



Figura 2.2. Escaparate dinámico expuesto por NIKE en Barcelona en 2013 (Fuente: Digital AV [7]).

Hoy en día hay estudios que avalan que un buen escaparate puede suponer un aumento de hasta un 20% del volumen de ventas, este es el motivo por el que este sector está apostando por nuevas tecnologías y desarrollos. [7]

3 Diseño del circuito impreso

En este apartado se detalla, por una parte, los tipos y la importancia de las placas de circuito impreso (PCB) en la electrónica actual y, por otra parte, los procesos seguidos durante el estudio, diseño, fabricación y montaje de la PCB.

3.1 Introducción

Una placa de circuito impreso es una placa formada por una base de material no conductor sobre la que se construyen caminos o pistas de material conductor. Estas pistas se encargan de interconectar y sostener mecánicamente un conjunto de componentes electrónicos ensamblados en la base.

Habitualmente las PCB se fabrican de resinas de fibra de vidrio o epoxi compuesto, mientras que las pistas conductoras son generalmente de cobre.

Antes de que estos sistemas se convirtieran en habituales lo más común era la soldadura punto a punto. Esto se traducía en diseños excesivamente voluminosos y poco fiables, donde en la mayoría de casos los componentes requerían ser remplazados de forma regular. Las primeras PCB aparecieron a lo largo de la década de 1920, aunque no fue hasta aproximadamente 1940 cuando

se empezó a usar esta tecnología. La persona que empezó a usar circuitos impresos y al que se le conoce como el inventor de estos fue el ingeniero austríaco Paul Eisler (1907-1995). Eisler empezó fabricando un circuito impreso como parte de una radio mientras trabajaba en Inglaterra. Más adelante, en Estados Unidos se empezó a utilizar esta tecnología de manera continuada para fabricar radios más robustas y fiables con la finalidad de ser usadas durante la Segunda Guerra Mundial. Finalmente, en 1948 empezaron a comercializarse por primera vez este tipo de circuitos, aunque no fue hasta 1950 cuando se hicieron populares. [4]

Inicialmente el circuito impreso se taladraba en función de los pines del componente a colocar. Dicho componente, que disponía de pines de cobre o latón de varios milímetros de longitud, se introducía por los orificios para ser soldado posteriormente al circuito. Este método es conocido como 'through-hole' o agujero pasante.

En 1950 se creó el autoensamblaje, este sistema aumentó la popularidad de la fabricación de PCB. Dicho sistema consistía en insertar los pines de conexión de los componentes en una lámina en la que aparecía el patrón de interconexión del sistema, para posteriormente ser soldados. Más adelante, con el desarrollo por capas de los circuitos impresos y las nuevas técnicas de grabados, las técnicas de soldaduras han evolucionado hasta llegar a la soldadura por ola, en la que el circuito integrado pasa mediante una cinta transportadora sobre un tanque de soldadura fundida, en cuanto la placa atraviesa el fluido las zonas metálicas quedan expuestas creando una conexión eléctrica.

Por último, siendo lo más utilizado en la actualidad, se impuso la tecnología de montaje superficial (SMD). Esta técnica fue desarrollada en la década de 1960, aunque no se hizo popular hasta mediados de la década de 1990. Los componentes fueron modificados mecánicamente para tener pequeñas superficies metálicas en los extremos, estas podían soldarse directamente sobre la PCB sin necesidad de taladrar extendiendo el uso de componentes a ambos lados de los circuitos impresos. Por otra parte, estos componentes se hicieron mucho más pequeños permitiendo una densidad de componentes mucho mayor. Esta nueva tecnología utiliza la soldadura por refusión. Inicialmente se esparce pasta de soldadura sobre los *pads* de la PCB, a continuación, se posicionan los componentes y se introduce en un horno. Mediante la aplicación de calor o la radiación infrarroja en diferentes etapas donde se varía la intensidad, los componentes quedan perfectamente soldados a la placa sin sobrecalentar o dañar los componentes electrónicos. [4]

Actualmente los circuitos impresos están formados por diferentes capas conductoras separadas por capas aislantes. El número de capas depende de lo sofisticado o complejo que sea el sistema. Existe la posibilidad de unir capas mediante un acceso de interconexión vertical (VIA) que no es más que una conexión eléctrica entre las capas conductoras atravesando el plano de una o más capas adyacentes.

Las principales ventajas del uso de las PCB son las siguientes:

- Reducción considerable del tamaño y peso de los montajes electrónicos.
- Reducción de las posibilidades de cortocircuito.
- Optimización de la producción en masa y en consecuencia un menor precio unitario.
- Automatización del montaje.
- Reducción de los procesos de mantenimiento de equipos y sistemas electrónicos. Al disponer de una ubicación de componentes fija se facilita la identificación de errores.

3.2 Concepto

El concepto general en el que se ha basado este diseño es la creación de un circuito impreso compuesto por una matriz de LEDs que cumpla con las siguientes características básicas:

- Forma cuadrada
- Matriz de leds con la misma cantidad en alto que en ancho
- Conexión de entrada y salida de alimentación
- Conexión de entrada y salida para señal de datos

Dichos circuitos se deben poder unir entre si utilizando una estructura trasera formando así estructuras mayores como si de una pantalla se tratase.

En la figura 3.1 se puede observar el concepto de unión entre paneles:

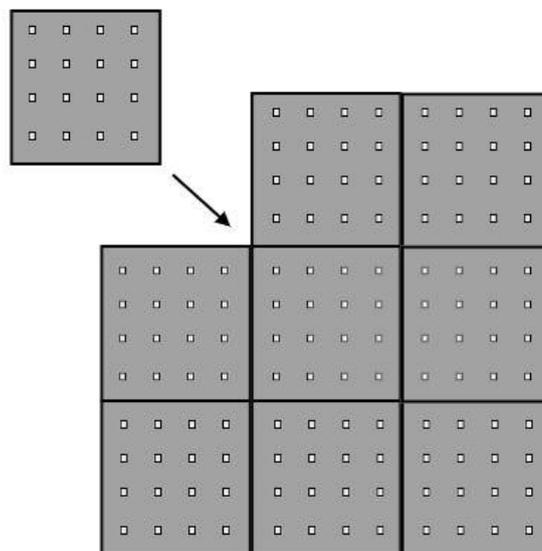


Figura 3.1. Concepto de unión entre paneles.

3.3 Estudio de los componentes

Previamente al diseño se ha realizado un estudio de los componentes que van a formar el circuito impreso. En este apartado se enumeran y se comentan sus características principales.

3.3.1 Chip controlador LED WS2811

El chip controlador pixel WS2811 es un circuito integrado de corriente constante que funciona como controlador LED. Este dispone de 3 salidas independientes que proporcionan un nivel de gris de 0 a 255 cada una.

La configuración de los pines del chip (Figura 3.2.) es la siguiente:

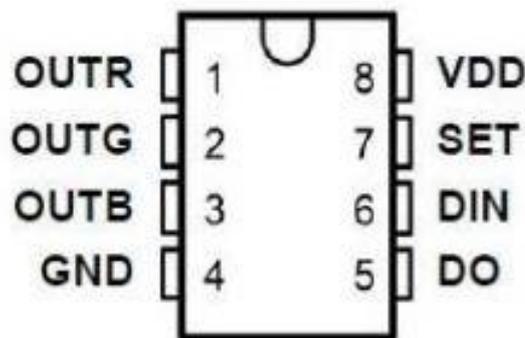


Figura 3.3. Pinout del Chip WS2811 (Fuente: Adafruit [9]).

Siendo:

VDD: Voltaje de alimentación

GND: Masa

DIN: Señal de datos de entrada

DO: Señal de datos de salida

SET: Pin de configuración del modo de trabajo. Conectado a VDD para trabajar a baja velocidad o dejar sin conectar para trabajar a alta.

OUTR: Salida para el control de PWM Rojo

OUTG: Salida para el control de PWM Verde

OUTB: Salida para el control de PWM Azul

EL Chip WS2811 utiliza un modo de comunicación NZR único. El código NZR es uno de los más utilizados en la transmisión de señales digitales y se basa en el uso de diferentes niveles de tensión para cada dígito binario sin la necesidad de pasar por 0, de ahí el nombre (Non-zero-return). La secuencia de cada dígito binario está definida por la cantidad de tiempo que la señal se mantiene a un nivel de tensión alto durante intervalos de 2.5µs. Para realizar un reinicio o reset el sistema envía una señal a nivel bajo durante 50µs.[9]

Las secuencias son las siguientes (Figura 3.4.):

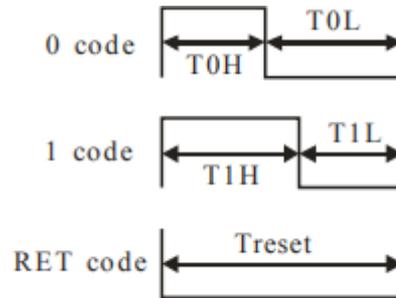


Figura 3.5. Secuencias de nivel bajo, alto y reset (Fuente: Adafruit [9]).

Siendo los tiempos para el modo a baja velocidad (Tabla I):

Tabla II: Tiempos de nivel bajo, nivel alto y reset para el modo a baja velocidad.[9]

Identificador	Descripción	Tiempo	Tolerancia
T0H	Tiempo de la señal a nivel alto para transmitir 0	0.5µs	±150ns
T0L	Tiempo de la señal a nivel bajo para transmitir 0	1.2µs	±150ns
T1H	Tiempo de la señal a nivel alto para transmitir 1	2.0µs	±150ns
T1L	Tiempo de la señal a nivel bajo para transmitir 1	1.3µs	±150ns
Treset	Tiempo de la señal a nivel bajo para realizar un reset	50µs	-

En el modo de alta velocidad los tiempos son la mitad excepto el tiempo de reset que se mantiene.

Cada uno de los chips almacena datos en bloques de 3 bytes, es decir 24 bits. Cada byte contiene la información necesaria para determinar el nivel de gris (de 0 a 255) de cada una de las salidas. Y se dividen de la siguiente manera:

R R R R R R R R G G G G G G G G B B B B B B B B
 7 6 5 4 3 2 1 0 7 6 5 4 3 2 1 0 7 6 5 4 3 2 1 0

Siendo:

R: Bits que indican el nivel de gris de la salida de control PWM RED.

G: Bits que indican el nivel de gris de la salida de control PWM GREEN.

B: Bits que indican el nivel de gris de la salida de control PWM BLUE.

Una vez conocida la señal que utiliza el chip WS2811 para definir el nivel de gris de cada uno de los LED situados en sus respectivas salidas se procede a ver como se produce la comunicación entre ellos.

La comunicación se realiza en cascada de la siguiente manera (Figura 3.6.): el primer chip que compone el sistema recibe la señal en forma de paquete de datos por el puerto DIN, este recopila la información de los primeros 24 bits y los envía a un pestillo de datos interno donde los almacena. El resto de datos pasan a un circuito interno de amplificación y remodelación de la señal para pasar al siguiente chip a través del puerto DO. Este circuito se encarga de limpiar la señal y amplificarla para llegar al siguiente chip permitiendo realizar grandes cadenas con distancias de hasta 10 metros entre chip y chip sin necesidad de añadir un amplificador de señal externo, por otra parte, esto hace que la cantidad de chips a conectar no se limite a la transmisión de la señal y que por tanto únicamente dependa de la velocidad de transmisión de esta. El segundo chip recibe la señal y vuelve a repetir la operación almacenando los siguientes 24 bits y enviando el resto de información al siguiente.[9]

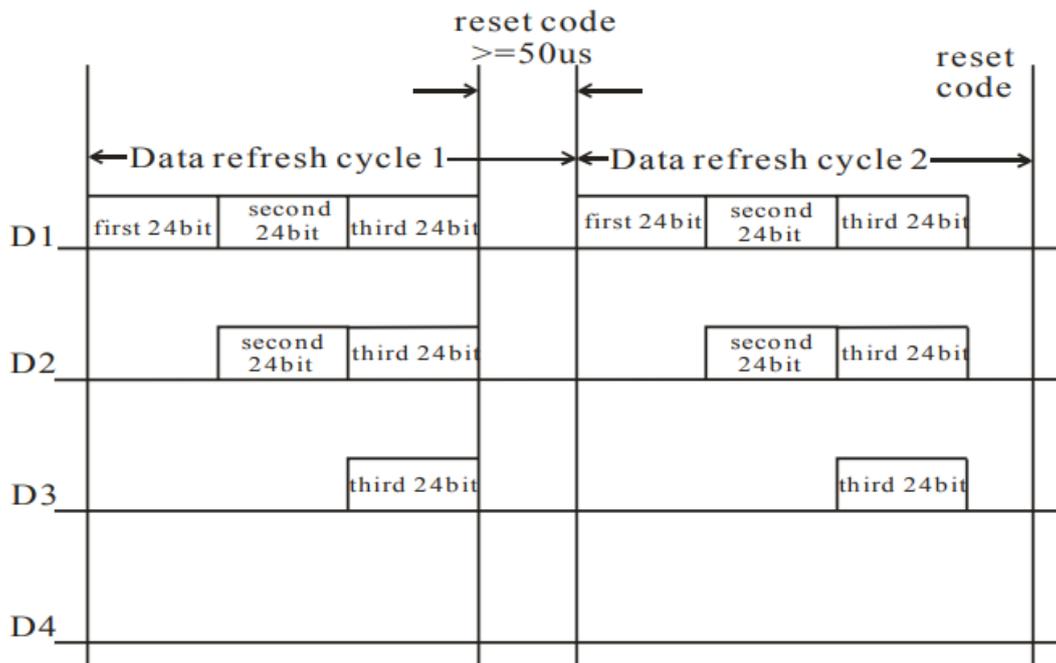


Figura 3.7. Método de comunicación de datos en cascada (Fuente: Adafruit [9]).

Al primer chip (D1) le llegan los datos directamente del microcontrolador mientras que al resto de chips (D2, D3, D4...) les llega a través del circuito de amplificación y remodelación de señal del chip anterior.

Una vez el pestillo de datos internos ha recibido los 24 bits este los interpreta y compara si la señal de PWM es diferente a la anterior para cada una de las salidas. Los chips almacenan estos datos y los envían de manera síncrona al recibir una señal de reinicio o reset por el puerto DIN, posteriormente vuelven a recibir un nuevo paquete de datos. La señal de control de las salidas OUTR, OUTG y OUTB no cambia hasta recibir la señal de reset.

3.4 Estudio del circuito electrónico

Para evaluar el resto de componentes se va a estudiar el circuito electrónico final. Este está formado por una matriz compuesta por 27 módulos. Cada uno de dichos módulos está compuesto por un chip WS2811 y tres Leds. El resto de componentes siguen el circuito propuesto por el fabricante del chip.

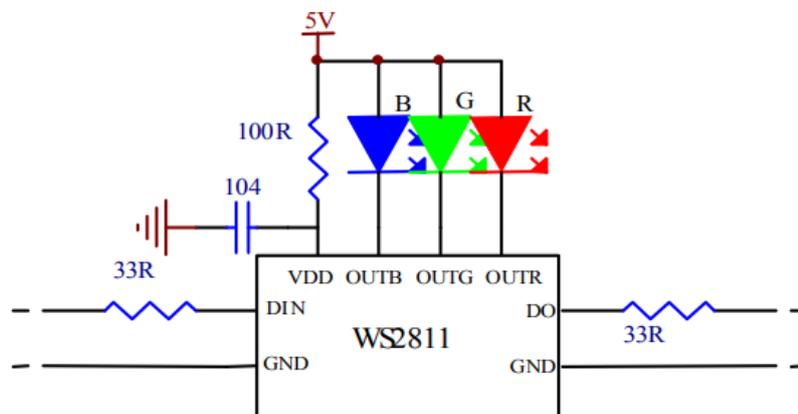


Figura 3.8. Circuito de aplicación típico (Fuente: Adafruit [9]).

Como se puede observar en la figura 3.5, por un lado, se incorporan a entrada y salida de dato unas resistencias de 33Ω . Estas son para reducir posibles problemas relacionados con la impedancia del sistema, como puede ser la reflexión de la señal (proceso que tiene lugar cuando una señal viaja a lo largo de un medio de transmisión, como un cable de cobre, fibra óptica...). Una parte de la potencia de la señal puede reflejarse de nuevo en el origen en vez de desplazarse a lo largo del cable hasta el extremo de este. Esto se produce a causa de ciertas imperfecciones en el elemento de transporte de la señal que son las que causan desajustes de impedancia y cambios no lineales en las características del cable. Dichas resistencias también sirven como protección de intercambio en caliente, es decir, permiten manipular el sistema y substituir estos chips sin la necesidad de parar o alterar el funcionamiento del sistema completo.

Por otra parte, el circuito dispone de un filtro pasa bajos pasivo de primer orden en el pin de alimentación del sistema. Este tipo de filtros permiten el paso de las frecuencias más bajas y atenúan las frecuencias más altas.

En concreto, el filtro empleado en este proyecto está compuesto por una resistencia y un condensador en serie, ambos elementos pasivos. Dado que por ellos circula una sola corriente eléctrica, no pueden actuar sobre el circuito amplificando o modulando la corriente que pasa por él.

En conjunto los componentes forman un circuito de primer orden puesto que únicamente contiene un elemento reactivo, el condensador. Los elementos reactivos son elementos donde la resistencia que ofrecen varía en función de la frecuencia de la señal. Los condensadores en este caso ofrecen una resistencia muy alta a señales de baja frecuencia, en cambio ofrecen una resistencia mucho menor a medida que la frecuencia va aumentando. Por tanto, teniendo en cuenta que la corriente toma el camino con menor resistencia, las señales de alta frecuencia habitualmente pasan por el condensador mientras que las señales de baja frecuencia van directamente al chip.

El circuito es el siguiente (Figura 3.9.):

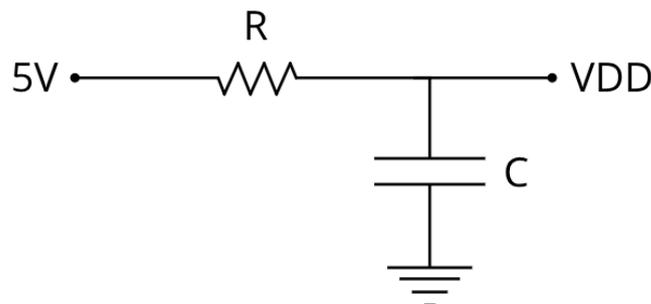


Figura 3.10. Filtro pasa bajos.

Compuesto por una resistencia con un valor de 100Ω y un condensador de 100nF .

La fórmula para calcular la frecuencia de corte, es decir, la frecuencia a partir de la cual el condensador empieza a atenuar la señal es la siguiente:

$$F_c = \frac{1}{2 * \pi * RC} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Siendo:

R: Valor de la resistencia en ohmios.

C: Valor del condensador en faradios.

$$F_c = \frac{1}{2 * \pi * 100 * 100 * 10^{-9}} = 15915,49 \text{ Hz} = 15,915\text{kHz} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

En la figura 3.7 se representa la respuesta en frecuencia del filtro:

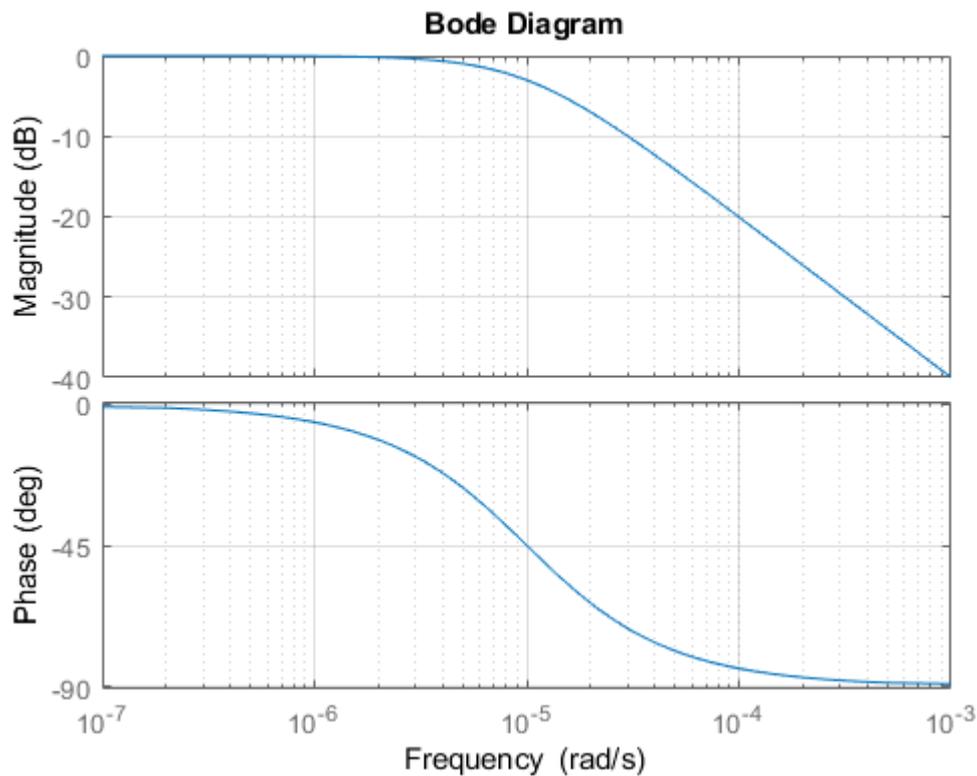


Figura 3.11. Diagrama de bode del filtro pasa bajos obtenido mediante Matlab.[10]

En este caso los leds a implementar en el circuito impreso no son leds rojos, azules y verdes como indica el fabricante, sino que se implementan Leds blancos de una temperatura de color de 5000 grados kelvin. Se implementa uno de dichos leds en cada una de las salidas del Chip (Out R, Out G y Out B), de esta manera, cada chip controla 3 LEDs o pixeles de la PCB. Estos habitualmente tienen un consumo de entre 2.4 y 3.3V, por lo que se añade una resistencia en línea en cada una de las salidas para hacer trabajar al led a ese voltaje con la corriente constante de 18,5mA que proporciona el chip.

Para determinar el valor de la resistencia se utiliza la ley de Ohm, la fórmula es la siguiente:

$$R = \frac{V_{Alim.} - V_{LED}}{I} \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Siendo:

R: Resistencia en Ohms.

V Alim.: Tensión de alimentación del sistema.

V LED: Caída de tensión del led.

I: Corriente admisible por el led.

A continuación, se calcula por un lado la resistencia necesaria en el caso de la caída mínima del led de 2.4V y por otro lado la resistencia necesaria para el caso de la caída máxima del led de 3.3V.

Para una caída del led de 2.4V:

$$R = \frac{5 - 2,4}{18.5 * 10^{-3}} = 140,54\Omega \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Para una caída del led de 3.3V:

$$R = \frac{5 - 3,3}{18.5 * 10^{-3}} = 91,891\Omega \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Por tanto, las resistencias a utilizar deben estar entre 91,891 y 140,54 Ω .

Para este diseño, se ha decidido usar un led Nichia NFSW757GT de 5000 grados kelvin de temperatura de color. Según indica el datasheet, a la corriente constante de 18,5mA el led trabaja a un voltaje aproximado de 2,8V, por lo que la resistencia complementaria debe ser la siguiente:

$$R = \frac{5 - 2.8}{18.5 * 10^{-3}} = 118,918\Omega \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Normalizando el valor de la resistencia con la serie E96, se ha escogido la de 115 Ω .

Por lo tanto, la lista de material por módulo, es la siguiente:

Tabla III. Listado de componentes por módulo.

Componente	Unidades
Chip WS2811	1
Resistencia 115 Ω	3

Resistencia 33Ω	2
Resistencia 100Ω	1
Condensador 100nF	1
Led NFSW757GT	3

Después de realizar varias pruebas, se decide que el diseño completo lo componen 27 módulos, formando una matriz de 3 columnas y 7 filas. Por lo que el listado de material por panel es el siguiente:

Tabla IV. Listado de componentes por panel.

Componente	Unidades
Chip WS2811	27
Resistencia 115Ω	81
Resistencia 33Ω	54
Resistencia 100Ω	27
Condensador 100nF	27
Led NFSW757GT	81

Todos los elementos se montan en el circuito en formato SMD (tecnología de montaje superficial).

Por último, se añade un conector de la marca Amphenol de 16 pines con referencia T821M116A1S100CEU-B. [16] Se ha escogido este conector porque dispone de dos líneas de 8 pines cada una, una de ellas se utiliza para la entrada de alimentación y dato del sistema y la otra para la salida. Los 8 pines se dividen de la siguiente manera:

- 3 pines para el polo positivo de la alimentación (VCC)
- 3 pines para el polo negativo de la alimentación (GND)
- 2 pines (centrales) para la señal de dato (VIN/VOUT)



Figura 3.12. Conector Amphenol T821M116A1S100CEU-B (Fuente: TME Electronic Components [16]).

3.5 Diseño del circuito impreso

En el siguiente apartado se habla del software utilizado para el diseño de la PCB, así como los pasos a seguir para el diseño de esta. Los pasos básicos que engloba el diseño de una PCB son los siguientes:

- Estudio de los símbolos necesarios
- Diseño del esquemático
- Creación de la placa
- Colocación de componentes y uniones mediante pistas
- Comprobaciones básicas
- Extracción de la documentación necesaria

3.5.1 Altium Designer

Para llevar a cabo el diseño del circuito impreso se ha utilizado el software Altium Designer. Este es uno de los softwares de diseño de PCB más utilizados en todo el mundo gracias a la gran cantidad de funcionalidades que posee. Principalmente es de uso profesional ya que su licencia tiene un coste elevado. Altium Designer engloba todas las etapas del diseño electrónico desde la creación del esquemático, diseño de la placa y disposición de componentes hasta la exportación de todos los archivos necesarios para el montaje y la fabricación. Sus funcionalidades permiten realizar complejos circuitos de forma rápida y efectiva, minimizando errores. Una de las funcionalidades más populares es el DRC (Design Rule Checker), esta permite configurar previamente al diseño restricciones como pueden ser, entre otras, el ancho mínimo y máximo de pistas o la distancia mínima entre componentes. Una vez definidas las restricciones, el DRC indica la existencia de un incumplimiento o error en tiempo real permitiendo corregir cualquier error al

momento, suponiendo un gran ahorro de tiempo para el diseñador y una disminución del tanto por ciento de errores.

Otra de las funcionalidades de las que dispone Altium es la posibilidad de crear en paralelo al esquemático y a la PCB, un modelo 3D del elemento a diseñar. En este proyecto no se hace uso de dicha funcionalidad por lo que no se detalla el proceso a seguir durante el desarrollo de esta.

El primer paso al realizar un diseño en Altium Designer es crear un proyecto (archivo **.PrjDoc*), este contiene todos los archivos referentes al diseño global del sistema. Los archivos básicos son los siguientes:

Librerías de componentes:

- Archivos **.IntLib* que son los que contienen los símbolos y modelos de los componentes a utilizar posteriormente tanto en el esquemático como en la PCB. Este tipo de archivos a diferencia del resto están integrados en el sistema.
- Archivos **.SchLib* que son los que contienen los símbolos de los componentes a utilizar posteriormente en el esquemático.
- Archivos **.PcbLib* que son los que contienen el modelo de los componentes a utilizar posteriormente en el diseño de la PCB. Estos archivos son algo más completos que los anteriores ya que contienen el *pad* (para todas las capas necesarias) y la serigrafía.
- Archivos **.LibPkg*, estos contienen de forma integrada el símbolo del componente utilizado en el esquemático, el modelo utilizado en la PCB y pueden contener además, el modelo de simulación y el modelo 3D del componente.

Esquemático:

- Archivo **.SchDoc* que contiene el esquemático completo del proyecto.

PCB:

- Archivo **.PcbDoc* que contiene la PCB en su totalidad. (Medidas, posicionamiento de componentes, pistas, vías, planos...)

Documentación:

- Archivos **.OutJob* que permiten generar un gran número de archivos de diseño. Entre estos se encuentran los archivos de fabricación o Gerbers, los archivos de P&P utilizados en el montaje del panel, el listado de componentes que forman la placa...

El fichero general creado para este proyecto es el siguiente:

- PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0.PrjPcb

A la hora de generar proyectos de diseño de circuitos impresos se debe utilizar una correcta nomenclatura. Para un diseñador de PCBs es habitual disponer de gran cantidad de diseños y varias versiones de cada uno de ellos. A medida que evoluciona en el diseño de un circuito es habitual ir realizando mejoras y pequeñas modificaciones de este incluso después de disponer de este físicamente. Ya sea para mejorar su funcionalidad inicial o para añadir las protecciones pertinentes.

En caso de que el circuito este pensado para que un determinado público lo manipule se deben añadir ciertas protecciones, por ejemplo, diodos en inversa entre el polo positivo (VCC) y el polo negativo (GND) de la alimentación para proteger el circuito contra inversiones de polaridad, y de esta manera, si el circuito se conecta correctamente el diodo no conduce y en cambio, si se invierte la polaridad, toda la corriente pasa por el diodo evitando así que se queme el circuito. Habitualmente estas protecciones se añaden posteriormente al diseño de un prototipo inicial en el que se evalúa el funcionamiento del sistema.

Esto son algunos de los motivos por los que es necesario mantener un orden a la hora de diseñar circuitos, en este caso la nomenclatura utilizada es la siguiente:

- PX – Pertenece a la gama píxel
- M – Módulo
- N – Marca del LED (en este caso Nichia)
- 30 – Formato de LED SMD (3030)
- 81 – Cantidad de LEDs por panel
- BX – Color del LED (La X marca la temperatura de color, si no se especifica implica que se puede montar en más de una temperatura)
- YY – Voltaje (No definido)
- WW – Limitación de corriente (No definido)
- ZZ – Consumo (No definido)
- REV0.0 – Versión de la PCB

3.5.2 Librerías

Para este diseño se utilizan varias librerías. Por una parte, las librerías proporcionadas por Altium conocidas como librerías integradas, es decir ficheros *.IntLib. Estos ficheros pertenecen a librerías internas del sistema. Las utilizadas en este proyecto son las siguientes:

- Miscellaneous Devices.IntLib

Esta librería proporciona una gran cantidad de símbolos y *pads* de diversos componentes, esto resulta muy útil al realizar cualquier diseño ya que evita el hecho de tener que crear personalmente cada uno de los componentes del sistema, reduciendo el tiempo a la hora de diseñar una PCB y permitiendo usar este tiempo en el posterior montaje de la placa.

Entre otros, la librería dispone de gran variedad de resistencias, condensadores, diodos, transistores, relés, motores, varistores...

- Miscellaneous Connectors.IntLib

Esta librería dispone de una gran cantidad de símbolos y *pads* de los conectores más comunes del mercado.

Dispone de conectores tipo BNC, Coaxiales, Edge, Headers, Jack, SMB...

Por otro lado, en este proyecto se utilizan varias librerías externas desarrolladas por la empresa. Estas son una recopilación de diferentes símbolos y *pads* que se han ido creando en función de las diferentes necesidades que han ido surgiendo diseño a diseño.

Las librerías adicionales de formato *.SchLib son las siguientes:

- 191030SchActiLib.SchLib
- 191017SchActiLib.SchLib

Las librerías adicionales de formato *.PcbLib son las siguientes:

- 191118PcbActiLibPG.PcbLib

191030PcbActiLib.PcbLib

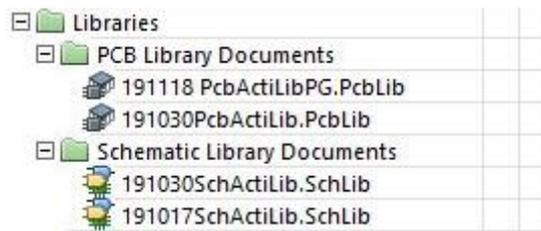


Figura 3.13. Librerías del proyecto.

Disponer de buena base de librerías, ya sean externas o internas, permite realizar los diseños de la manera más rápida y eficiente. El hecho de utilizar estos ficheros permite implementar un componente sin la necesidad de volver a diseñarlo en cada uno de los diseños que lo precisen, esto no sólo ahorra muchísimo tiempo, sino que minimiza errores. Por una parte, permite dedicarle más tiempo al primer diseño para asegurarse de que la huella del componente coincide con los *pads* creados y, por tanto, evitar errores en futuros diseños. Por otra parte, reduce considerablemente el tiempo de diseño del circuito impreso, permitiendo dedicar más tiempo a partes más complejas como la disposición de componentes o las pistas de unión entre estos.

Para añadir una librería ya existente al proyecto, es necesario abrir de forma independiente todas las librerías a implementar y arrastrarlas al proyecto (fichero *.PrjPcb), de esta manera quedan todas insertadas en el proyecto y listas para ser utilizadas.

3.5.3 Esquemático

El primer paso a la hora de generar el esquemático es crear el fichero correspondiente, en este caso se ha utilizado el mismo nombre que el de proyecto global.

El primer paso a seguir en cuanto a diseño es escoger el formato de la hoja en la que se va a dibujar el esquema. Altium por defecto genera una hoja en formato DIN A4, aunque ofrece una gran variedad de formatos estándar (A4, A3, A2, A1, A, B, Letter...). En este caso, al ser un montaje extenso se ha utilizado una hoja en DIN A2 (420x594mm). Durante el diseño del esquema se puede modificar el formato de hoja en función del tamaño del esquema a realizar.

A continuación, es necesario rellenar el cajetín del esquema, donde se indican los siguientes ítems:

- Tipo de documento
- Fecha de realización
- Formato de la hoja
- Empresa
- Nombre del proyecto

- Nombre del documento

Doc Type	Company
Schematic	ACTILUM RGB SL
Date	Project
15/04/2021	PX MN30-81 BX-YYWW-ZZ REV0.0
Sheet	Document
A2	PX MN30-81 BX-YYWW-ZZ REV0.0.SchDoc

Figura 3.14. Membrete o cajetín del esquemático.

El primer punto a seguir para realizar el esquema electrónico es extraer de las librerías los símbolos que corresponden a cada uno de los componentes a implementar. Para esto hay que seleccionar 'Place Part', esto abre una ventana en la que por un lado se debe seleccionar la librería de la que tomar el componente y por otro escoger el adecuado.

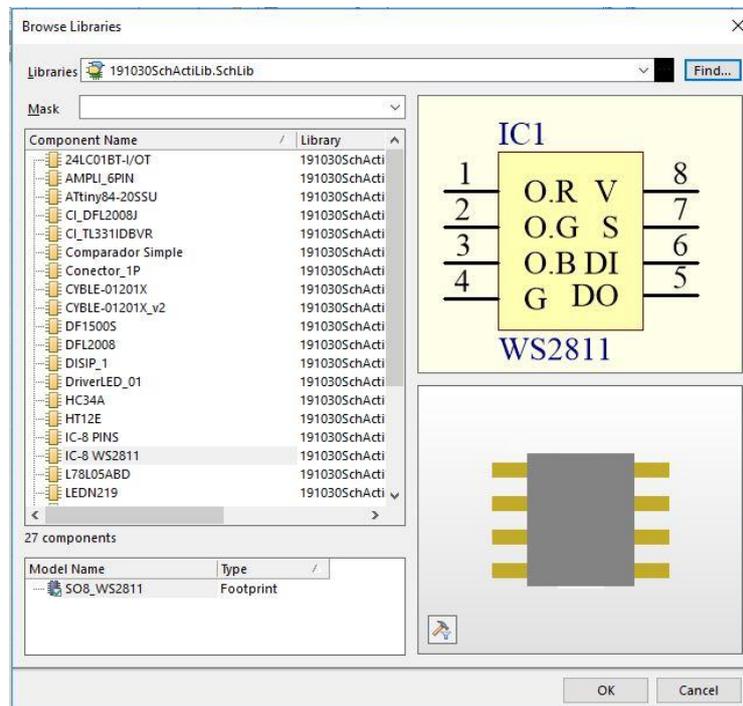


Figura 3.15. Librería de símbolos.

Los símbolos correspondientes a los componentes que forman este proyecto son los siguientes:

Diodo LED

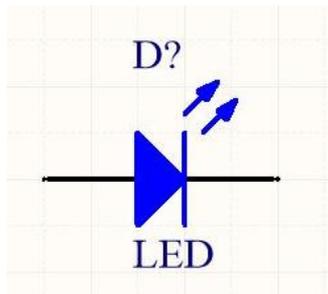


Figura 3.16. Símbolo eléctrico diodo.

Resistencia

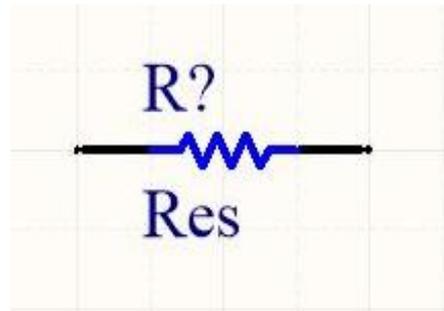


Figura 3.17. Símbolo eléctrico resistencia.

Condensador

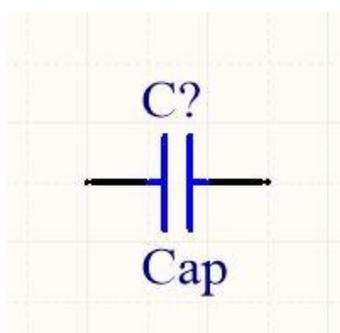


Figura 3.18. Símbolo eléctrico Condensador.

Chip WS2811

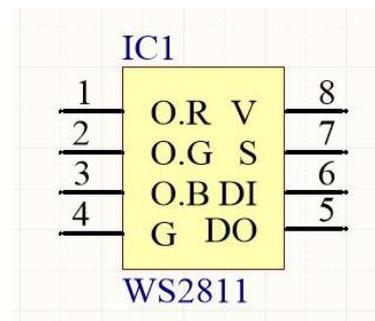


Figura 3.19. Símbolo eléctrico WS2811.

El esquemático va a ser la base del proyecto ya que contiene toda la información necesaria para realizar tanto el diseño de la PCB como la documentación pertinente para la fabricación y montaje de esta. Por esta razón, una vez localizados los símbolos de todos los elementos necesarios, y antes de realizar el esquemático, se deben configurar los parámetros de los componentes.

Dichos parámetros son los siguientes:

- Características del componente
- Huella o 'footprint'

Durante el proceso de dibujo del esquemático se va a utilizar el mismo tipo de componente repetidas veces por lo que lo habitual es configurar correctamente el primero y trabajar con copias de este. En dichas copias únicamente varía el '*Designator*', que es un identificador que numera los componentes en función de su referencia. Esto permite generar posteriormente de forma automática el listado de los componentes que componen el sistema, en caso de no realizar este paso dicha documentación estará incompleta o errónea y habrá que modificar y editar las propiedades de los componentes uno a uno.

The image shows a 'Properties' dialog box for a resistor component. The fields are as follows:

- Designator:** RL1
- Comment:** RES_1150hms_1206
- Description:** Resistencia 1150hm / 0,25W / 1206 / 1%
- Unique Id:** HPBLUXYI
- Type:** Standard

Additional controls include checkboxes for 'Visible' and 'Locked', a 'Reset' button, and navigation arrows (left, right, first, last).

Figura 3.20. Ventana de propiedades de una resistencia de 1150hms.

Haciendo doble clic en el símbolo del componente se abre la ventana de propiedades (figura 3.20). Inicialmente aparece el identificador del componente, este permite crear una numeración dentro del esquemático para diferenciar componentes. A continuación, se encuentran el comentario y la descripción, aquí se especifican las características básicas del componente, como se puede observar en la figura 3.20 (que pertenece a la ventana de propiedades de la resistencia RL1) en el comentario aparece el valor de la resistencia y el formato, mientras que en la descripción se especifican las características principales como la potencia máxima admisible, la tolerancia, el formato y el valor.

El siguiente paso es escoger la huella o *'footprint'* del componente. Se deben determinar correctamente las huellas de cada componente ya que posteriormente se exportará este esquemático a formato de diseño y si esta no está correctamente seleccionada, el *pad* que aparece en la placa no va a coincidir con el *pad* real del componente. Dentro de la ventana principal de propiedades de componentes se encuentra el apartado *'Models'* donde aparecen los modelos del componente, tanto el símbolo como la huella. Desde aquí se puede acceder a las librerías y seleccionar la huella correspondiente.

Una vez definidas las características de los componentes y sus modelos para el diseño se puede proceder a realizar el esquema.

El diseño está formado por 27 módulos que completos forman una matriz de 3x9, que en lo que a LEDs se refiere (teniendo en cuenta que cada módulo son 3 leds) la matriz es de 9x9.

El primer paso a seguir es crear uno de los módulos, es decir, el circuito que proponía el fabricante del chip WS2811 junto a los elementos adicionales comentados anteriormente como las resistencias de la línea de LEDs. Para esto, se disponen en la hoja todos los elementos que componen un módulo. Al realizar un esquema electrónico se deben situar de la manera más ordenada e intuitiva los componentes. El esquema es la base del proyecto, por tanto, tiene que ser interpretable por cualquiera, por ello es determinante indicar la correcta situación de los

componentes, las entradas y salidas de alimentación y dato, etcétera. Una vez están todos los elementos sobre la hoja, se sitúan correctamente y se unen mediante las pistas necesarias.

El esquema del módulo es el siguiente:

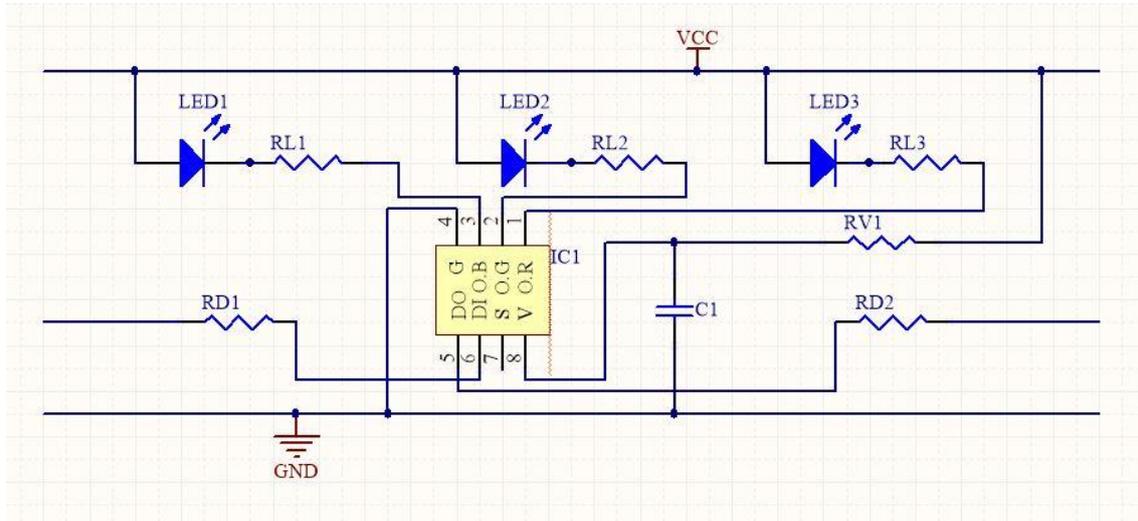


Figura 3.21. Esquemático de un módulo individual.

Como se puede observar en la figura 3.21 se ha intentado organizar de la manera más intuitiva posible. Para empezar, se observa una línea completa de alimentación en este caso el polo positivo (VCC) en la parte superior, y de la misma manera una línea con el polo negativo de alimentación (GND) en la parte inferior. En el centro se encuentra el chip WS2811 y a partir de este todo el conexionado pertinente. La línea de dato de entrada se sitúa en la parte izquierda hasta llegar al chip, mientras que el dato de salida sale del mismo y se desplaza hasta la parte derecha del esquema, facilitando la posterior unión entre módulos.

Una vez organizados los componentes, realizado el esquema y verificada la correcta disposición de estos se deben generar los identificadores de cada uno de ellos, es decir, organizar estos de forma numérica para poder identificarlos y diferenciarlos unos de otros. En este caso cada uno tiene un identificador principal en función del tipo del componente que es y su función dentro del circuito. Aparte del identificador principal, disponen de uno alfanumérico que lo identifica en función del tipo de componente y la situación en el circuito. Los identificadores alfanuméricos utilizados en este circuito son los siguientes:

- LEDX – Diodos LED.
- RLX – Resistencias situadas entre el LED y la entrada del chip.
- RDX – Resistencias de entrada y salida de dato.
- RVX – Resistencia de alimentación.

- ICX – Circuito integrado.
- CX – Condensadores.

Siendo X el número de componente en función de la situación. Se han numerado de izquierda a derecha y de arriba abajo.

Una vez finalizado uno de los módulos se puede generar el sistema completo. Como se ha comentado anteriormente estos módulos se comunican entre ellos en serie, por lo que la señal de dato de salida del primero enlaza con la señal de dato de entrada del segundo y así sucesivamente. Por lo tanto, el sistema consiste en enlazar 27 módulos completos uno tras otro. A la hora de realizar las conexiones entre componentes y módulos se deben realizar correctamente o de lo contrario a la hora de exportar esta información al archivo de diseño en este no aparecerá dicha conexión, pudiendo llegar a generar errores de diseño.

Al tratarse de 27 módulos no es óptimo en cuanto espacio dibujarlos todos seguidos en el esquemático, por eso se realizan diferentes filas y se unen entre ellas para formar el sistema completo. Para hacerlo de la manera más ordenada posible se divide esta línea en 9 filas de 3 módulos cada una. Para seguir el orden, es necesario unir el último módulo de cada línea con el primero de la siguiente. Una de las formas de realizar estas uniones es mediante caminos o pistas igual que se hacen las uniones de componentes, esto dejaría el esquemático repleto de líneas que lo cruzarían de derecha a izquierda. Para evitar esto, una de las soluciones es generar puertos de unión. Estos puertos son etiquetas que quedan vinculadas en función del identificador, todas las que contengan el mismo quedarán conectadas entre sí.

En la figura 3.22 y 3.23 se observa la conexión entre la primera y la segunda fila. En este caso los puertos VCC y GND se encargan de unir las líneas de alimentación, mientras que el puerto DOUT1 une la señal de dato de salida de la primera fila con la entrada de dato de la siguiente.

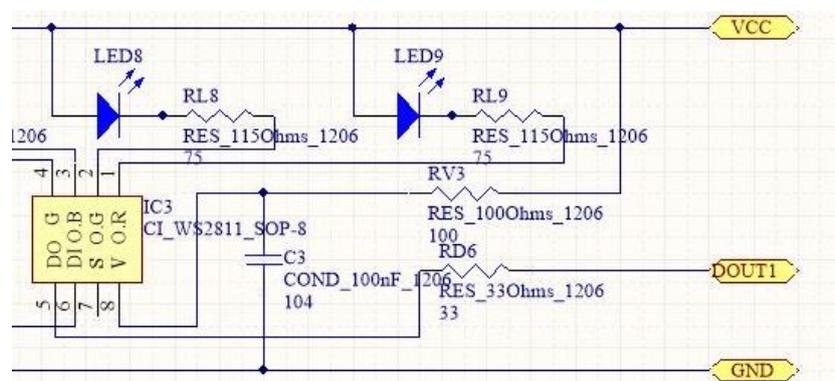


Figura 3.22. Puertos de salida de la fila 1 del esquema.

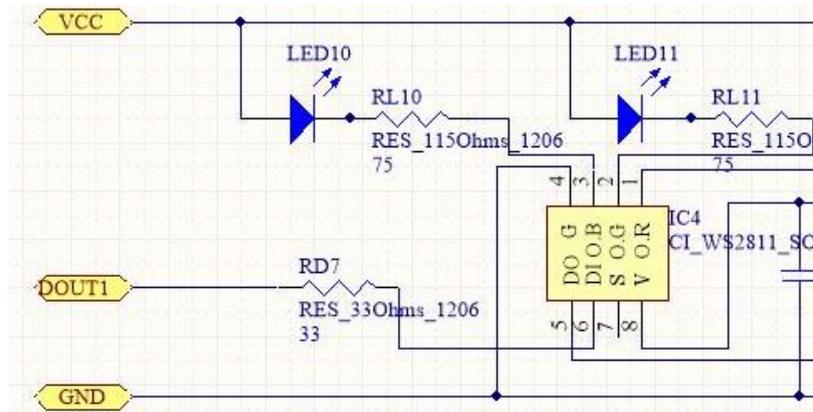


Figura 3.23. Puertos de entrada de la fila 2 del esquema.

Este sistema se usa para unir el resto de filas.

Al realizar copias de un módulo para generar la matriz los componentes no se identifican automáticamente, sino que el elemento aparece con el identificador principal, pero sin numerar, en su lugar aparece un símbolo de interrogación como se puede observar en la figura 3.24. Por lo que una de las formas de crear los identificadores es hacerlo componente a componente. En este tipo de esquemas este proceso es lento a causa del gran número de componentes, además, puede provocar que se cometan errores y que por tanto no se identifiquen de la manera correcta.

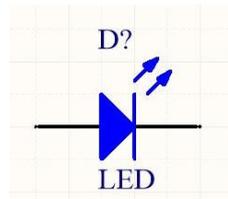


Figura 3.24. Diodo sin enumerar en el esquema.

Para los casos en los que hay un número de componentes muy elevado, Altium dispone de una herramienta llamada 'Annotate Schematics' que permite generar la numeración de componentes de forma automática, ahorrando así tiempo y previniendo errores. Esta herramienta asegura que los identificadores sean únicos y estén ordenados en función de su posición. Se puede acceder haciendo clic en 'Tools' >> 'Annotate Schematics' dentro del menú principal. Al abrir esta ventana se identifican dos regiones principales:

- Configuración de anotación esquemática
- Lista de cambios propuestos

El apartado de configuración se permite configurar el esquema de anotación y el alcance del mismo. En este se debe seleccionar el método requerido para crear los identificadores, ofreciendo una visión gráfica de cómo se realizará la identificación de componentes. Se puede escoger entre los siguientes métodos de identificación:

- De abajo a arriba y de izquierda a derecha
- De arriba a abajo y de izquierda a derecha
- De izquierda a derecha y de arriba a abajo
- De izquierda a derecha y de abajo a arriba

También permite escoger entre dos procesos de identificación del componente.

- Utilizando como referencia la situación de su identificador.
- Utilizando como referencia el centro del símbolo del componente.

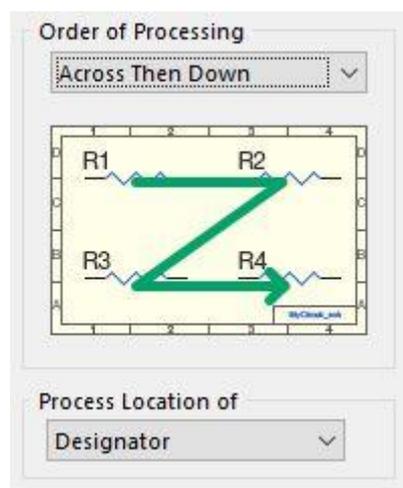


Figura 3.25. Ventana de orden de identificación de componentes.

El apartado de lista de cambios propuestos aparece una lista con todos los identificadores que contiene la hoja seleccionada para la identificación. Para cada componente proporciona el identificador actual y ofrece una propuesta.

La herramienta permite previsualizar los cambios para verificar que todo sea correcto. Esta añadirá automáticamente identificador a los componentes que no dispongan del mismo, por este motivo todos deben estar sin numerar, únicamente deben disponer del identificador principal y el interrogante, como se ha observado en la figura 3.20. En el caso de que haya elementos ya nombrados, el botón 'Reset All' permite eliminar el identificador numérico de todos los elementos de la hoja para realizar una identificación completa y sin errores. Por último, y sólo después de verificar que todos los cambios propuestos y las modificaciones son correctas, la herramienta permite aceptar los cambios y los implementa en la hoja seleccionada.

Esta herramienta identifica los componentes en función de su ubicación, por lo que deben estar perfectamente alineados antes de realizar esta función, de lo contrario no se nombrarán en el orden correcto.

Una vez unidos los 27 módulos, ya se puede proceder a añadir el conector. Para ello, se añaden dos bloques, uno a la entrada y otro a la salida compuestos por 3 *pads* cada uno (figura 3.26 y 3.27).

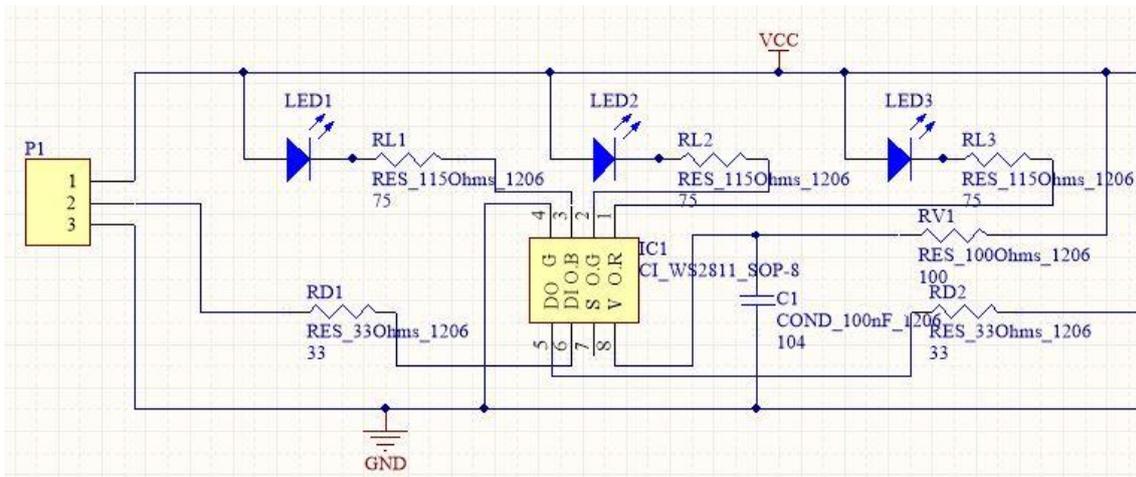


Figura 3.26. Pines de entrada al sistema.

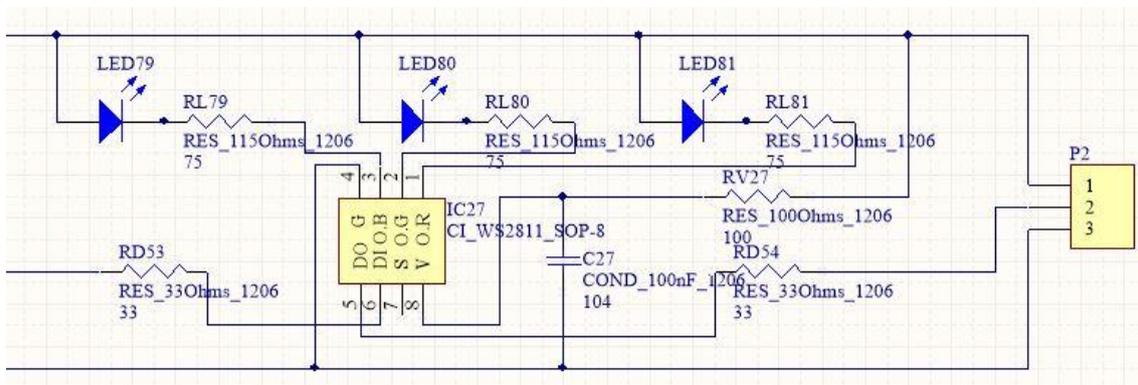


Figura 3.27. Pines de salida del sistema.

Una vez realizado esto se da por finalizado el diseño del esquema electrónico.

3.5.4 PCB

Antiguamente, la fabricación de circuitos consistía en un núcleo aislante revestido con una fina capa de cobre en uno o ambos lados, los caminos conductores se formaban al grabar sobre el cobre eliminando el no deseado. A día de hoy la mayor parte de los diseños están formados por múltiples capas de cobre, lo habitual es entre dos y diez capas, aunque actualmente es posible crear placas de más de treinta capas. Estas están separadas mediante capas de material aislante.

Es posible comunicar diversas capas entre sí dentro de una PCB, para ello es necesario colocar vías. Una vía es un agujero, habitualmente de tamaño reducido, que dispone de cobre en su interior permitiendo comunicar dos o más capas. Estas vías son útiles por diversos motivos, como trasladar planos de masa o potencia e incluso evitar cruces. Hay situaciones, en las que en una PCB con una densidad muy grande de componentes o de pistas, es muy difícil no cruzar dos de

ellas, en estas situaciones (siempre y cuando la PCB sea de dos capas o más) es posible situar una vía y pasar esa pista por otra capa. En el caso de que la PCB sea de una única capa, este salto de pista se suele realizar colocando una resistencia de puente, que no es más que una resistencia de valor 0 Ohms, por lo que permite transmitir la señal evitando el cruce de pistas.

Existen los siguientes tipos de vías:

- Through o vía agujero es una vía que atraviesa todo el circuito de la capa superior a la inferior. Esta puede utilizarse para unir cualquier capa de la PCB.
- Blind o vía ciega es una vía que permite conectar una de las capas exteriores con una de las interiores.
- Buried o vía enterrada es una vía que se encarga de unir dos capas internas.

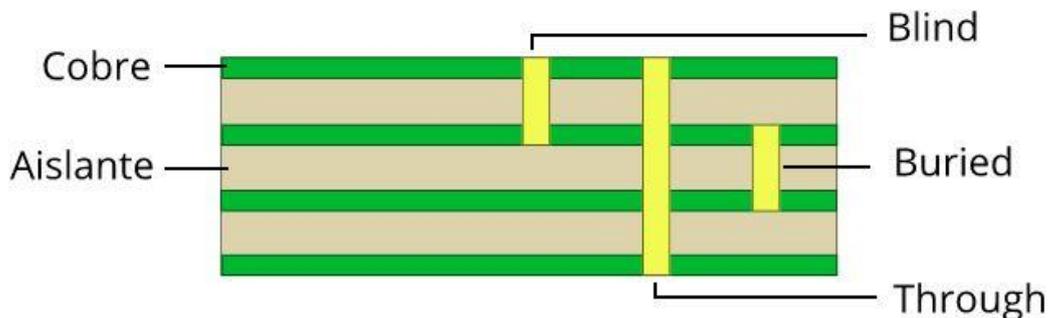


Figura 3.28. Distribución de capas y tipos de vías en una PCB.

La placa que se va a diseñar en este caso es de dos capas. Se consideran dos capas puesto que hay dos finos paneles de cobre separados por un aislante, pero en cuanto a diseño cada una de estas capas llevan consigo otras pequeñas capas. Las capas a tener en cuenta para el diseño a realizar son las siguientes:

- Top layer – Capa superior
- Top Overlay – Serigrafía de la capa superior
- Top Solder – Máscara de soldadura de la capa superior
- Top Paste – Máscara de pasta de la capa superior
- Bottom Layer – Capa Inferior
- Bottom Overlay – Serigrafía de la capa inferior

- Bottom Paste – Máscara de pasta de la capa inferior
- Bottom Solder– Máscara de soldadura de la capa inferior
- Mechanical 1 – Capa de corte

Top/Bottom Layer son las capas superior e inferior de cobre. En estas se definen los caminos de unión entre componentes y los planos de distribución de potencia y masa.

Top/Bottom Overlay son las capas en las que se indica la serigrafía de la capa superior e inferior de la PCB. Habitualmente incluye texto adicional, ilustraciones, identificadores de componentes, etcétera.

Top/Bottom Solder son las capas encargadas de definir los puntos de aplicación de soldadura al circuito. Estas se encargan de proteger las zonas de cobre en las que no se quiere aplicar soldadura evitando cortocircuitos y protegiendo de la corrosión.

Mechanical 1 es la capa de corte. Delimita los puntos por los que el fabricante tiene que realizar los cortes y los taladros de la PCB.

A continuación, se van a definir una serie de parámetros o recomendaciones a tener en cuenta a la hora de generar el Layout o recorrido de pistas de una PCB.

- Se debe trabajar en las unidades correctas, Altium por defecto utiliza el mil (milésima parte de una pulgada) y en este caso se va a trabajar en milímetros. Para pasar de una a otra se puede acceder haciendo clic en 'View' >> 'Toggle Units' o pulsando la tecla Q.
- Definir el grid a emplear en la disposición de los componentes y el trazado de pistas. El grid es el tamaño de la cuadrícula por la que se va a diseñar. En este caso se va a trabajar con un grid de 0.1mm.
- En caso de ser necesario se ha de definir previamente al diseño el tamaño de la placa, es decir, el área máxima. En este caso es un cuadrado de 250 x 250mm.
- Definir el ancho de pista máximo y mínimo del sistema. Este va en función de la corriente máxima que circula sobre la pista. Para PCBs de 35micras de cobre los tamaños habituales son los siguientes:

Tabla V. Anchos de pista recomendados en función de la corriente a transportar.

Corriente máxima admisible	Ancho de pista recomendado
---------------------------------------	---------------------------------------

0.5A	0.2mm
2A	0.5mm
3A	1mm
4A	1,5mm
5A	2mm
10A	4mm

- Definir la separación mínima entre pistas. Está depende de la tensión o diferencia de potencial entre ellas. En este caso se trabaja con una tensión de alimentación de 5V se debe utilizar una distancia mínima de 0.254mm que es la que Altium trae por defecto.
- No es recomendable que el trazado de pistas genere ángulos rectos de 90º, para evitar esto se suele aplicar un chaflán.

El primer paso a la hora de empezar el diseño de la PCB es generar el fichero (*.PcbDoc), a este se le ha dado el nombre del proyecto general.

Para poder diseñar es necesario definir el eje de coordenadas. Para esto se debe hacer clic en 'Edit' >> 'Origin' >> 'Set' y seleccionar cualquier punto de la pantalla. Este punto pasa a ser el origen del eje de coordenadas del proyecto.

Una vez hecho esto, se definen los límites de la PCB. En este caso se trata de una placa cuadrada de 250x250mm. Para ello, es necesario situarse en la capa de corte (Mechanical 1) y definir la placa mediante líneas ('Place' >> 'Line'). Una vez dibujada una línea es posible modificar sus parámetros haciendo doble clic sobre ella misma. Esto abre un menú en el que se define el punto inicial y final mediante coordenadas, la anchura de esta, la capa a la que pertenece y si precisa algún tipo de conexión.

Después de generar el borde, toca definir la PCB. Para esto es necesario seleccionar las líneas creadas (que definen los extremos de la PCB) y hacer clic en 'Define' >> 'Board Shape' >> 'Define from selected objects', de esta manera el programa reconoce y asigna el área de diseño que conforma la PCB.

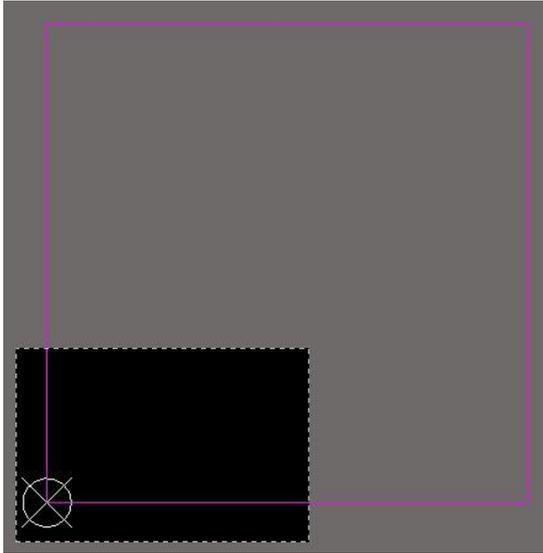


Figura 3.30. Espacio de diseño sin definir.

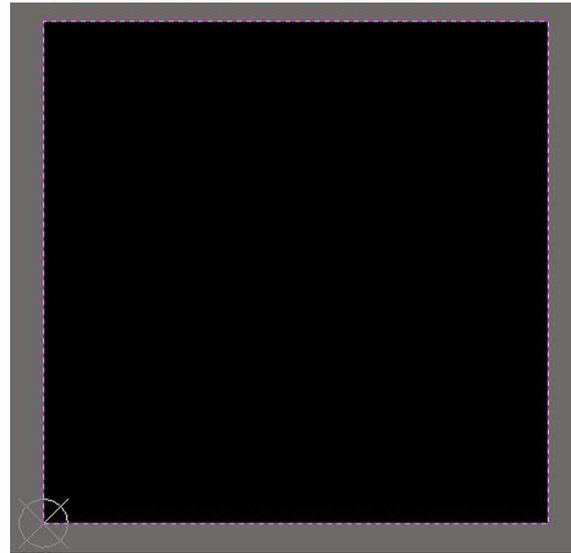


Figura 3.29. Espacio de diseño definido.

Previamente al inicio del diseño es necesario definir correctamente las reglas a seguir durante el mismo. Esto además de ahorrar tiempo, reduce posibles fallos. Se accede al editor de reglas y restricciones de PCB siguiendo la ruta 'Design' >> 'Rules'. Esta ventana permite definir un gran número de reglas y restricciones de todo el proceso de diseño, las principales son las siguientes:

- Anchura de pista (Mínima, máxima y preferible)
- Distancia mínima entre pistas
- Distancia mínima entre *pads* de soldadura
- Distancia mínima entre serigrafía y *pads* de soldadura

Como se ha comentado anteriormente, la anchura de las pistas va en función del amperaje que máximo, el incremento de temperatura y el grosor de la pista (onzas de cobre). La fórmula para el cálculo de dicho parámetro es la siguiente:

$$\text{Ancho} = \frac{\text{Área}}{L * 1,378} = \frac{I}{K1 * \Delta T^{K2}} * 0,0254 \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Siendo:

L: Grosor de la pista en onzas por pie cuadrado (1oz/ft² – 35micras, 2oz/ft² – 70micras)

I: Corriente a soportar por la pista en amperios

ΔT: Incremento de temperatura en °C

K1: Constante de valor 0,024 para pistas internas y 0,048 para externas

K2: Constante de valor 0,44

K3: Constante de valor 0,725

En este caso, por las pistas del circuito a diseñar no pasará más de 1 amperio. Las pistas por las que masa mayor corriente son las de alimentación, pero en este caso tanto el polo positivo como el negativo estarán embebidos en un plano, por lo que esto no será un problema. Pese a esto y al disponer de suficiente espacio en la placa se comprueba la anchura mínima que se necesitaría para soportar una corriente de 1 amperio, con un incremento de temperatura de 10°C y un grosor de 1 oz/ft².

$$Ancho = \frac{1}{\frac{0,048 * 10^{0,44}}{1 * 1,378} * 0,725} * 0,0254 = 0,3mm \quad (Eq. 3.8)$$

Con las especificaciones comentadas anteriormente se necesitaría una anchura de pista de 0,3mm. Teniendo en cuenta que se dispone de espacio suficiente en la placa, se va a definir en las reglas una anchura mínima de 0,6 que permite el paso de 1,65A que es una corriente más que suficiente para este sistema.

Por tanto, queda definida la anchura de pistas de la siguiente manera:

- Anchura mínima: 0,6mm
- Anchura de preferencia: 0,6mm
- Anchura máxima: 0,6mm

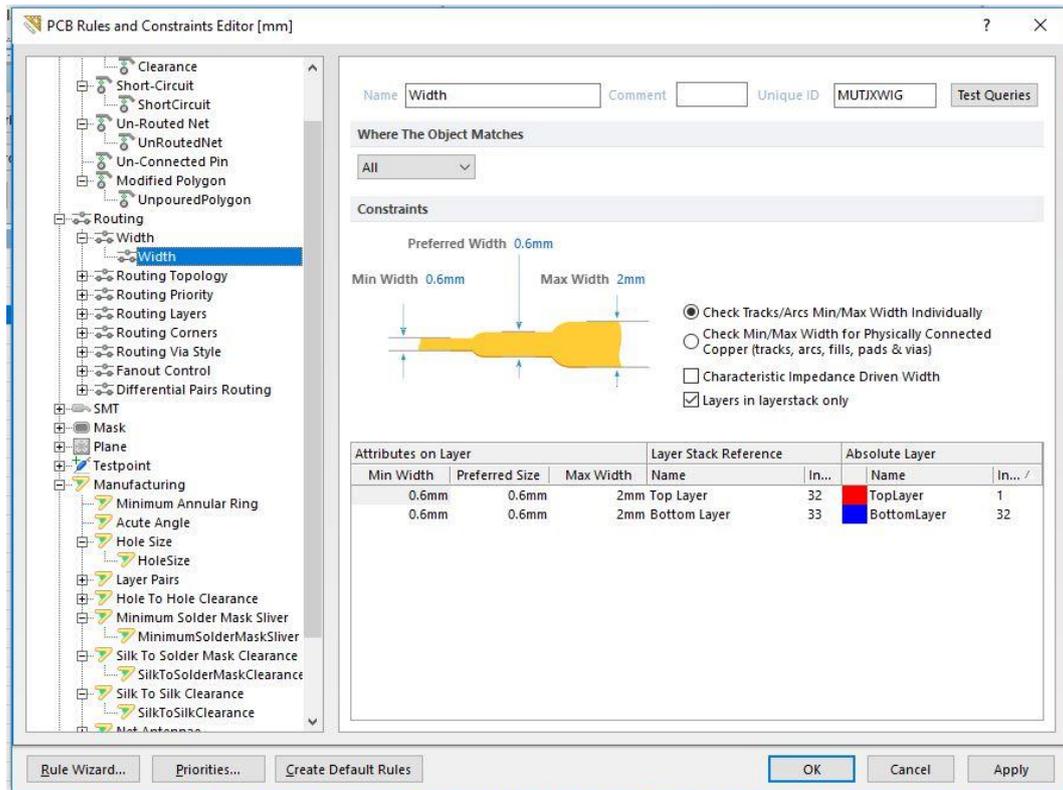


Figura 3.31. Ventana de edición de reglas de diseño.

Respecto a la distancia mínima entre pistas, aunque se ha comentado que sería suficiente con los 0,254mm que Altium proporciona por defecto, al disponer de espacio suficiente en la placa, se va a definir un espacio mínimo de seguridad de 0,4mm.

En cuanto a la distancia mínima entre *pads*, se respeta la proporcionada por defecto por Altium de 0,254mm.

Por último, la distancia mínima entre serigrafía y *pads* de soldadura se fija a 0,2mm.

Una vez definidas todas las reglas se puede proceder al diseño del circuito, el primer paso es insertar los componentes. Para esto se accede a 'Design' >> 'Import Changes From PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0.PrjPcb', aquí se abre una ventana donde se indican todos los cambios a realizar. Esta herramienta inserta en el diseño de la PCB toda la información que contiene el esquemático. Como se puede observar en la figura 3.32, el programa sitúa en uno de los laterales de la PCB definida todos los componentes con el *footprint* definidos previamente en el esquema.

Además de situar los componentes, Altium proporciona unas líneas que indican que conexiones debe haber en el sistema. Estas líneas no son reales, únicamente es un soporte que facilita la distribución de los componentes, la disposición de las pistas, etcétera.

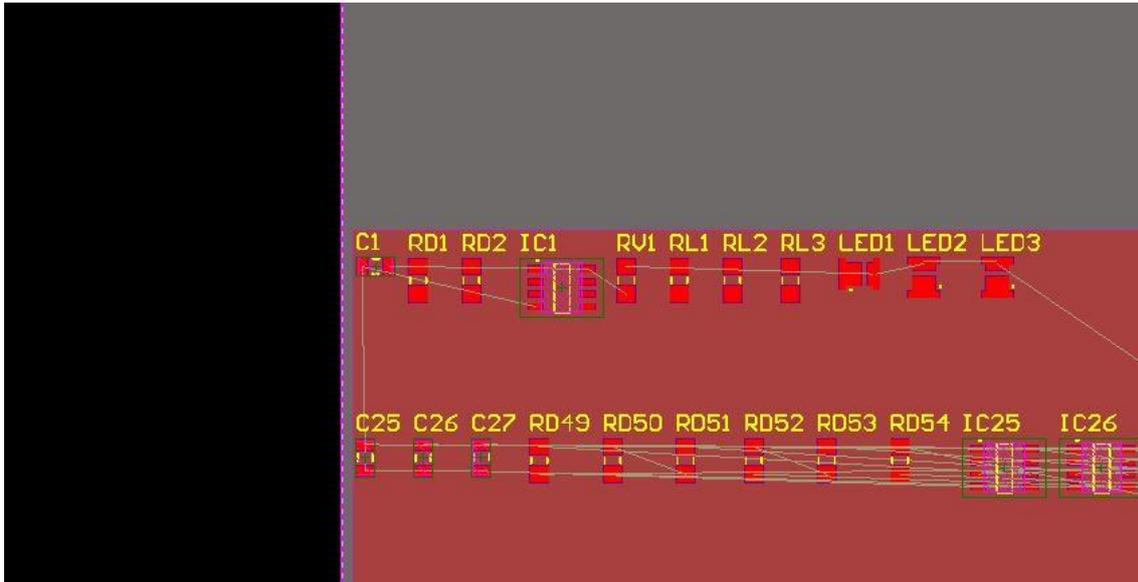


Figura 3.32. Disposición inicial de componentes.

En este punto se puede proceder al diseño de la PCB. Como en este caso se va a realizar un circuito formado por una matriz, el primer paso es definir el primer módulo de esta matriz.

Al tratarse de una matriz de LEDs, es decir, un elemento visual, se deben situar correctamente estos ya que son el componente más restrictivo. La matriz a montar, en cuanto a módulos es de 3x9 y en cuanto a LEDs es de 9x9 (teniendo en cuenta que cada módulo dispone de 3 LEDs).

Por lo tanto, puesto que la placa mide 250mm por lado, el pitch o distancia ente LED y LED es de 27.78mm. En los LEDs más próximos a los extremos de la placa, la distancia entre dicho extremo y el componente tiene que ser de la mitad del pitch, es decir, 13.89mm o de lo contrario habrá una fila de LEDs que quedará al borde de la placa, y es necesario que la estructura completa quede centrada.

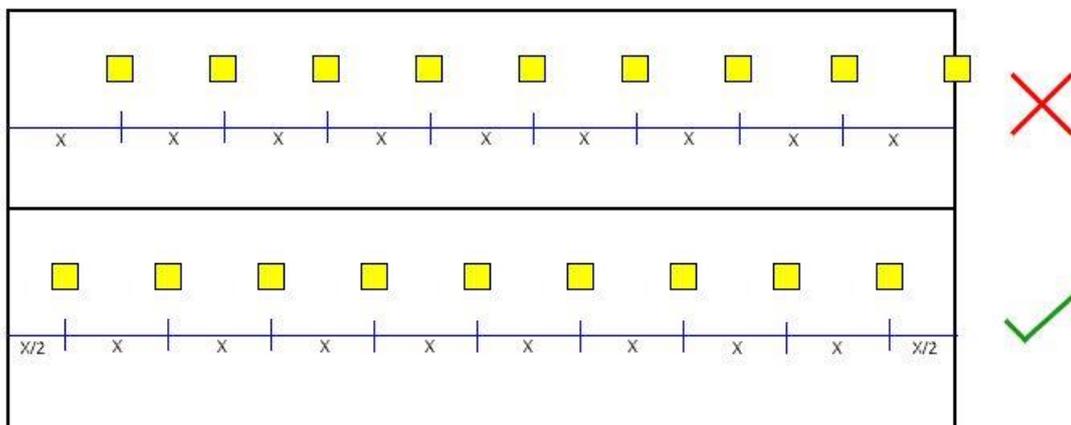


Figura 3.33. Concepto de situación de las filas de LED. En la parte superior el sistema descuadrado y en la parte inferior el sistema centrado.

Partiendo de esta información, se realiza el diseño del primer módulo. Como se acaba de comentar, el primer paso es situar los LEDs en las posiciones correctas. Una vez hecho esto se van a distribuir el resto de componentes, siempre haciéndolo de la manera más intuitiva y eficiente posible. Intentando, en la medida de lo posible, realizar pistas lo más cortas posibles entre componente y componente. Por otra parte, el condensador debe situarse próximo al chip para asegurar que realiza correctamente la acción de filtrado comentada en el apartado 4.4 estudio del circuito electrónico.

Para situar los componentes, además de desplazarlos manualmente con el ratón, se puede orientar mediante coordenadas haciendo doble clic sobre el componente. Esto permite distribuirlos de una manera ordenada y precisa.

Una vez situados los componentes se realizan las rutas de conexión utilizando la herramienta *'Interactively Route Connections'*. Esta herramienta permite realizar de forma fácil el conexionado eliminando de forma automática los ángulos rectos y sustituyéndolos por chaflanes. El ancho de estas pistas es el que se ha definido previamente en las reglas de diseño.

El resultado del primer módulo es el siguiente:

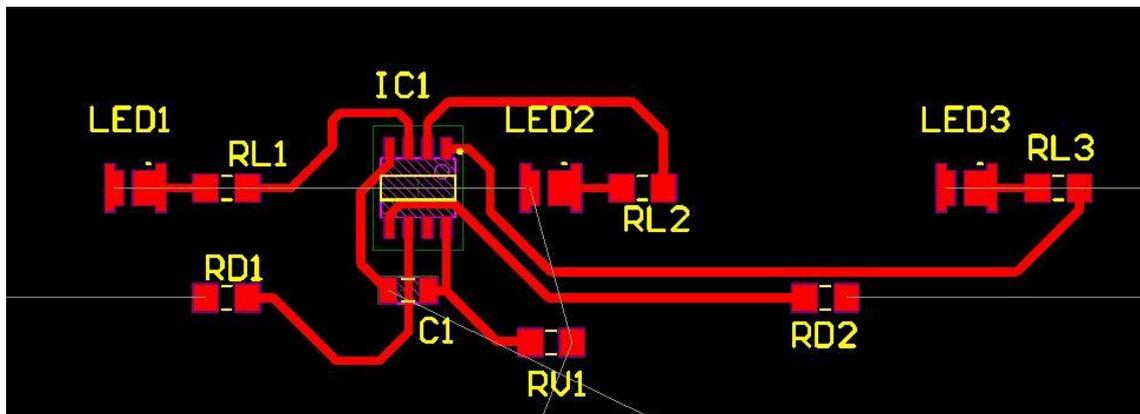


Figura 3.34. Distribución y unión de pistas de un módulo completo.

Como se puede observar en la figura 3.30, las rutas que hacen falta son las externas como alimentación positiva, negativa y datos de entrada y salida.

Ahora, en base a este, se diseña el resto de la placa. Existen dos métodos, el primero es distribuir el resto de módulos de igual manera que se ha hecho con el primero, situando los componentes uno por uno. Aunque existe un método más rápido para cuando hay que diseñar placas compuestas por una matriz de componentes.

El método consiste en situar de una vez todos los componentes con un archivo que contiene las coordenadas de cada uno de ellos. El primer punto es extraer el archivo de montaje de componentes *Pick & Place* (el proceso de extracción de dicho archivo se especifica más adelante en el apartado 3.5.5 Documentación y especificaciones. El archivo *Pick & Place* contiene las

lo que se conoce como una resistencia de puente, que no es más que una resistencia de 0 Ohms que permite transmitir la señal saltando una pista.

Por tanto, en este diseño se implementa la opción B. Esto implica que el dato irá de izquierda a derecha en las filas impares 1, 3, 5, 7 y 9, y de derecha a izquierda en las filas pares 2, 4, 6 y 8. En estas últimas, para adaptarse a este cambio, se sitúa la fila entera con una rotación de 180° respecto a las impares.

Una vez situados todos los componentes, se generan todas las conexiones de cada uno de los módulos igual que el primero visto anteriormente, dejando sin conectar los polos positivos y las entradas y salidas de dato.

En la figura 3.32 se observa la disposición de los módulos en la primera y la segunda fila:

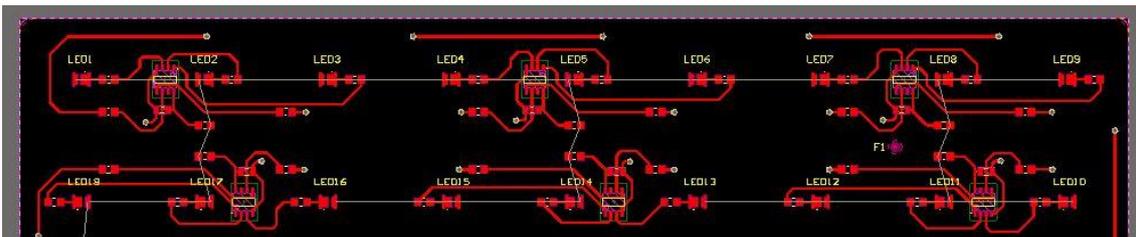


Figura 3.36. Distribución de módulos de la primera y segunda fila.

En cuanto a la alimentación del sistema, algo muy común en las PCBs de doble capa es situar los polos de alimentación embebidos en un plano de cada una de las capas. Habitualmente en la capa inferior o *bottom* se sitúa el plano de masa o GND mientras que en la capa superior o *top* se sitúa el polo positivo o VCC. De esta manera, al disponer de los componentes en la capa superior, el plano será embebe los *pads* de todos los componentes que necesiten conexión VCC. Por otra parte, todas las conexiones a GND se realizan mediante vías y una pequeña pista de unión entre esta y el componente. Estos son algunos de los beneficios de este tipo de montajes:

- Reducción de interferencias electromagnéticas
- Mejorar la producción
- Aumenta la disipación

Situar planos de alimentación es una manera de reducir las EMI (interferencias electromagnéticas) y los bucles de puesta a tierra que las provocan. El hecho de crear un bucle en una PCB puede generar problemas de interferencias puesto que dicho bucle puede comportarse como un inductor e inducir corrientes al bucle y, por tanto, al resto de componentes. Por lo que se deben evitar los bucles y siempre que sea posible generar diferentes rutas para las partes de alta frecuencia de conmutación del circuito y para dispositivos de baja frecuencia con voltajes de referencia analógicos o digitales.

Habitualmente, la producción de PCB se basa en un bloque de capas de cobre y un material aislante entre ellas. En las capas de cobre, las pistas se generan eliminando el cobre sobrante hasta formar las rutas necesarias, ya sea químicamente o mediante fresado. El hecho de generar grandes planos en toda la superficie de la PCB reduce considerablemente la cantidad de cobre a eliminar, haciendo así que el proceso sea más rápido y efectivo.

Los planos de alimentación funcionan a su vez como grandes *disipadores* distribuyendo el calor de manera uniforme por toda la PCB, por lo que es un tema a tener en cuenta si se prevé que el circuito pueda alcanzar altas temperaturas.

Para generar los planos es necesario situarse en la capa en la que se quiere crear el plano, en este caso *Top Layer* y *Bottom Layer*. Para acceder a la herramienta de generación de planos hacer clic en 'Place' >> 'Polygon Pour', se abre una ventana con dos pestañas. En la primera pestaña se puede configurar el modo de relleno del polígono entre los siguientes:

- Solid – Polígono o región totalmente sólida. En estos casos, en función de las rutas definidas previamente pueden formarse pequeñas islas de cobre, esta función permite definir a partir de qué medida se generan estas islas y a partir de cual se eliminan.
- Hatched – Polígono rayado creando una malla en la que se define el ancho de la pista para que sea más pequeño que el tamaño de la cuadrícula (de lo contrario se trataría de un sólido).
- None – Polígono hueco, sin ningún tipo de región o pista interna.

En la misma ventana se puede configurar el nombre del plano, la capa en la que está situado y la señal a la que tiene que ir conectado. En caso de que vaya conectado a una señal, permite configurar lo siguiente:

- Don't pour over same net objects – Genera el polígono en el espacio libre, sin conectar con ninguna pista ni componente.
- Pour over all same net objects – Genera el polígono en el espacio libre y también sobre cualquier objeto que pertenezca a la misma red (pistas, componentes, vías, polígonos)
- Pour over all same net polygons only – Genera el polígono en el espacio libre y únicamente sobre polígonos existentes que pertenezcan a la misma red.

La otra ventana permite generar el polígono mediante puntos, definiendo el número de puntos y las coordenadas de estos.

Es posible dentro de estos polígonos y grandes regiones crear cortes o agujeros para proteger una conexión, un *pad* o cualquier elemento del circuito. Para esto se debe generar un polígono de

corte accediendo a 'Place' >> 'Polygon Pour Cutout', dentro de esta herramienta las especificaciones son similares a las comentadas anteriormente, en la primera ventana se especifica la capa en la que se sitúa y en la siguiente ventana los puntos y coordenadas que forman el polígono de corte.

En el diseño actual los dos polígonos de alimentación generados tienen los siguientes puntos y coordenadas:

Tabla VI. Coordenadas de los polígonos de alimentación.

Índice	Coordenada en X en mm	Coordenada en Y en mm
0	0,3	0,3
1	0,3	249,7
2	249,7	249,7
3	249,7	0,3

Como se puede observar se le otorga un margen de seguridad de 0,3mm en cada extremo para poder evitar posibles cortocircuitos en caso de que la placa reciba un golpe en uno de los extremos o que dos placas se unan.

En cuanto al resto de opciones, se han definido las siguientes:

- Polígonos sólidos.
- Eliminar islas de menos de 1,613mm².
- Polígonos generados en el espacio libre y en cualquier objeto que pertenezca a la misma red.
- Polígono situado en la capa superior conectado a VCC.
- Polígono situado en la capa inferior conectado a GND.

Estos planos han de ser ordenarlos por prioridad. En caso de que dos planos se crucen en la misma superficie Altium evalúa en función de dicha prioridad y limita el plano de menor prioridad en función del de mayor. Para esto es necesario acceder a 'Tools' >> 'Polygon Pour' >> 'Polygon Manager'. Esta ventana muestra en la parte superior un pequeño resumen de los polígonos creados, la capa en la que se encuentran y la señal a la que están conectados. En la parte inferior están ordenados según su prioridad, aquí se puede modificar para situarla a gusto del diseñador en función de las necesidades de la PCB. Por último, esta ventana permite editar el modo de

conexión del plano con los componentes que conecten a la misma señal. Haciendo clic en la pestaña 'Create Polygon Connect Style Rule' se abre una ventana que permite configurar las siguientes conexiones:

- *Relief Connect* – Conexión mediante pistas, sin embeber el *pad*. En este caso se deben definir las siguientes especificaciones:
 - *Conductors* – Número de pistas para unir el *pad* con el plano, pueden ser 2 o 4.
 - *Conductor Width* – Anchura de las pistas.
 - *Angle* – Ángulo de las conexiones de cobre (45º o 90º)
 - *Air Gap Width* – Distancia entre el *pad* y el plano.
- *Direct Connect* – Conexión directa, el plano embebe totalmente el *pad* o elemento conectado a la misma señal que el plano.
- *No Connect* – No conectar a ningún elemento.

En cuanto al conector del circuito, que será el encargado de introducir la entrada y salida de alimentación y dato, tanto por estabilización de la placa como por generar las mínimas pistas y lo más cortas posibles, la idea es situarlo lo más centrado posible en la placa. En el eje de coordenadas X esto no es problema, el conector se sitúa a 125mm del origen. En el eje Y, al estar la PCB formada por 9 filas, es imposible situar el conector en el centro sin desplazar la fila número 5. Por lo que se ha decidido situarlo en el espacio superior, es decir el espacio entre la fila 4 y la 5. Finalmente se sitúa a 138,9mm del origen.

Su huella o *footprint* es el siguiente:

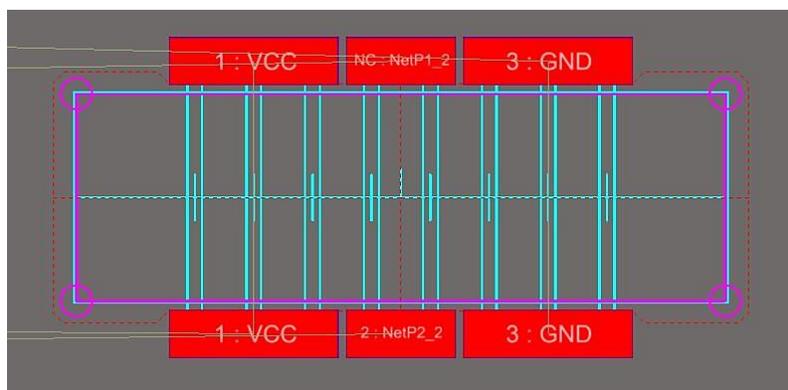


Figura 3.37. Footprint conector Amphenol T821M116A1S100CEU-B.

En la parte superior se sitúan los *pads* de entrada y en la parte inferior los de salida. De izquierda a derecha se sitúan en orden VCC, dato y GND. En la capa de corte (Mechanical 1) que en la figura 3.33 se puede observar de color rosa el espacio por el que se introducirá el conector, se han

añadido unos pequeños círculos en las esquinas para facilitar la introducción de este. En color azul celeste se dispone de una capa de soporte, que posteriormente no se extraerá para la fabricación de la PCB, en esta se han situado los pines del conector para evaluar las distancias y como serían las conexiones de estos a los *pads*. Por último, alrededor del conector se han situado polígonos de corte en la capa superior e interior por dar un margen de seguridad, igual que se ha hecho en los extremos de la PCB.

Situado el conector, se van a unir los *pads* de alimentación mediante polígonos. Al estar situados en la capa superior, los *pads* VCC quedan directamente embebidos y unidos gracias al polígono de alimentación de dicha capa. En cuanto a los *pads* GND, se forma un polígono que los une, este será el encargado de pasar dicha conexión al plano de la capa inferior.

Para crear una vía se debe hacer clic en 'Place' >> 'Via' para acceder a la siguiente ventana:



Figura 3.38. Ventana de especificaciones de una vía.

Las especificaciones a definir son:

- Tamaño del agujero interno
- Diámetro de la vía
- Localización en coordenadas
- Tolerancias
- Tipo de diámetro
 - *Simple* – Tamaño constante en todas las capas
 - *Top-Middle-Bottom* – Permite variar el tamaño de la vía en las capas superior, media e inferior

- *Full Stack* – Permite especificar cualquier tamaño en cualquier capa

- Capas a unir
- Señal de conexión

Para unir la entrada de GND con su plano correspondiente en la capa inferior, se colocan cuatro vías con las siguientes especificaciones:

Tabla VII. Especificaciones de las vías.

Ítem	Valor/Tipo
Tamaño del agujero	1mm
Diámetro total de la vía	1,7mm
Tipo de diámetro	Simple
Capas a unir	Capa superior – Capa inferior
Señal de conexión	GND

Una vez situadas las vías de conexión a GND, el conector queda situado de la siguiente manera:

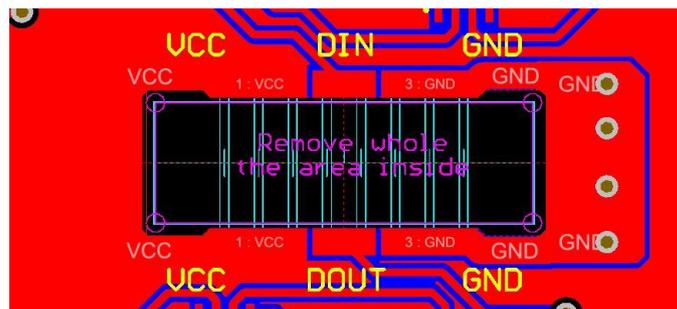


Figura 3.39. Conector Amphenol T821M116A1S100CEU-B en la capa superior.

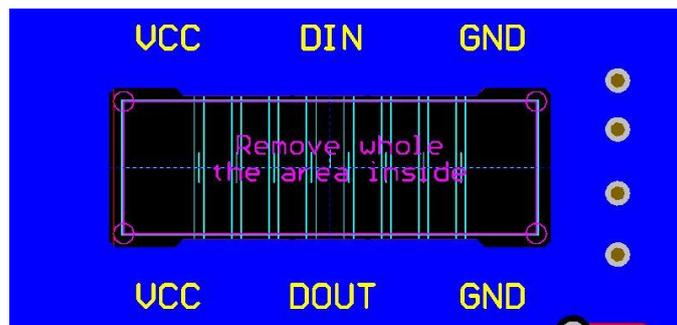


Figura 3.40. Conector Amphenol T821M116A1S100CEU-B en la capa inferior.

En este punto, antes de realizarse las pistas de unión entre módulos, se implementan diversos elementos adicionales al diseño. Por una parte, puesto que está previsto que se unan varias de

estas PCB para formar estructuras y pantallas más grandes, se incorporan unas aberturas con la forma y el espacio idóneo para permitir la manipulación. Estas aberturas, se van a situar a ambos lados del conector para que, a la hora de manipular la placa, conectar y desconectar, la fuerza no caiga directamente sobre el conector evitando así posibles roturas y alargando la vida útil del mismo. Al tratarse de una abertura, se realiza el diseño mediante la capa de corte (Mechanical 1). Una vez realizado este, se inserta un polígono de corte a modo de seguridad tanto en la capa inferior como en la superior alrededor de la abertura, a unos 0,3mm.

La forma y medidas de las aberturas son las siguientes:

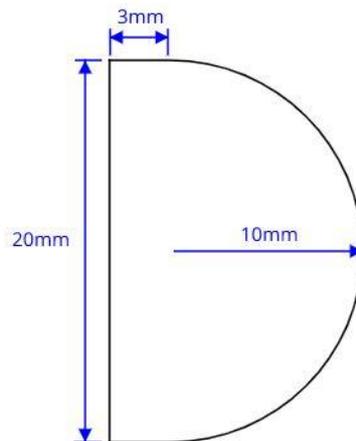


Figura 3.41. Cotas de la apertura insertada en el diseño.

En la figura 3.37 se observa la abertura situada a la derecha del conector, en la parte izquierda y de manera totalmente simétrica se sitúa la abertura complementaria.

Los siguientes elementos a colocar son unos taladros de apoyo. Dichos taladros se utilizan para situar la PCB en una posición y una ubicación concreta en el momento de su montaje, el diseño de estos no es un tema electrónico sino puramente mecánico que se comenta más adelante en el apartado 4 Diseño de la estructura trasera. Para crearlos se accede haciendo clic en 'Part' >> 'Pad' y definiendo sus características.

La ventana de especificaciones del taladro permite definir lo siguiente:

- Localización del taladro (En coordenadas X / Y)
 - Rotación
 - Medida del taladro y tolerancia
 - Tipo de taladro
- *Round* – Orificio redondo, es la opción predeterminada por Altium

- *Rect* – Orificio rectangular
- *Slot* – Orificio ranurado con extremos redondeados
- Nombre del taladro
- Capa en la que se sitúa
- Señal de conexión
- Tipo de diámetro
 - *Simple* – Tamaño constante en todas las capas
 - *Top-Middle-Bottom* – Permite variar el tamaño de la vía en las capas superior, media e inferior
 - *Full Stack* – Permite especificar cualquier tamaño en cualquier capa
- Expansión de las máscaras de pasta y soldadura

Para los taladros situados en la placa se definen las siguientes especificaciones:

Tabla VIII. Especificaciones de los taladros de la placa PCB píxel blanco.

Ítem	Valor/Tipo
Medida del taladro	6mm
Tipo de taladro	Round
Tipo de diámetro	Simple
Capa	Multicapa
Señal de conexión	Sin conexión
Expansión máscaras de pasta y soldadura	Utilizar valores definidos en las reglas de diseño

En cuanto a la localización de los taladros, se han definido unas coordenadas en función del soporte a describir posteriormente y de las rutas de la placa, las localizaciones son las siguientes:

Taladro 1:

Tabla IX. Coordenadas taladro 1.

Coordenada	Valor (mm)
X	111,7
Y	159

Taladro 2:

Tabla X. Coordenadas taladro 2.

Coordenada	Valor (mm)
X	149
Y	104,5

Una vez diseñados y distribuidos los elementos adicionales en la placa, se acaban de completar las conexiones entre módulos. Estas conexiones se han dejado para el final para no tener que desplazarlas posteriormente al colocar los taladros y las aperturas (figura 3.37), es decir, para saber el espacio real disponible para situarlas. Para empezar, se debe llevar la masa a todos los componentes necesarios. La alimentación positiva al disponer de un plano en la misma capa que los componentes ya los embebe totalmente. Para esto se realizan dichas conexiones con la capa inferior mediante vías. Se sitúa una vía con las especificaciones comentadas anteriormente y se genera una pista del componente a la vía dejando así conectado este a GND.

Para realizar la conexión ente módulos se debe tener en cuenta que se ha situado en la capa superior un plano de alimentación VCC, y puesto que todos los componentes están situados en dicha capa una reflexión lógica sería realizar en dicha capa todas las conexiones. Sin embargo, es muy probable que se generen grandes islas a las que no llegará la señal o que aparezcan pequeños caminos por los que pasará la corriente de forma indeseada. Por lo tanto, de esta manera se eliminan la mayoría de beneficios de situar planos de alimentación, ya que se podría generar bucles y sobrecalentamiento de algunas partes al dejar áreas excesivamente pequeñas para el paso de la alimentación. Para evitar estos problemas y seguir disponiendo de grandes planos de alimentación se realizan dichas conexiones distribuyendo las pistas entre la capa superior y la inferior. Todo este proceso se hace mediante vías las características de las cuales se ha detallado anteriormente. Este proceso es necesario únicamente para la conexión del dato, puesto que el resto de conexiones ya están todas realizadas. El camino a seguir por el dato ya se ha comentado anteriormente, ahora es necesario definir el camino del *pad* de entrada del conector al primer chip y del último chip al *pad* de salida del conector. Este camino se realiza

trasladando ambos datos del conector al extremo derecho de la PCB y de ahí resiguiendo el borde hasta llegar cada uno al chip necesario, este camino al igual que el anterior entre chips se realiza mediante vías pasando de la capa inferior a la superior.

Para acabar la placa se va a diseñar la serigrafía de esta. En la capa inferior no es necesario insertar serigrafía puesto que únicamente dispone de rutas de dato y planos de GND. En la capa de superior, al tratarse de una PCB que funciona a modo de pantalla, la serigrafía será la siguiente:

- Marcar los LEDs en función de su posición en la placa a modo de píxel
- Insertar flechas para indicar el camino a seguir por la señal de dato
- Insertar referencia de la placa
- Insertar logo de la empresa

La capa superior de serigrafía como se ha comentado anteriormente es *Top Overlay*. Una vez situados en esta capa, para el marcaje de los leds se debe seleccionar y habilitar el *Designator* (definido previamente en el diseño del esquemático), esta ventana también permite indicar la situación en coordenadas y la rotación en caso de ser necesario.

En cuanto a las flechas, se dibuja una única flecha utilizando líneas y posteriormente se sitúa una en cada espacio entre módulo y módulo en el sentido correcto.

Una vez realizadas todas estas modificaciones el diseño de la PCB está acabado.

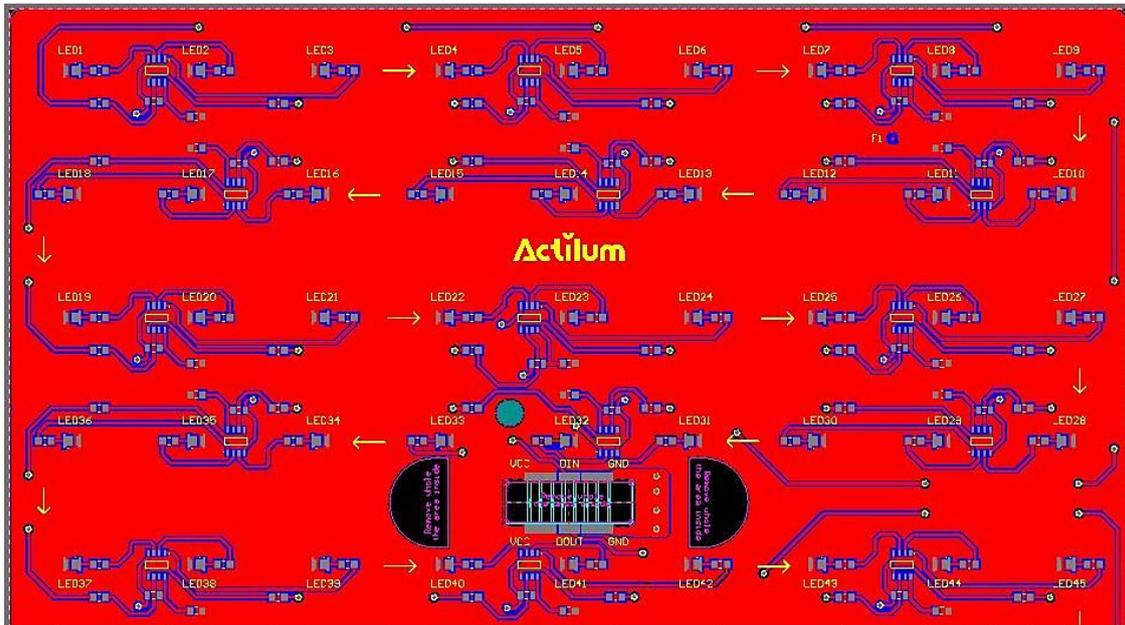


Figura 3.42. Capa superior del diseño final PCB Pixel Blanco.

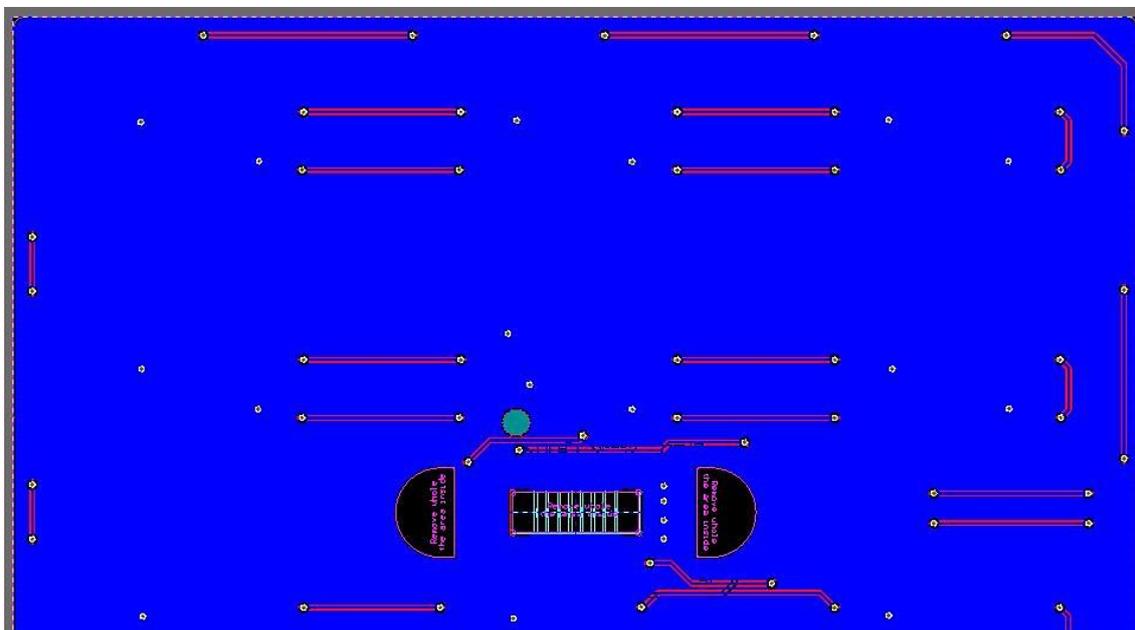


Figura 3.43. Capa inferior del diseño final PCB Pixel Blanco.

3.5.5 Documentación y especificaciones

En el siguiente apartado se definirá la documentación necesaria a extraer una vez creado el circuito impreso. Esta se puede dividir en dos bloques:

- Documentación de fabricación
- Documentación de montaje

Antes de hablar de los archivos que forman dichas documentaciones y como extraerlos se debe realizar un paso previo.

En función de la medida de la placa, es muy poco eficiente y en la mayoría de casos tiene un precio considerablemente más elevado el hecho de pedir grandes cantidades de PCB de forma individual. Por otra parte, esto tampoco es eficiente a la hora de ser sometidas a procesos automáticos de montaje de componentes (*Pick & Place*), de inspección de defectos de soldadura o de test eléctrico entre otros. Para realizar el montaje de forma eficiente es mejor disponer de grandes paneles compuestos por varias unidades de un mismo circuito impreso. Otra cosa a tener en cuenta de cara a estos montajes automáticos de componentes, es que estas maquinarias en la mayoría de casos utilizan unos pequeños puntos de referencia para alinear automáticamente el panel y poder ubicar correctamente los componentes en función de las coordenadas. Estas marcas o puntos de referencia se conocen como fiduciales.

Por tanto, se diseña un panel y se añaden los fiduciales para facilitar la fabricación y el montaje. En este caso como las PCB tienen un tamaño considerablemente grande se va a generar un panel con dos unidades, generar un panel de mayor podría dar problemas en cuanto a espacio a la hora de realizar el montaje superficial e introducir la placa en el horno.

Para diseñar el panel se genera un nuevo archivo de diseño de PCB (*.PcbDoc) y se guarda con el nombre del proyecto, pero añadiendo delante el prefijo PX. La P indica que se trata de un panel y la X indica las unidades que forman dicho panel, por lo que en este caso el nombre es el siguiente:

- P2 PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0.PrjPcb

Este panel está compuesto por una única fila de dos PCBs a las que se les añadirá un borde en la parte superior e inferior de 10mm donde se sitúa la referencia del panel y los fiduciales correspondientes.

Una vez generado el archivo se orienta el origen y se dibuja el espacio que ocupa el panel para posteriormente definirlo. Las medidas del panel son 500mm de ancho (2 PCBs) y 270mm de alto (1 PCB + 10mm de borde superior e inferior).

Lo primero es añadir la matriz de PCBs, para esto hay que hacer clic en 'Place' >> 'Embedded Board Array/Panelize', esto abre una ventana donde se debe definir lo siguiente:

- Documento de la PCB de la que hacer la matriz
- Número de filas y columnas
- Localización en coordenadas del punto de inicio
- Rotación

- Medida de la PCB
- Espacio entre PCBs

En este caso las especificaciones definidas son las siguientes:

Tabla XI. Especificaciones para la creación de un array de PCB.

Ítem	Valor/Tipo
Documento de la PCB	PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0.PrjPcb
Filas	1
Columnas	2
Coordenadas punto inicial	X:0mm / Y:10mm
Rotación	0º
Medida PCB	X:250mm / Y:250mm
Espacio entre PCBs	X:0mm / Y:0mm

Una vez insertada la matriz se debe completar el panel. Para empezar, se genera un polígono en la capa superior que embeba todo el panel y posteriormente se genera un polígono de corte a 0,3mm de las PCBs para que el polígono no se inserte en el diseño. A continuación, se añade la referencia del panel en la capa de serigrafía superior (*Top Overlay*). Por último, se añaden los fiduciales. Se añaden dos en la esquina superior derecha y dos en la esquina inferior izquierda. La distancia entre los fiduciales situados en la parte superior y los situados en la parte inferior sea diferente para que la maquinaria de montaje superficial pueda diferenciar la parte superior de la inferior del panel.

El fiducial es un *pad* con las siguientes especificaciones:

Tabla XII. Especificaciones de los fiduciales.

Ítem	Valor/Tipo
Capa	Superior
Tamaño	1,5 x 1,5mm
Señal de conexión	Sin conexión

Tipo de <i>pad</i>	Redondo
Expansión máscara de pasta	0mm (sin máscara de pasta)
Expansión máscara de Soldadura	2,25mm

Por último, se genera un polígono de corte circular a 0,3mm del fiducial. El resultado es el siguiente:

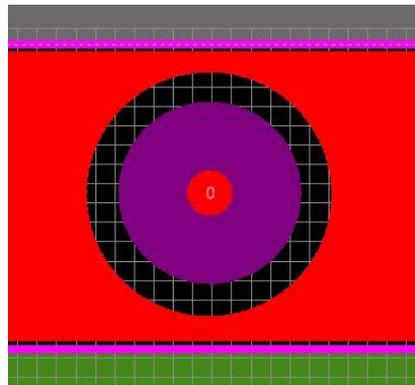


Figura 3.44. Pad de un Fiducial de posicionamiento.

Una vez implementado todo lo comentado anteriormente, el panel resultante es el siguiente:



Figura 3.45. Panel completo formado por dos PCB pixel blanco.

Con el panel realizado, ya se puede proceder a generar los archivos de fabricación y montaje necesarios.

3.5.5.1 Fabricación

Antiguamente, los documentos de fabricación de PCB eran muy diversos, no existía una base global en la que enviar dichos archivos, por lo que se enviaban en formatos gráficos, textuales, descriptivos, mapa de bits, vectoriales, etcétera. Estos formatos en ocasiones eran suficiente para que el fabricante pudiese generar el circuito sin problema, pero otras veces todos estos archivos podían crear confusión, malentendidos e incompatibilidades en cuanto a dimensiones, coordenadas, medidas y otras consignas.

Como solución a todo esto apareció el formato Gerber. Este es el estándar utilizado actualmente entre diseñadores de PCB y fabricantes. Se trata de un formato vectorial ASCII que contiene toda la información necesaria para la fabricación de circuitos impresos. Este formato no engloba un único documento, sino diferentes archivos que contienen la descripción completa de una imagen de capa sin necesidad de archivos externos. Habitualmente se extrae un archivo por capa, cada uno de estos incluye los parámetros de configuración, las aberturas, las coordenadas XY y el resto de parámetros necesarios.

Para la extracción de dichos documentos mediante Altium, el primer paso es crear un archivo de trabajo de salida. El proceso es el mismo que para crear cualquier otro archivo, hacer clic con el botón derecho sobre el archivo general del proyecto y acceder a 'Add New to Project' >> 'Output Job File', esto generara un fichero del tipo *.OutJob. En este caso se genera con la siguiente nomenclatura:

- FAB P2 PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0.OutJob

Los archivos de trabajo de salida se pueden dividir en dos partes, cada una de estas permite configurar lo siguiente:

- Tipo de salida – Las salidas se dividen en categorías funcionales como salidas de ensamblaje, salidas de fabricación, salidas de informes, salidas de validación...
- Formato de salida – La generación de cualquier tipo de salida requiere asignar un formato en el que obtenerla (PDF, estructura de carpetas, vídeo o copia impresa). Además, se puede asignar varias salidas a un único formato y controlar la ubicación de cada una de ellas.

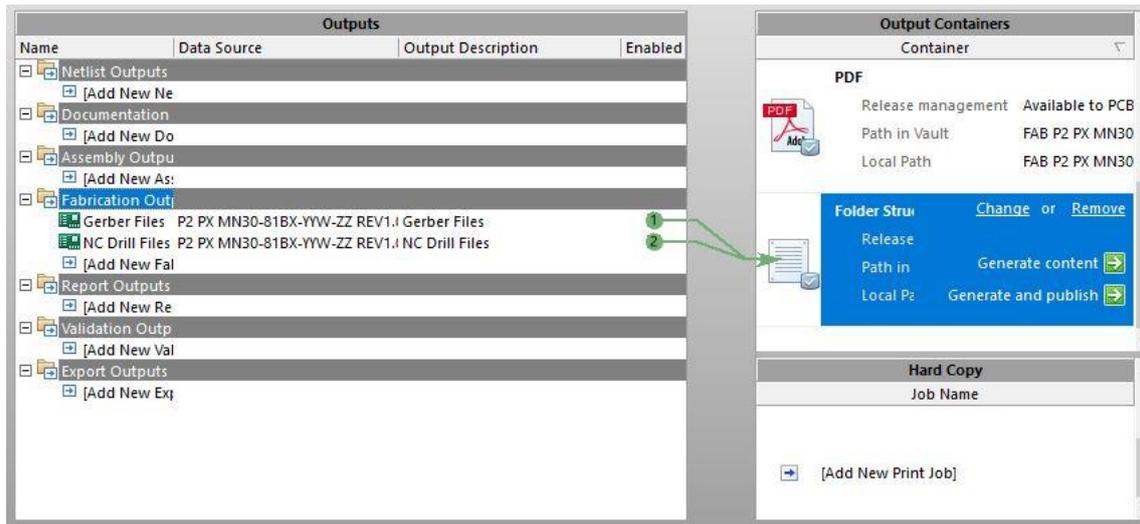


Figura 3.46. Ventana de generación de archivos de salida.

Para extraer los archivos de fabricación es necesario acceder al apartado de salidas de fabricación dentro de tipos de salidas y hacer clic en 'Add New Fabrication Output' >> 'Gerber Files', una vez aquí se debe seleccionar el archivo del que se quieren extraer los *gerber* de entre todos los existentes del proyecto, en este caso se selecciona el archivo P2 PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0.PrfPcb. A continuación, se hace doble clic sobre el archivo generado para configurar sus parámetros. Los parámetros principales a configurar son los siguientes:

- Unidades – Seleccionar las unidades en las que se quiere obtener dicha documentación (milímetros o pulgadas)
- Formato – Configurar el formato en función de la resolución.
 - 4:2 – Para una resolución de 0,01mm.
 - 4:3 – Para una resolución de 1um.
 - 4:4 – Para una resolución de 0,1um.
- Capas a extraer – Seleccionar las capas de las que se quiere extraer la documentación (*Top overlay, Top Paste, Top Solder, Bottom Layer...*)

Los parámetros definidos son los siguientes:

Tabla XIII. Parámetros de los archivos de fabricación de la PCB píxel blanco.

Ítem	Valor/Tipo
Unidades	Milímetros
Formato	4:2

Capas a extraer	GTL (Top Layer) GTO (Top Overlay) GTP (Top Paste) GTS (Top Solder Mask) GBL (Bottom Layer) GBO (Bottom Overlay) GTP (Top Paste) GBS (Bottom Solder mask) GM1 (Mechanical 1)
-----------------	---

Antes de escoger el formato, se extrae el archivo de taladros. Para ello se accede a 'Add New Fabrication Output' >> 'NC Drill Files', una vez aquí seleccionar el archivo del que obtener los taladros (P2 PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0.PrjPcb). Por último, seleccionar los parámetros, en este caso se deben definir las unidades y el formato.

Los parámetros para el archivo de fabricación de los taladros son los siguientes:

Tabla XIV. Parámetros de los archivos de fabricación de los taladros de la PCB píxel blanco.

Ítem	Valor/Tipo
Unidades	Milímetros
Formato	4:2

Por último, se debe definir el formato de salida. Este tipo de archivos se extraen en carpetas para facilitar el envío a los fabricantes. Se debe definir el nombre de la carpeta principal, que en este caso será el siguiente:

- FAB P2 PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0

Finalmente, haciendo clic en 'generar contenido' se obtiene la siguiente estructura de carpetas:

1. FAB P2 PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0

1.1. Gerber

1.2. NC Drill

Una vez extraídos los archivos de fabricación y antes de realizar un pedido es necesario examinarlos para verificar que los archivos son correctos y para identificar posibles errores. El hecho de visualizar estos archivos en un formato diferente al de Altium puede ayudar a que se encuentren errores o modificaciones que se habían pasado por alto.

Para visualizar los archivos Gerber se ha utilizado el programa Gerbv. Este es un visor de Gerber en código abierto que permite cargar varios archivos de fabricación uno sobre otro y realizar mediciones sobre la imagen mostrada. También permite visualizar los archivos de taladro. Para visualizar los archivos hay que seleccionar los archivos a visualizar y el programa los abre automáticamente unos sobre otros en un orden y con un color aleatorios. Este programa permite variar el orden en el que se ven las capas, habilitarlas y deshabilitarlas al gusto al mismo tiempo que variar el color y la intensidad de este. Todo esto permite una visualización óptima de cada una de las capas y de la unión entre estas.

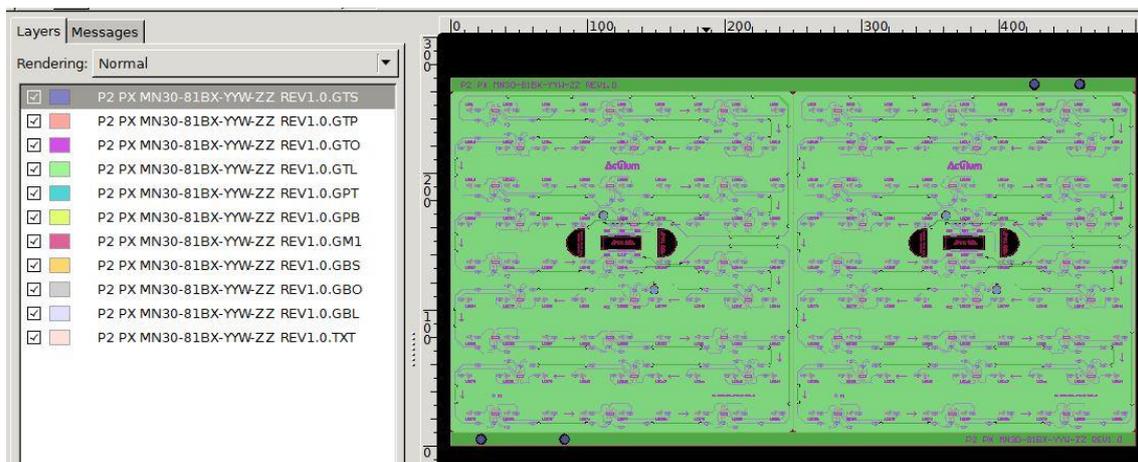


Figura 3.47. Visualizador de archivos de fabricación Gerber Gerbv.

Como se puede observar en la figura 3.43, a la izquierda se sitúan las capas y a la derecha la visualización de estas.

Una vez verificado el diseño se puede proceder a realizar el pedido de fabricación. Para esto, hay una serie de especificaciones a definir por el diseñador para que el fabricante tenga todos los datos necesarios.

Las especificaciones para este diseño son las siguientes:

Tabla XV. Especificaciones de fabricación de la PCB píxel blanco.

Ítem	Valor/Tipo
Dimensiones del panel	500 x 270mm
PCBs por panel	2
Proceso de fresado	Fresado en V
Nº de capas	2
Material	FR-4 (TG130)
Grosor	1,6mm
Acabado de cobre	35um (1 oz Cu)
Máscara de soldadura	Blanca
Serigrafía	Negra

3.5.5.2 Montaje

En cuanto al montaje, la documentación necesaria se puede dividir en dos partes:

- Archivo de posicionamiento de componentes (*Pick and Place*)
- Listado de componentes (BOM)

El archivo Pick and Place está compuesto por las coordenadas X/Y de cada uno de los componentes del sistema y sus rotaciones respecto al origen definido durante el proceso de diseño. El sistema de obtención de este documento es muy similar al de los archivos de fabricación. Es necesario crear un archivo de trabajo de salida (*.OutJob), en este caso se guarda con el siguiente nombre:

- P&P P2 PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0

Dentro de este se añade el documento de posicionamiento de componentes en el apartado de archivos de salida de ensamblaje haciendo clic en '*Assembly Outputs*' >> '*Generates pick and place files*' >> '*P2 PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REV0.0*'. Una vez generado el archivo se deben definir el formato y las unidades, son los siguientes:

Tabla XVI. Especificaciones para archivos Pick & Place.

Ítem	Valor/Tipo
Formato	Text
Unidades	Metric

Por último, se configura un formato de salida de estructura en carpetas y se genera el contenido.

1	Designator	Footprint	Mid X	Mid Y
2				
3	RV26	8RB-1206_-_REDUC	125.02mm	13.5mm
4	RD52	8RB-1206_-_REDUC	143.34mm	16.5mm
5	IC24	S08_WS2811	50.56mm	51.67mm
6	C1	C1206	32.13mm	239.24mm
7	C2	C1206	115.47mm	239.24mm
8	C3	C1206	198.81mm	239.24mm
9	C4	C1206	217.89mm	225.24mm
10	C5	C1206	134.55mm	225.24mm
11	C6	C1206	51.21mm	225.24mm
12	C7	C1206	32.13mm	183.68mm
13	C8	C1206	117.87mm	180.18mm
14	C9	C1206	198.81mm	183.68mm
15	C10	C1206	217.89mm	169.68mm
16	C11	C1206	134.55mm	169.68mm
17	C12	C1206	51.21mm	169.68mm
18	C13	C1206	32.13mm	128.12mm
19	C14	C1206	115.47mm	128.12mm
20	C15	C1206	198.81mm	128.12mm
21	C16	C1206	217.89mm	114.12mm
22	C17	C1206	134.55mm	114.12mm
23	C18	C1206	51.21mm	114.12mm
24	C19	C1206	32.13mm	72.56mm
25	C20	C1206	115.47mm	72.56mm
26	C21	C1206	198.81mm	72.56mm
27	C22	C1206	217.89mm	58.56mm
28	C23	C1206	134.55mm	58.56mm
29	C24	C1206	51.21mm	58.56mm
30	C25	C1206	32.13mm	17mm

Figura 3.48. Archivo Pick & Place.

En cuanto al listado de materiales hay dos posibilidades de generarlo. Una de ellas es de la misma manera que se ha generado el archivo de posicionamiento de componentes, creando un archivo de trabajo de salida y haciendo clic en 'Report Outputs' >> 'Bill Of Materials' >> 'PX MN30-81BX-YYWW-ZZ REVO.0'. Una vez hecho esto queda definir el formato de salida y generar el contenido. Sin embargo, en este caso se va a generar de una manera que optimiza y facilita mucho el trabajo de la persona encargada del montaje del circuito, mediante un archivo *Draftsman*.

Draftsman es un tipo de archivo que proporciona un entorno de edición gráfica avanzada para crear documentos de producción y montaje. Mediante un conjunto de herramientas de dibujo, permite generar documentos mucho más personalizados y con enfoques interactivos que unen dibujos de fabricación y ensamblaje, dimensiones, notas, contenido adicional, etcétera. En este caso se va a utilizar principalmente para situar en un único documento la imagen del circuito, el listado de componentes y cualquier información adicional o nota a tener en cuenta a la hora de realizar el montaje. El primer paso es crear el archivo *Draftsman* (fichero *.PCBDwf) de la misma manera que se añade un esquemático o un archivo de diseño al proyecto. Una vez generado se

debe especificar el archivo de diseño del que se obtiene la información, en este caso se puede utilizar el archivo del panel compuesto por dos circuitos o el archivo de circuito individual. Para facilitar la comprensión se genera la información en base al archivo de diseño del circuito y no del panel. El archivo *Draftsman* está compuesto por una lámina de dibujo similar a la utilizada en el proceso de diseño del esquemático y con las mismas características. En este caso se configura el formato de hoja en A3.

Para generar el BOM se accede a *'Place' >> 'Bill Of Materials'*. Este automáticamente genera una tabla con el listado de todos los componentes que componen el circuito. Haciendo doble clic sobre la tabla se pueden configurar sus parámetros, los principales son los siguientes:

- Color del texto
- Color de las celdas
- Tipo de fuente
- Estilo de tabla
- Columnas de la tabla
 - Información a detallar en cada columna
 - Anchura de cada columna en milímetros

En este caso se configura la siguiente información (de cada componente) a mostrar en la tabla:

- Unidades
- Identificador
- Comentario
- Descripción

Se ajusta la anchura de las columnas en función de la información que contiene cada una.

Quantity	Designator	Comment	Description
27	C1-C27	COND_100nF_1206	Condensador CER 100nF / 50V / 1206 / 10%
27	IC1-IC27	CI_WS2811_SOP-8	CI WS2811 / SOP-8 / REGULADOR PIXEL
81	LED1-LED81	LED_3030	LED / BLANCO xK / 3030 / 3V / 160mA
1	P1	CON_AMPHENOL_16P	CONECTOR AMPHENOL / 16P / T821M116A1S100CEU-B
54	RD1-RD54	RES_33Ohms_1206	Resistencia 33Ohm / 0,25W / 1206 / 1%
81	RL1-RL81	RES_115Ohms_1206	Resistencia 115Ohm / 0,25W / 1206 / 1%
27	RV1-RV27	RES_100Ohms_1206	Resistencia 100Ohm / 0,25W / 1206 / 1%

Figura 3.49. Archivo BOM

A continuación, se añade la imagen de la PCB haciendo clic en 'Place' >> 'Board Assembly View'. En esta imagen se pueden configurar ciertos parámetros, los principales son los siguientes:

- Escala
- Estilo de la imagen
- Pads SMD a mostrar y el estilo
- Ubicación de los identificadores de cada componente

En este caso, se configura una escala de 1:1, se habilita la imagen todos los Pads y se configuran los identificadores de cada componente. Una vez hecho esto queda configurada la imagen del circuito impreso.

Por último, una vez añadido el listado de material y la imagen del circuito impreso, se puede completar el archivo con elementos de dibujo o anotaciones adicionales.

El resultado final es el siguiente:

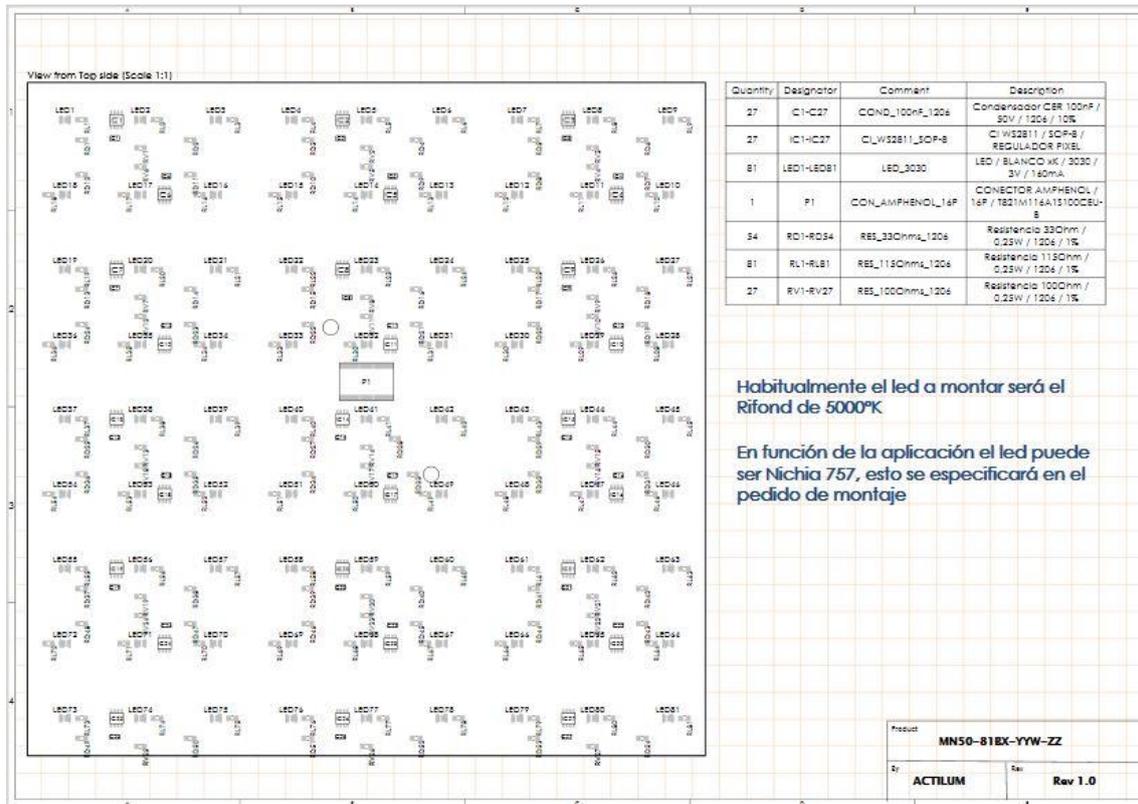


Figura 3.50. Archivo Drafstman.

Una vez verificada la información se puede exportar la hoja en formato PDF.

Con todo lo especificado en este punto se envían a fabricar y montar los paneles necesarios para realizar las primeras pruebas.

3.5.6 Resultados

En el siguiente apartado se habla sobre el proceso de testeo y verificación de las placas una vez fabricadas y montadas.

La PCB completa es la siguiente:

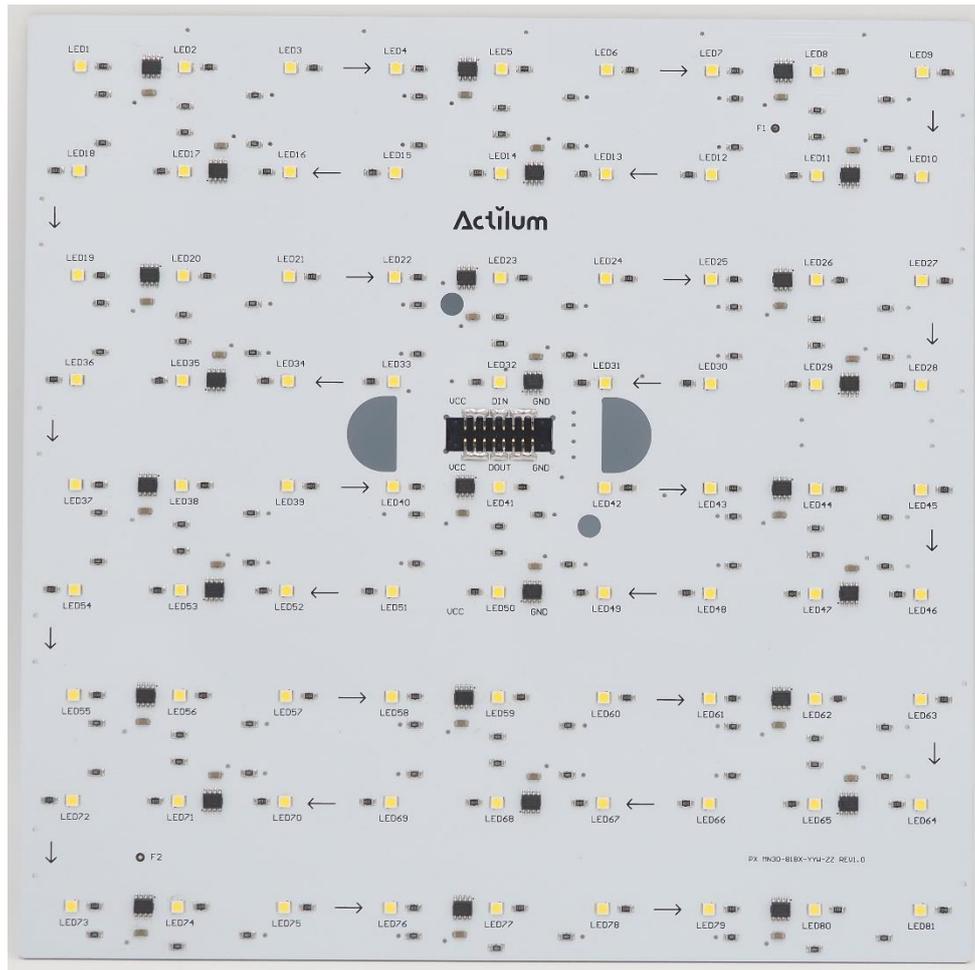


Figura 3.51. PCB píxel blanco completa.

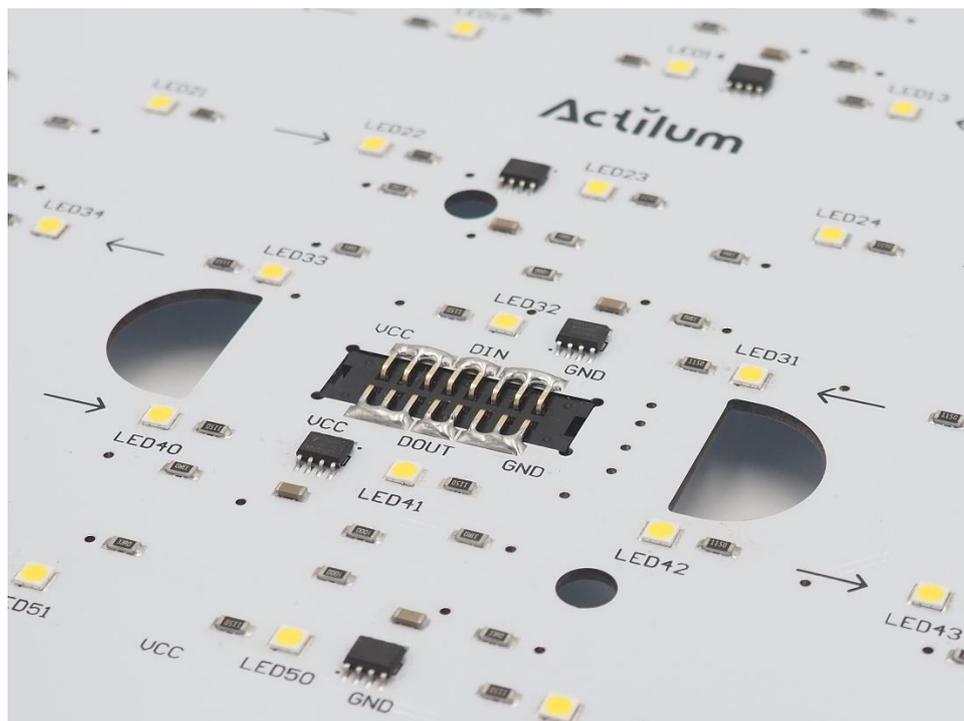


Figura 3.52. PCB píxel Blanco detalle conector y agarres vista delantera.

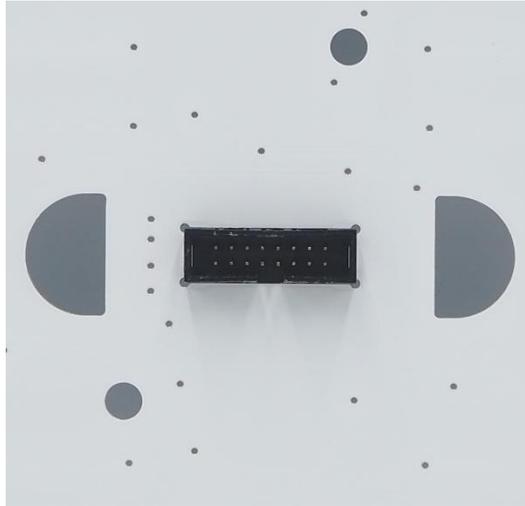


Figura 3.53. PCB píxel blanco detalle conector y agarres vista trasera.

El primer paso para verificar las placas, si el montaje lo permite (tiene una cantidad de componentes aceptable), consiste en realizar una primera comprobación visual de todos los elementos que forman la placa visualizando a groso modo que todas las soldaduras están en su lugar y los componentes están correctamente posicionados. Es recomendable realizar este paso ya que el tamaño tan reducido de los componentes hace que el más mínimo error sea fatal para el funcionamiento del sistema. Por otra parte, en este caso, el paso de la máquina de posicionamiento de componentes al horno se ha hecho de forma manual, cosa que en algunos casos puede provocar que algún elemento quede desplazado ya sea por un movimiento brusco o incluso por un pequeño golpe de aire.

Una vez hecho esto, para realizar el testeo de la placa y verificar que el funcionamiento es el esperado se va a utilizar un controlador píxel del tipo SP110E. Este es un controlador píxel que permite controlar hasta 2048 píxeles mediante bluetooth.



Figura 3.54. Controlador píxel SP110E.

Sus características principales son las siguientes:

- Tensión de alimentación: DC5V-24V
- Corriente de trabajo: 20mA-40mA
- Tipo de control: Bluetooth
- Máximo número de LEDs a controlar: 2048
- Distancia aproximada: 20M
- Número de efectos incorporados: 120

Este controlador no solamente dispone de 120 efectos de luz automáticos con los que probar el circuito, sino que permite configurar en tiempo real el color a visualizar, esto permite que se puedan verificar por separado cada una de las salidas del controlador WS2811 y así comprobar de forma detallada y precisa el correcto funcionamiento del sistema.

Para realizar la prueba, lo primero es cablear el conector del circuito para poder introducir de una manera fácil y rápida la alimentación y el dato. A continuación, se unen polos positivos y negativos de la PCB con los del controlador para alimentar ambos sistemas desde una misma fuente de alimentación a 5VDC. Por último, se une el cable de dato del controlador con el de entrada de la PCB y el sistema ya está listo para realizar la prueba. Con la fuente de alimentación conectada se accede a la aplicación llamada *LED Hue*, disponible para cualquier dispositivo. Al acceder a la aplicación se debe conectar el dispositivo mediante bluetooth y el primer paso es configurar el tipo de chip de control de LEDs, el orden de las salidas y el número de píxeles a controlar. Se configura lo siguiente:

Tabla XVII. Configuración del controlador píxel SP110E.

Ítem	Valor/Tipo
Tipo de chip	WS2811
Orden de las salidas	RGB
Nº de píxeles a controlar	27

Una vez configurado esto ya se dispone de acceso a la ventana de control. Desde aquí se puede controlar el color y la intensidad de este, es decir, en este caso permite encender cada uno de los canales de manera independiente y todo el conjunto completo.

Se realizan las siguientes pruebas:

Tabla XVIII. Pruebas realizadas a los paneles PCB píxel blanco.

Prueba	Resultado
Color blanco (3 salidas activas)	Correcto
Color rojo (1ª salida activa)	Correcto
Color verde (2ª salida activa)	Correcto
Color azul (3ª salida activa)	Correcto
Diversos colores a diversas intensidades	Correcto
Efectos automáticos	Correcto

Una vez realizadas las pruebas se puede concluir con que el funcionamiento de la PCB es el esperado. Los chips reaccionan correctamente encendiendo en cada momento las salidas correspondientes. Al variar la intensidad de luz para cualquiera de las salidas el sistema realiza este proceso sin problema, de la misma manera que reproduce los efectos de luz por toda la placa sin errores.

Las especificaciones finales de la PCB son los siguientes:

Tabla XIX. Especificaciones PCB píxel blanco.

Ítem	Valor
Voltaje alimentación	5V CC
Corriente de trabajo máxima	0,3A
Potencia máxima	1,5W

4 Diseño de la estructura trasera

Una vez diseñada la PCB principal que formará el sistema es necesario diseñar una estructura de conexión que permita unir varias de estas y formar una única estructura. En este apartado se detalla el estudio y diseño de dicha estructura, que no sólo servirá de unión entre circuitos, sino que dará estabilidad al sistema la vez que se encargará de distribuir todas las señales eléctricas necesarias.

4.1 Concepto

El diseño de la estructura trasera tiene como función principal unir varias PCBs formando una matriz modulable. Por tanto, con un único dato de entrada se enlazan varias de estas placas formando una pantalla sincronizada en la que reproducir una escena.

Esta estructura principalmente debe cumplir los siguientes propósitos:

- Distribuir la alimentación por cada uno de los circuitos que formen el sistema.
- Enlazar cada una de las placas haciendo pasar el dato de una PCB a otra en un orden determinado.
- Fijar y dar estabilidad al sistema.

Para realizar toda esta estructura de fijación y distribución de señales se decide realizar otro diseño de PCBs conectoras. La idea principal es que puedan fijarse a unas barras de aluminio o algún otro material similar y mediante las conexiones necesarias distribuyan todas las señales al sistema permitiendo conectar y desconectar los paneles de forma fácil y rápida.

Para empezar, este nuevo circuito deberá disponer del conector complementario al situado en la PCB Píxel Blanco. Dicho conector es el ZL264-20DG de la marca Amphenol, este es un conector del tipo hembra de 20 pines.[16]

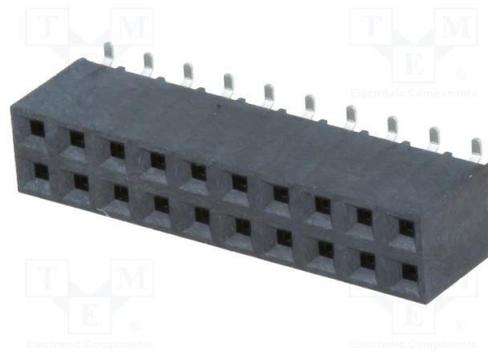


Figura 4.1. Conector Amphenol ZL264-20DG (Fuente: TME Electronic Components [16]).

El conector macho situado en la PCB Píxel Blanco es de 16 pines, mientras que el conector hembra dispone de 20. Esto es a causa de que el conector macho dispone de un espacio a cada extremo del conector, eso implica que, si el conector hembra dispone 16 pines (igual que el macho) hay tres combinaciones de conexión y exclusivamente una es correcta. En la figura 4.2 se pueden observar las combinaciones disponibles, siendo el conector macho el de color blanco y el hembra el de color negro:

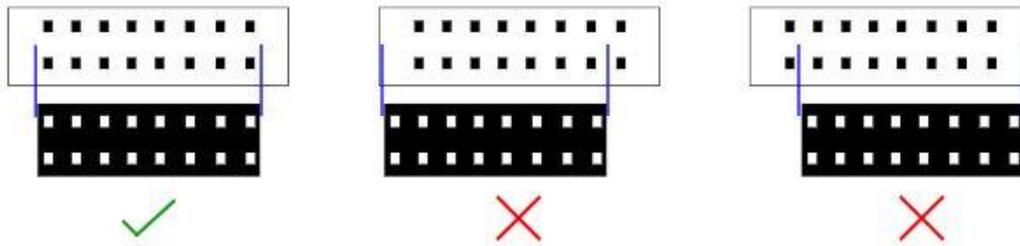


Figura 4.2. Esquemas de unión macho-hembra con hembra de 16 pines.

Al situar un conector de 20 pines este permite un único modo de conexión solucionando así el problema y eliminando la posibilidad de error.

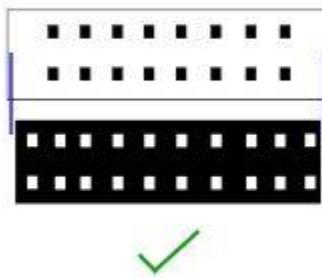


Figura 4.3. Esquema de unión macho-hembra con hembra de 20 pines.

Por otra parte, la PCB deberá de disponer de las pistas/planos de conexión necesarias para distribuir la alimentación al panel y controlar la entrada y salida del dato. La idea es que la primera PCB de conexión que forme esta estructura sea a la que se le conecta la alimentación y la entrada de dato del controlador píxel. Y esta vaya distribuyendo y transmitiendo estas señales al resto de PCBs de conexión.

Después de realizar varias pruebas, se llega a la conclusión de que lo óptimo es evitar el tener que estar cableando constantemente esta estructura trasera, esto hace que el montaje del sistema sea mucho más largo. Por otra parte, este cableado también puede provocar errores e interferencias, por lo que finalmente se opta por colocar unos conectores fáciles que mediante unos pequeños pines de conexión o cables rígidos permitan realizar el montaje del sistema.

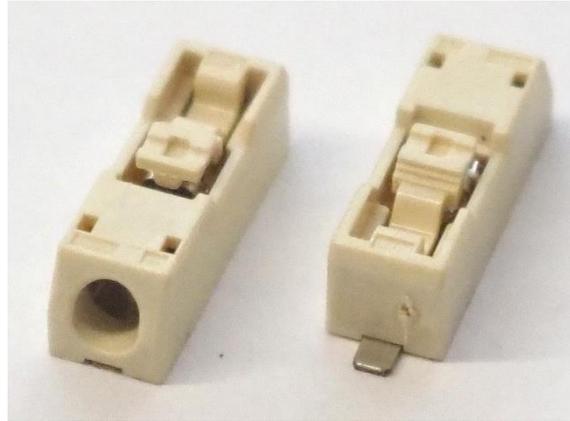


Figura 4.4. Conector rápido Molex.

El hecho de utilizar este tipo de conexión entre placas evita el uso del cableado que implica cortar el cable a las medidas necesarias, pelar los extremos y estañarlos uno a uno para asegurar una correcta conexión y la manipulación posterior en el montaje. De esta manera se inserta un cable rígido o un pin y se une el conector rápido de una placa con el conector rápido de otra.

Por último, hay que tener en cuenta el orden en el que se conectan las placas para hacerlo de la manera más óptima posible. La idea es formar estructuras formadas por varias filas y varias columnas. La conexión entre placas en una misma columna se realiza uniéndolas una tras otra mediante los conectores rápidos (figura 4.4). En cambio, entre columnas la idea es realizar las conexiones por los extremos más cercanos. Con este tipo de conexiones se formaría una estructura en zigzag como se puede observar en la figura 4.5:

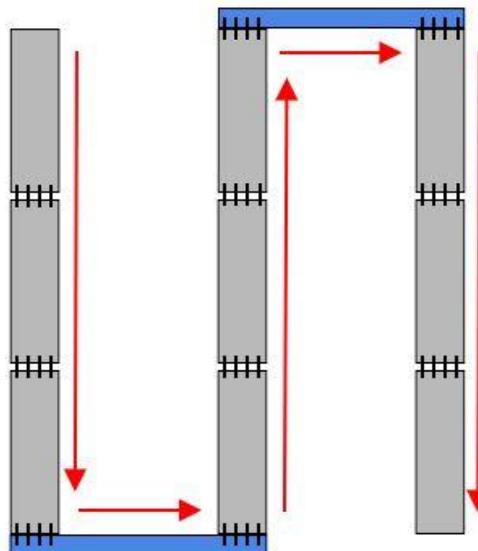


Figura 4.5. Esquema de conexión trasera y camino de dato.

En la figura 4.5 se puede observar en gris las PCBs a diseñar comentadas anteriormente. En azul, las conexiones entre columna y columna. Para estas se decide generar una segunda PCB

estructural que distribuya las señales en horizontal de una columna a otra, esta está compuesta por conectores rápidos. Por último, en rojo se puede ver el camino a seguir por las señales.

Por tanto, en cuanto a la estructura trasera las PCB a diseñar son las siguientes:

- PCB de conexión vertical
- PCB de conexión horizontal

El concepto del sistema completo formado por la estructura trasera en unión con las PCB Píxel Blanco visto desde atrás es el siguiente:

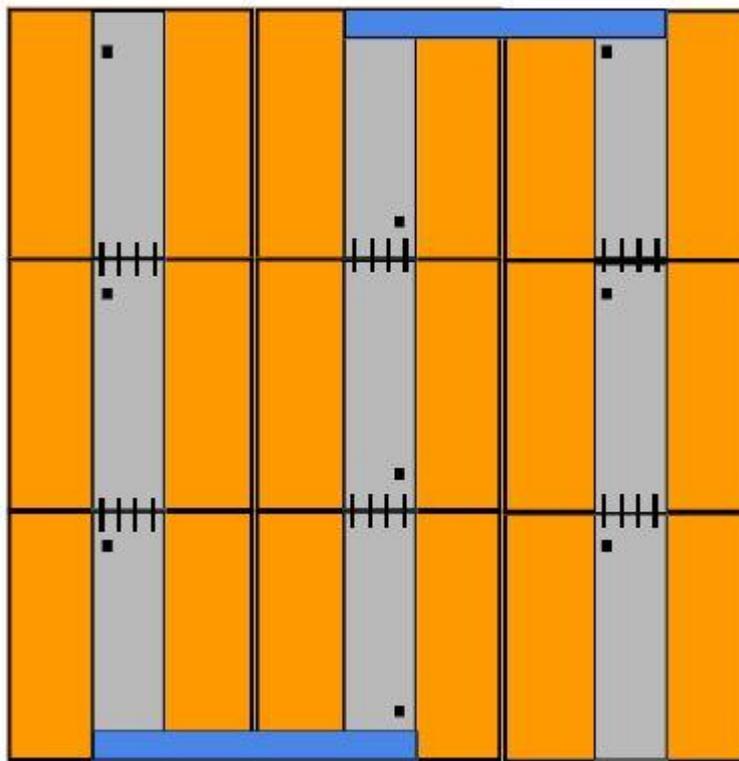


Figura 4.6. Esquema de unión del sistema completo.

Siendo:

Polígonos naranjas: PCB Píxel Blanco

Polígonos grises: PCB Conexión Vertical

Polígonos azules: PCB Conexión Horizontal

En el dibujo se han añadido unos pequeños cuadrados negros en la PCB de conexión vertical (Polígono Gris) para poder ver la orientación de estas en función de la columna. Al realizar un

recorrido en zigzag, las PCB de la segunda columna están giradas 180° respecto a las de la primera.

4.2 Diseño

En el siguiente apartado se detalla el diseño de las PCB que forman la estructura trasera del sistema.

Este sistema se diseñó para ser compatible con dos modelos de placas del proyecto píxel, una de ellas es la PCB Píxel Blanco y la otra placa es externa a este proyecto. En este apartado se comentan las partes del diseño que tienen que ver con la placa diseñada en este proyecto, el resto de componentes se obvian puesto que solo se montan para la placa externa.

4.2.1 PCB Conexión Vertical

La PCB de conexión vertical será la encargada de sostener la PCB Píxel Blanco, transmitirle la alimentación y la entrada de dato. En cuanto a la salida de dato se encarga de pasarla a la siguiente PCB de conexión vertical.

Teniendo en cuenta la funcionalidad de esta y la forma de conexión, las medidas de la PCB son las siguientes:

Tabla XX. Medidas de la PCB de conexión vertical.

Ítem	Valor
Alto	250mm
Ancho	55mm

El origen de la placa se sitúa en el extremo inferior izquierdo.

La altura de la placa viene prefijada por la PCB Píxel Blanco a sostener. En cuanto a la anchura, se le ha dado ese valor para que el circuito pueda tener una superficie suficiente para ser anclada sin problema en cualquier estructura y que dicha unión sea lo más estable y sólida posible.

En cuanto al conector, la huella o *footprint* es la siguiente:

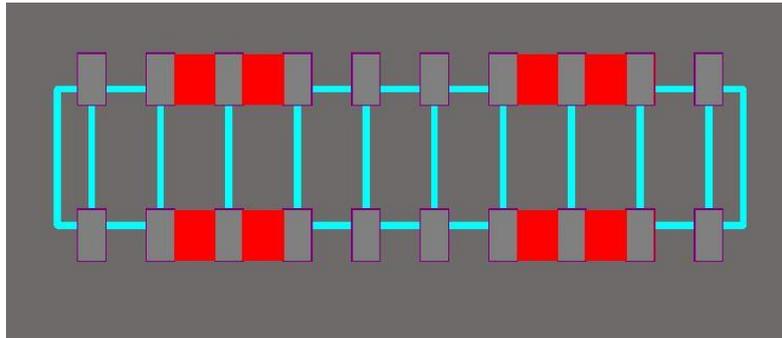


Figura 4.7. Footprint conector ZL264-20DG.

Este se sitúa a la misma altura que el de la PCB Píxel Blanco y centrado en la placa en el eje X. Las coordenadas son las siguientes:

Tabla XXI. Coordenadas del conector ZL264-20DG.

Coordenada	Valor (mm)
X	27,5
Y	104,5

La huella del conector rápido es la siguiente:

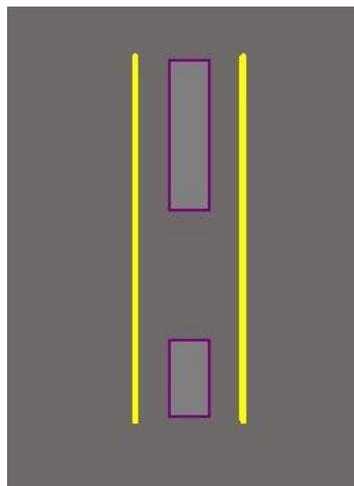


Figura 4.8. Footprint conector rápido Molex.

Este conector tiene posición, es decir, tiene una abertura en uno de sus extremos para la entrada de cable y en el otro extremo está totalmente cerrado. En cuanto al montaje de estos, hay varias cosas a tener en cuenta. La situación de dichos conectores varía en función de la situación de la PCB en la columna. Existen los siguientes casos:

1. PCB de entrada

Primera placa de la columna, encargada de recibir el dato y transmitirlo al resto de placas de la columna.

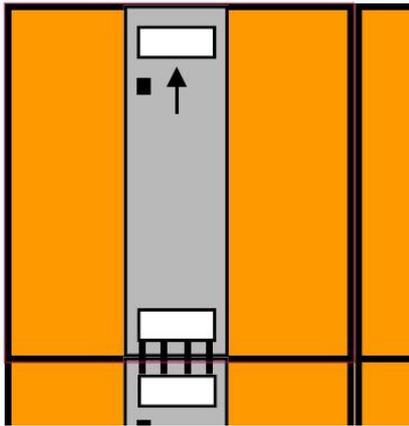


Figura 4.10. Esquema PCB de conexión vertical entrada al sistema.

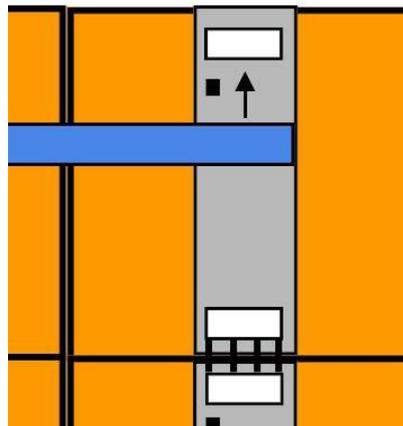


Figura 4.9. Esquema PCB de conexión vertical entrada a columna.

Como se puede observar en las figuras 4.9 y 4.10, ya sea PCB de entrada de datos al sistema (figuras 4.10) o la primera PCB de una columna (figuras 4.9) los conectores superiores e inferiores tienen la misma posición:

Tabla XXII. Orientación de la entrada de cable en las PCB de conexión vertical de entrada.

Conector	Orientación de la entrada de cable
Superior	Interna
Inferior	Externa

Entendiendo por orientación interna los que tienen la entrada de cable hacia el centro de la PCB y por externa los que la tienen hacia el exterior.

PCB central

La placa central se encarga de recibir la señal de dato de la placa anterior y transmitirlo a la siguiente.

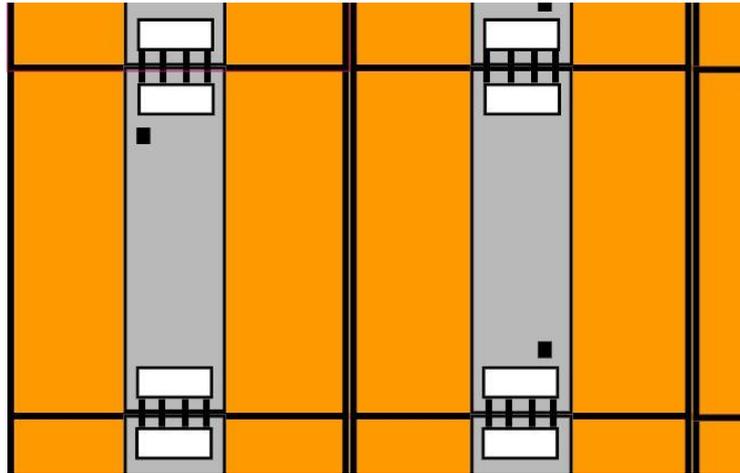


Figura 4.11. Esquema PCB de conexión vertical centrales.

En este caso la orientación de los conectores es la siguiente:

Tabla XXIII. Orientación de la entrada de cable en las PCB de conexión vertical centrales.

Conector	Orientación de la entrada de cable
Superior	Externa
Inferior	Externa

PCB de salida

La última placa de la columna es la encargada de recibir el dato del extremo final de una columna y transmitirlo a la siguiente.

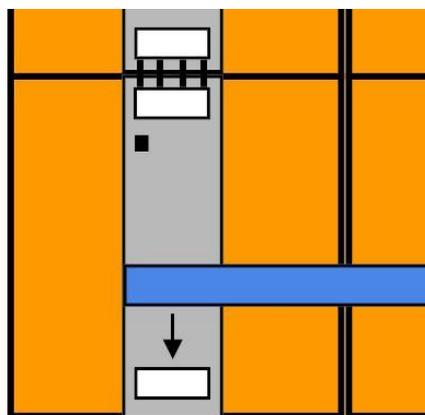


Figura 4.12. Esquema PCB de conexión vertical de salida.

En este caso la posición de los conectores es la siguiente:

Tabla XXIV. Orientación de la entrada de cable en las PCB de conexión vertical de salida.

Conector	Orientación de la entrada de cable
Superior	Externa
Inferior	Interna

El sistema engloba tres configuraciones diferentes de conexión en función de la situación de la PCB en el sistema. Para poder cumplir estas especificaciones con una única PCB, la solución por la que se ha optado es incluir tanto en la parte superior como en la inferior dos bloques de conectores, cada uno de ellos con una determinada orientación. Por tanto, a la hora de realizar el montaje de la PCB y en función de si la placa es de entrada, salida o central se monta un bloque de conectores u otro.

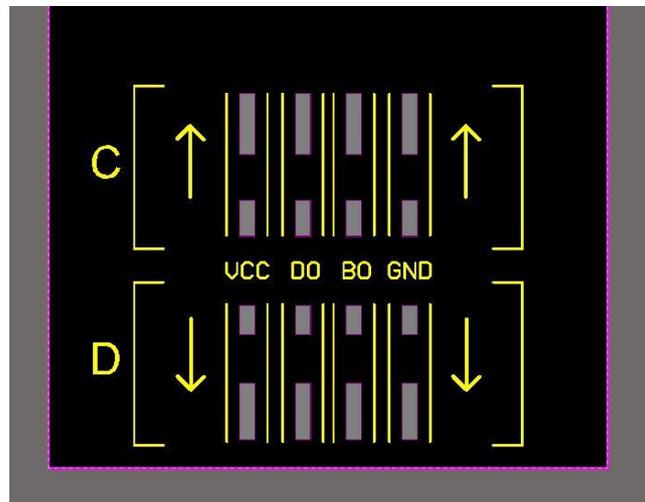


Figura 4.13. Bloques de conectores rápidos Molex.

Esto ofrece una solución versátil que permite realizar tres configuraciones en una única PCB únicamente seleccionando los componentes en el momento del montaje.

Esta PCB tiene una capa de cobre por lo que no hay una separación por capas para los planos de alimentación. A pesar de esto es recomendable disponer en la misma capa de dichos planos. Por tanto, en este caso se generan en los laterales de la placa dos grandes planos que la recorren de arriba a abajo, a la izquierda el plano del polo de alimentación positivo o VCC y a la derecha el plano de alimentación negativa o GND. La medida de estos es la siguiente:

Tabla XXV. Medidas de los planos de alimentación de la PCB de conexión vertical.

Ítem	Valor
Altura	250mm

Anchura	22,5mm
---------	--------

Al estar situados a los laterales de la placa, el espacio central queda disponible para las señales de datos. En este caso hay dos señales para satisfacer las características de la placa complementaria comentada al inicio de este apartado. Para este proyecto ambas pistas distribuyen la misma señal ya que quedan unidas al insertar la PCB Píxel Blanco. Una vez situados los planos de masa queda un espacio central de 10mm, por lo que se generan dos planos de las siguientes medidas para las señales de dato:

Tabla XXVI. Medidas de los planos de dato de la PCB de conexión vertical.

Ítem	Valor
Altura	250mm
Anchura	5mm

Estos planos no tienen la función de distribuir una señal de la entrada a la salida de la PCB, sino que introducen un dato que llega a la PCB Píxel Blanco y extraen el dato de salida de esta. Por esta razón el plano de dato no es continuo, va del extremo superior de la PCB hasta los pines centrales de la línea superior del conector y de la línea inferior al extremo inferior de la PCB.

Puesto que la placa se adapta a dos formatos de panel diferentes, se añade un segundo conector centrado en la placa. Como se ha comentado en el párrafo anterior, los planos de dato no son continuos, por tanto, para adaptarse a las dos configuraciones se corta el dato al llegar a cada conector y se añaden unas resistencias de puente que unen dichos cortes. De esta manera, para la configuración de este proyecto se monta el conector superior (White connector) y las resistencias (R2 y R3) que hacen de puente en el conector inferior.

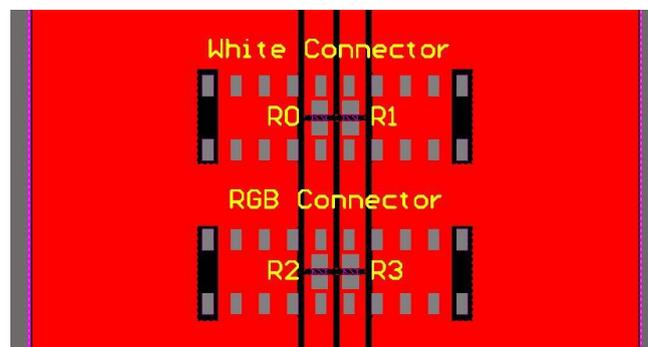


Figura 4.14. Distribución central de la PCB de conexión vertical.

Por tanto, así queda distribuida la capa de cobre en función de las señales a transportar (siempre manteniendo un margen de mínimo 0,3mm entre planos y respecto a los bordes de la PCB)

La idea inicial es que estas placas vayan ancladas a una estructura trasera. Para esto se añaden dos taladros de 5,5mm de diámetro. Se sitúan centrados en el eje de coordenadas X y con las siguientes alturas:

Tabla XXVII. Altura de los taladros de la PCB de conexión vertical.

Ítem	Valor
Altura taladro 1	154,25mm
Anchura taladro 2	109,25mm

Una vez añadidos se adaptan los planos de señal de datos y alimentación a estos taladros centrales.

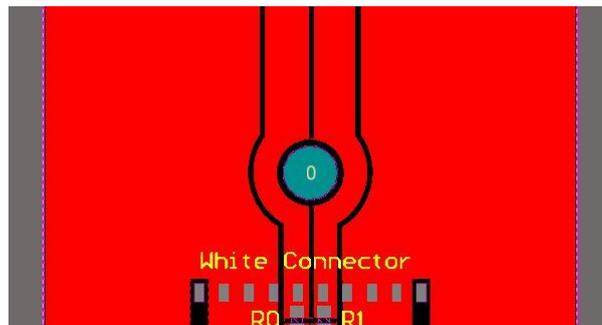


Figura 4.15. Taladro superior de la PCB de conexión vertical.

Posteriormente, se añaden los fiduciales para el posicionamiento de la placa en el montaje automático en máquina.

Por último, se añade la serigrafía donde aparece lo siguiente:

- Logo de la empresa
- Referencia de la placa
- Referencias de los conectores centrales
- Referencias de las resistencias de puente
- Referencias de los bloques de conectores separados en A, B, C y D.
- Flechas que indican la salida de cable de cada bloque conector

Para realizar el pedido se genera un panel compuesto por 4 circuitos. Este tiene una medida de 220 x 270mm. Se le añaden los bordes superior e inferior y los fiduciales para el posicionamiento en las máquinas de montaje automático de componentes de la misma manera que se hizo en el caso de la PCB Píxel White.

El resultado final es el siguiente:



Figura 4.16. Panel de PCB de conexión vertical.

En cuanto a la fabricación y el montaje se generan los archivos necesarios especificados en el diseño de la PCB Píxel Blanco. En cuanto al draftsman se añaden las notas necesarias para el montaje de cada una de las variantes posibles.

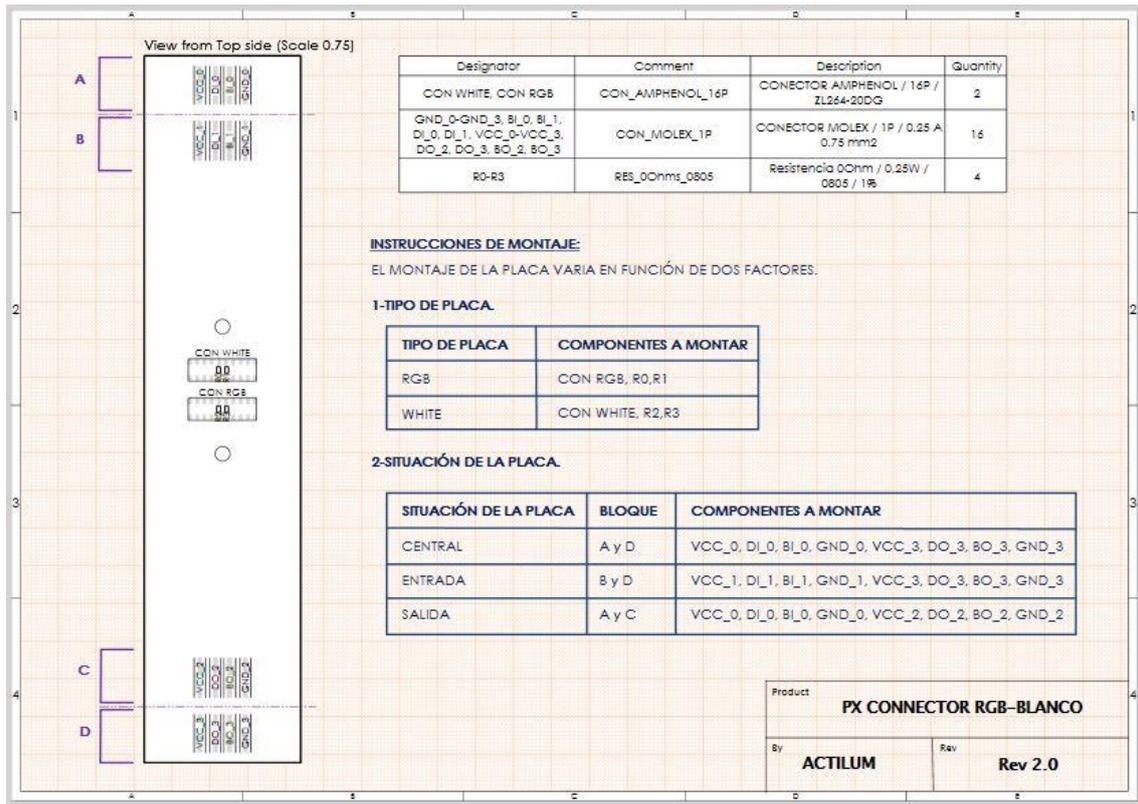


Figura 4.17. Draftsman de la PCB de conexión vertical.

4.2.2 PCB Conexión Horizontal

La placa de conexión vertical principalmente sirve de conexión entre columnas en la estructura trasera, no mantiene conexión con la PCB Píxel Blanco y no necesita ser anclada a ninguna estructura.

Como concepto, esta placa tiene que unir dos columnas de la estructura trasera. Ambas columnas formadas por PCBs de conexión vertical, que disponen de una distancia de 250mm de centro a centro. Por este motivo la PCB de conexión horizontal debe tener 300 milímetros para poder unir los conectores de salida de una con los de entrada de la otra, tal y como se observa en la figura 4.18.

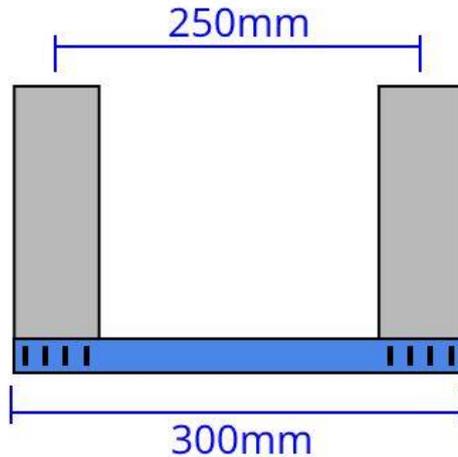


Figura 4.18. Esquema de medidas en la unión entre PCB conexión vertical y PCB conexión horizontal.

Siendo los polígonos en gris las PCBs de conexión vertical y en azul la PCB de conexión horizontal a diseñar en este apartado.

Por tanto, esta placa dispondrá de dos bloques de conectores rápidos situados en la misma orientación. Cada conector está separado 250mm respecto a su complementario, es decir, el primer conector del bloque izquierdo está a 250mm de distancia del primer conector del bloque derecho y así respectivamente.

En cuanto a la disposición de las pistas se ha tenido en cuenta que las PCB de conexión vertical a unir están giradas 180º una respecto a la otra, por lo que las señales a unir quedan distribuidas de la siguiente manera:

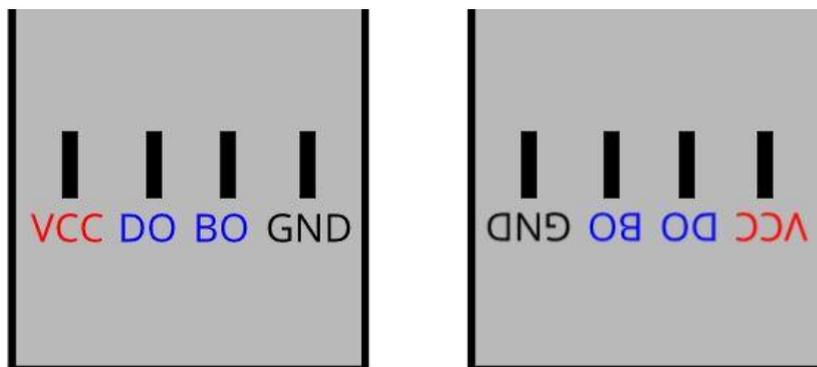


Figura 4.19. Disposición de conectores entre la salida de una columna y la entrada de la siguiente.

Por tanto, los planos de unión de dato tienen la siguiente disposición:

- Plano 1 – Plano central de forma rectangular encargado de unir los GND de ambas placas.
- Plano 2 – Plano en forma de U invertida, que embebe los pads de los conectores VCC con un plano situado en la parte superior de la PCB.

- Plano 3 y 4 – Planos en forma de U de unión de datos, situados en la parte inferior de la PCB.



Figura 4.20. Distribución de planos en la PCB de conexión horizontal.

Siendo:

Plano 1: Polígono rojo

Plano 2: Polígono negro

Plano 3 y 4: Polígonos Azules

Una vez distribuidos los conectores y situados los planos se insertan los fiduciales y la serigrafía. Esta incluye el logo de la empresa, la referencia de la placa y unas flechas indicando la dirección de los conectores.

Por último, se genera un panel formado por 5 unidades. La medida de este es de 300 x 220mm, siempre incluyendo los bordes superior e inferior de 10mm cada uno donde se añade la referencia del panel y los fiduciales.

Finalmente se extraen los archivos de fabricación y montaje comentados anteriormente.

4.2.3 Soporte 3D

Para la unión de la PCB píxel blanco y la PCB de conexión vertical se ha diseñado una pieza en impresora 3D para hacer de soporte entre ambas y mejorar la estabilidad. Se han realizado varias pruebas por lo que aún no hay un diseño definitivo.



Figura 4.21. Espacio entre la PCB de píxel blanco y la PCB de conexión vertical.

Todos los diseños tienen aberturas centrales para los conectores y unos salientes que encajan perfectamente con los taladros realizados en la PCB píxel blanco. Las impresoras utilizadas son las siguientes:

- Creality Ender 3
- Creality Ender 6

La altura de las piezas es de 80mm y las pruebas se han diseñado en PLA y PCET.

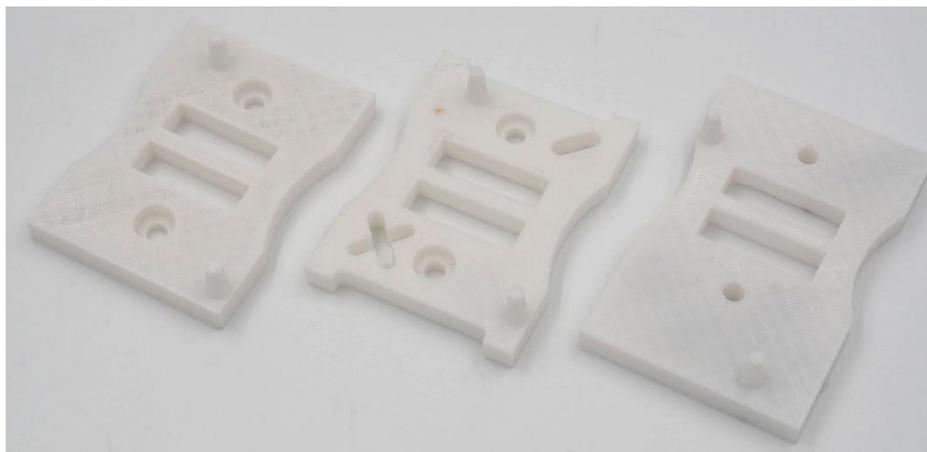


Figura 4.22. Diferentes modelos de soportes 3D.

4.2.4 Resultado

Una vez recibidas las PCB que forman la estructura trasera se realizan las pruebas pertinentes. Para empezar, se comprueba que todos los componentes están bien situados y sus soldaduras son correctas. Estas placas, al ser principalmente para transporte de señales, requieren pruebas de continuidad para verificar las conexiones y evitar cortocircuitos.

Finalmente se realiza una prueba uniendo dos PCB píxel blanco con este sistema e implementando el controlador píxel comentado anteriormente SP110E. El resultado es el esperado, las placas distribuyen las señales correctamente.

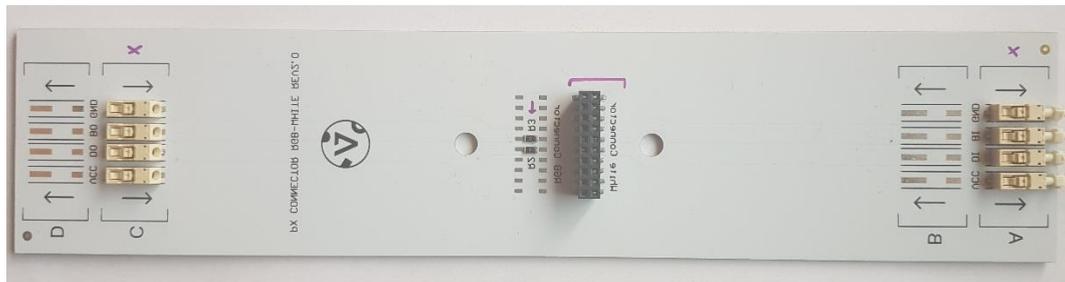


Figura 4.23. PCB de conexión vertical completa.



Figura 4.24. PCB de conexión horizontal completa.



Figura 4.25. Unión real entre la PCB de conexión vertical y la PCB de conexión horizontal.

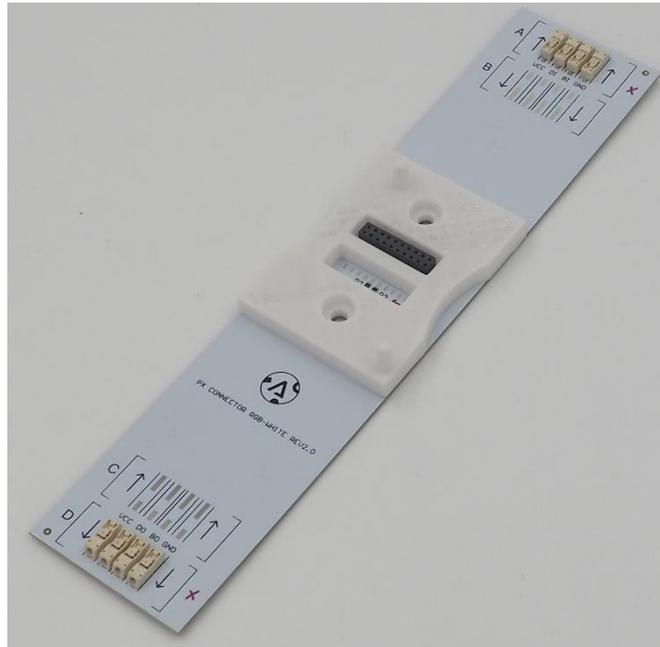


Figura 4.26. Unión entre PCB de conexión vertical y soporte 3D.

5 Interfaz de vídeo

En el siguiente apartado se detallan los protocolos y sistemas utilizados para el control y la transmisión de datos que permiten reproducir una escena videográfica en el sistema diseñado anteriormente. Estos sistemas se han seleccionado para satisfacer la necesidad de disponer de un sistema autónomo que únicamente necesite conexión a red eléctrica, es decir, que no tenga la necesidad de estar constantemente conectado a grandes servidores fijos.

5.1 Introducción

Hoy en día la mayor parte de los sistemas de iluminación se basan en el protocolo de control DMX512, acrónimo de Digital Multiplex. Este es un protocolo electrónico que permite la comunicación entre múltiples sistemas y equipos de control de luces.

DMX512 fue publicado por primera vez en el año 1986 por el USITT (Instituto Estadounidense para la tecnología y el teatro) y surge como solución a la gran incompatibilidad de sistemas que existía a causa de que cada entidad utilizaba su propio protocolo. Originalmente fue pensado para atenuadores de luz de diferentes fabricantes, pero rápidamente se convirtió en el protocolo más utilizado no únicamente para atenuadores de luz sino para cualquier aparato de iluminación y efectos de luz.

Un protocolo de comunicación no es más que una serie de reglas que permite que diversos elementos dentro de un mismo sistema se comuniquen para para transmitir información por medio de cualquier variación de una magnitud física. El protocolo DMX512 se basa en la utilización de canales. Cada canal no es más que un byte que proporciona un valor de 0 hasta 255

(Valores DMX). En iluminación, 512 canales constituyen un universo (Universo DMX), que es el límite del protocolo DMX. Cada universo emplea una transmisión en cadena entre nodos enlazados entre sí.

Antiguamente era suficiente con un único universo para un sistema de iluminación, pero en la actualidad, para sistemas más sofisticados esto no es suficiente. A raíz de esa necesidad, apareció el protocolo ArtNet que permite la transmisión de varios universos a través de un único cable, generalmente en una red de área local privada como Ethernet. [5]

Una vez conocidos los protocolos en los que se basa este proyecto, se muestran los elementos que deberían formarlo:

- Grabador y reproductor ArtNet DMX512

Encargado de almacenar secuencias ArtNet DMX512 y reproducirlas en bucle enviando la señal mediante Ethernet gracias al protocolo ArtNet.

- Convertidor Píxel

Encargado de recibir esta señal ArtNet y convertirla al protocolo píxel a recibir por el chip WS2811.

Por último, es necesario disponer de un software de interpretación audiovisual para poder mapear el vídeo a reproducir y pasarlo correctamente una única vez al grabador y reproductor ArtNet DMX512.

Esquema del sistema:

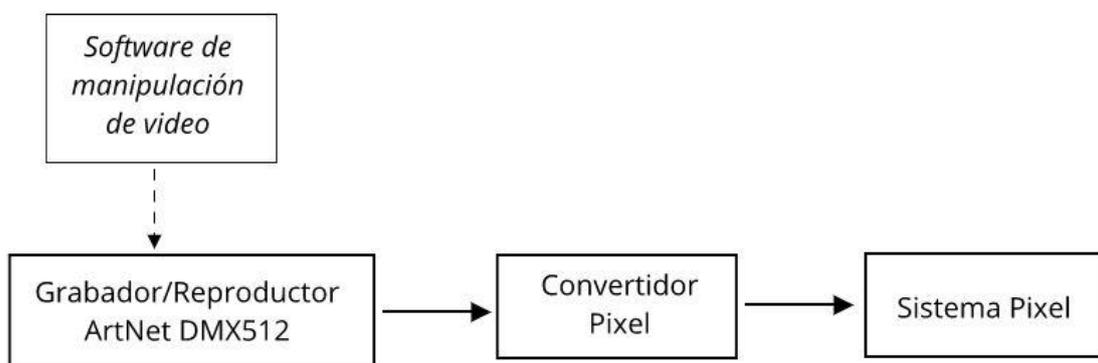


Figura 5.1. Esquema del sistema de control.

5.2 Tratamiento de vídeo / Mapeado

El tratamiento de vídeo se lleva a cabo mediante el software Resolume Arena 6, una herramienta de interpretación audiovisual que permite lanzar clips de vídeo y de audio, mezclarlos, mapearlos, aplicar efectos, etcétera.

Al abrir el programa, la pantalla se divide principalmente en 4 partes. La primera situada en la parte superior de la pantalla muestra los vídeos o escenas almacenados en el programa. Aquí permite tratarlos de manera individual, o unir más de uno en diferentes capas. En la parte inferior derecha se muestra el vídeo seleccionado con las modificaciones o parámetros configurados en tiempo real.

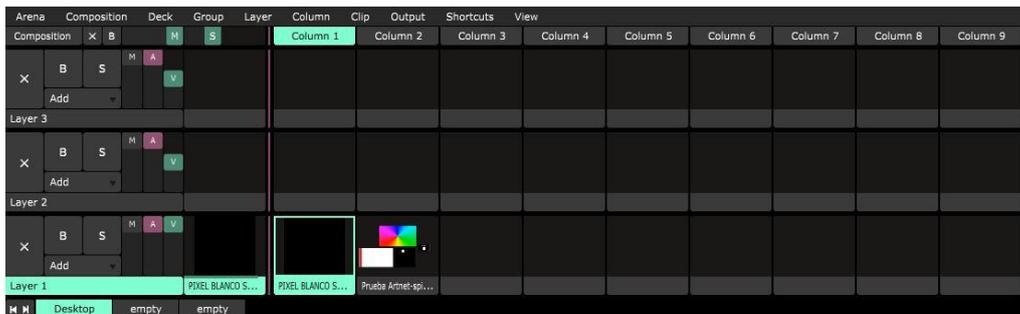


Figura 5.2. Parte superior de la pantalla principal del software Resolume Arena 6.

En la parte inferior central está situada la línea de tiempo del vídeo y el panel de control donde se pueden configurar las siguientes características:

- Velocidad de reproducción
- Opacidad
- Altura
- Anchura
- Posición en X
- Posición en Y
- Escala
- Rotación

Por último, en la parte inferior izquierda hay un pequeño resumen sobre el mapeado del vídeo. En este caso, mapear es indicar la ruta que va a seguir el dato para que el sistema pueda generar el paquete de datos en base a esta información.

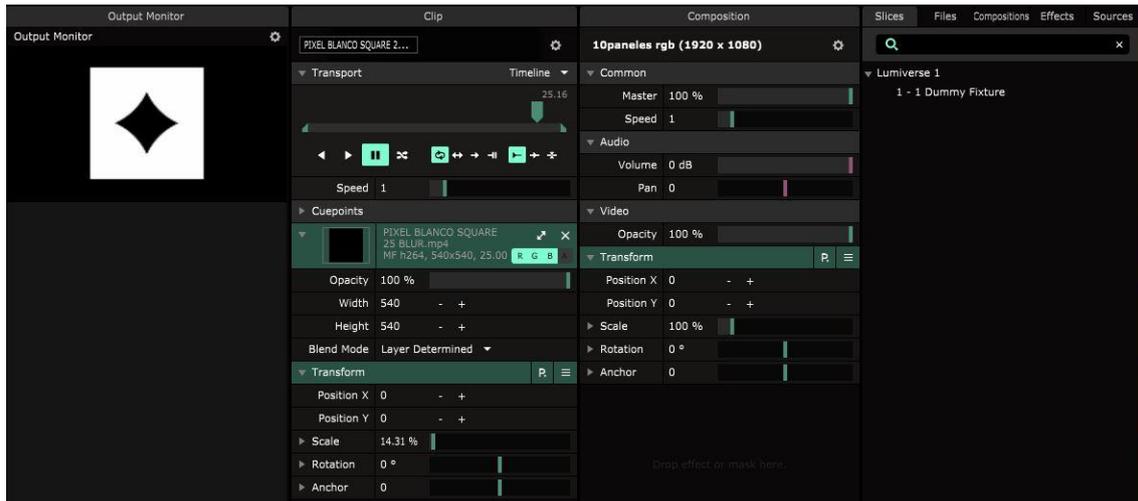


Figura 5.3. Parte inferior de la pantalla principal del software Resolume Arena 6.

El procedimiento a seguir durante el tratamiento de vídeo será el siguiente:

Acceder al software Resolume Arena 6

1. Insertar el vídeo

Hay dos maneras posibles de insertar el vídeo. La primera y más rápida es arrastrar el vídeo a una escena vacía y la segunda es hacer clic sobre una de las escenas vacías y hacer clic en 'Composition' >> 'Open' y seleccionar el vídeo.

2. Configurar los parámetros principales

Con la escena de vídeo seleccionada se accede al panel de configuración y se establecen los parámetros necesarios. En la mayoría de casos exclusivamente hay que configurar la escala, aunque en función del sistema es posible que haya que modificar la velocidad de reproducción del vídeo para poder obtener una reproducción óptima en el sistema Píxel.

3. Realizar el mapeado

Para realizar el mapeado se debe acceder a 'Output' >> 'Advanced...'. En la ventana que se abre se dispone en la parte izquierda de un apartado donde muestra los elementos de mapeo actuales y permite añadir nuevos. En la parte central aparece el vídeo con el patrón de mapeo configurado y por último a la derecha el panel de configuración.

El primer paso es añadir un universo, para ello hay que situarse a la izquierda del panel, hacer clic sobre el símbolo '+' y seleccionar *DMX universe*. Una vez seleccionado este hay que volver a hacer clic sobre el símbolo '+' y seleccionar *DMX Fixture* para añadir un elemento de la estructura.

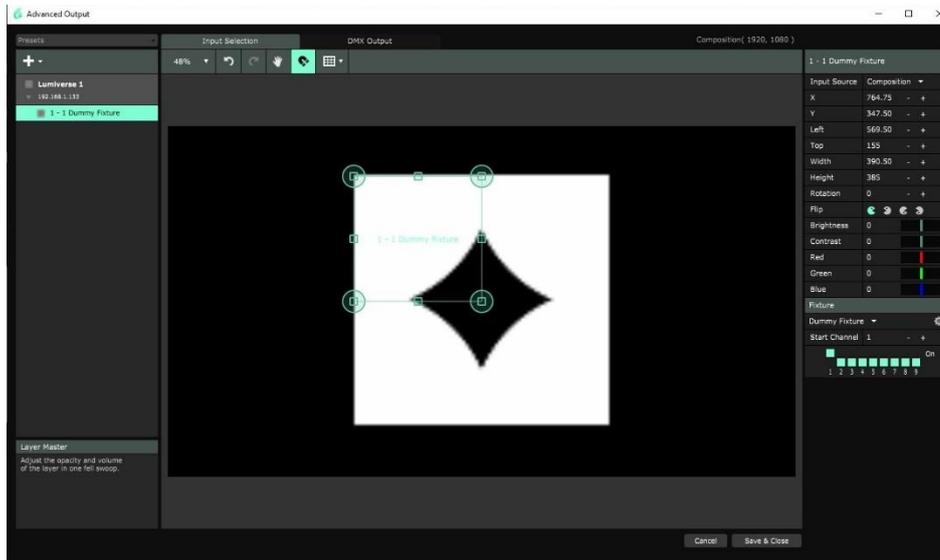


Figura 5.4. Ventana de mapeo de Resolume Arena 6.

Haciendo clic sobre este elemento aparece su configuración en la parte izquierda, en el apartado de fixtures se puede modificar al gusto. Se abre una ventana que permite configurar diferentes modelos configurando lo siguiente:

- Número de LEDs en el eje X
- Número de LEDs en el eje Y
- Tipo de píxel

En este punto se indica si el sistema es simple, RGB, RGBW, etcétera. De esta manera el sistema configura el número de canales por píxel.

- Distribución

En este punto se define la entrada de dato y el camino a seguir por el mismo en función de la matriz definida.

Para el sistema diseñado se puede configurar un panel completo (Figura 5.5)

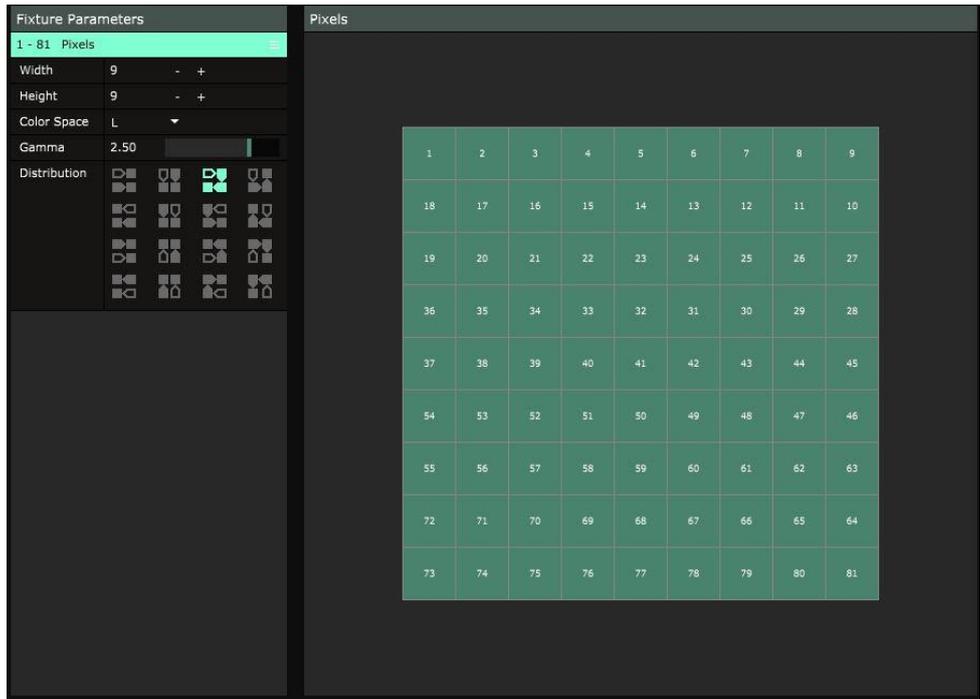


Figura 5.5. Mapeo de un panel completo en Resolume Arena 6.

Una única fila (figura 5.6)

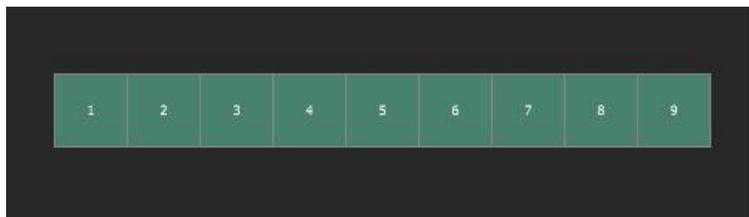


Figura 5.6. Mapeo de una fila en Resolume Arena 6.

O un único canal/LED (figura 5.7)



Figura 5.7. Mapeo de un canal en Resolume Arena 6.

Una vez definido el modelo, se realiza el mapeado con el número de placas, filas o canales necesarios. Al situarlas automáticamente se configuran con los canales correspondientes. A la hora de situarlos se debe tener en cuenta el orden y la orientación que van a tener esas placas, es decir, si la primera placa almacena los primeros 81 canales del 1 al 81, la segunda almacena el mismo número de canales, pero en este caso van del 82 al 162. El mapeado debe seguir la estructura física del sistema para asegurar que posteriormente la secuencia de reproducción sea la correcta. De la misma manera, si se pasa de una columna a otra donde las placas giran 180º una respecto a la otra, es necesario realizar este giro a la hora de mapear.

Por último, una vez realizado el mapeado completo es necesario configurar la IP del dispositivo en el que posteriormente se realizará la grabación, una vez hecho esto el sistema ya está listo para realizar la grabación.

5.3 Reproductor de vídeo

El dispositivo reproductor de vídeo tiene que estar compuesto por un servidor que permita almacenar la escena en secuencias ArtNet DMX512 y reproducirla en bucle.



Figura 5.8. Raspberry PI modelo B.



Figura 5.9. Raspberry PI modelo B con carcasa 3D.

Tras una larga investigación de diferentes softwares y dispositivos, se ha optado por utilizar una Raspberry Pi 3 modelo B con el software PIXOUT ARTNET RECORDER desarrollado por la empresa PIXOUT.

Raspberry Pi es un ordenador de placa única de bajo coste desarrollado en Reino Unido. Este es uno de los ordenadores de placa única más extendidos mundialmente, no únicamente por su precio reducido sino por su versatilidad. Es un elemento con infinidad de usos y con las siguientes especificaciones:

- CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM
- Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE
- Ethernet: Gigabit (300 Mbps)
- GPIO (40 pines)
- HDMI
- USB 2.0 (4 Puertos)

- Puerto CSI (Para cámaras).
- Puerto DSI (Para pantallas táctiles)
- Salida de audio y vídeo
- Micro-SD
- Power-over-Ethernet (PoE)

Para poder utilizar Raspberry en cualquiera de sus múltiples posibilidades, es necesario disponer de un sistema operativo instalado en una tarjeta SD, lo que se conoce como imagen de software. Esto no es más que un código almacenado en un archivo que al ser grabado en el dispositivo permite acceder automáticamente al encenderse. [13]

PIXOUT ARTNET RECORDER es una imagen de software desarrollada únicamente para Raspberry PI 3 modelo B. Este es un software muy intuitivo que permite tomar secuencias ArtNet DMX512 y almacenarlas internamente para reproducirlas como se le indique. Permite grabar una gran cantidad de archivos llamados cues y admite varias señales de disparo como ArtNet DMX, MIDI, GPIO, UDP, HTTP, Android, iOS... para pasar de una grabación a otra.

Una vez instalada la imagen de PIXOUT en la Raspberry y para realizar la grabación se deben seguir los siguientes pasos:

1. Configurar la IP de la Raspberry en el puerto Ethernet del ordenador con el que realizar la grabación

Accediendo a 'Configuración de red e internet' >> 'Ethernet' >> 'Cambiar opciones del adaptador' >> 'Ethernet' e insertando la IP de la Raspberry.

2. Conectar mediante cable de red Ethernet la Raspberry y el PC
3. Acceder a la imagen de PIXOUT

Acceder mediante un navegador insertando la siguiente dirección:

- <http://X.X.X.XXX/px-admin>

Siendo X.X.X.XXX la IP de la Raspberry.

4. Realizar la grabación

Una vez realizado el punto 3 se accede a la pantalla principal, donde aparecen las grabaciones almacenadas actualmente en la Raspberry.

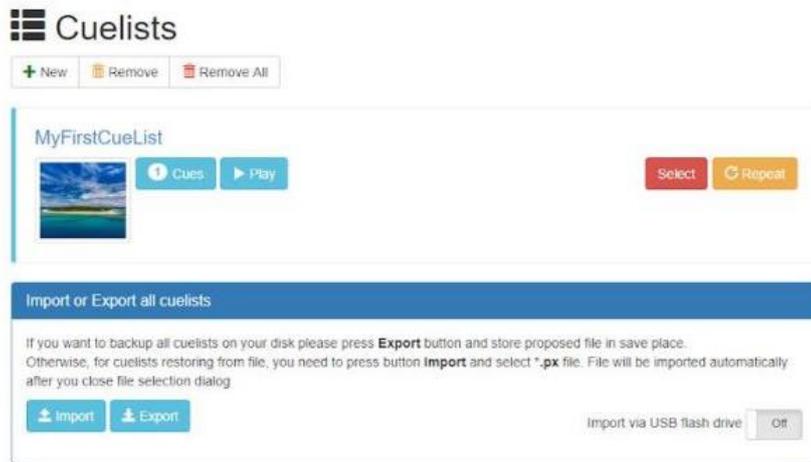


Figura 5.10. Pantalla principal imagen de software PIXOUT ARNET RECORDER.

Para empezar, se debe hacer clic en 'NEW' con lo que se accede a una ventana en la que configurar el nombre de la grabación y los frames por segundo de esta. A continuación, con el software Resolume Arena 6 configurado como se ha comentado en el punto anterior, se debe pulsar 'REC' e inmediatamente reproducir el vídeo en Resolume Arena 6, el sistema PIXOUT reconoce automáticamente el vídeo gracias a la IP configurada y lo empieza a grabar.

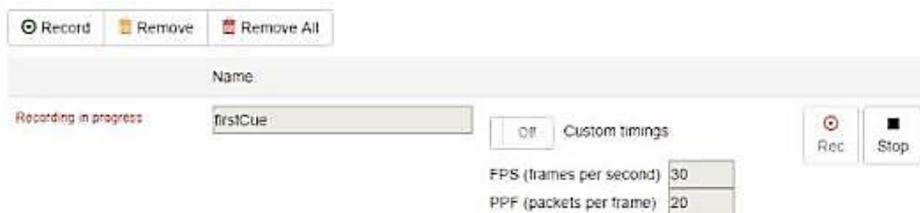


Figura 5.11. Ventana de grabación de escena.

Al finalizar la grabación el software PIXOUT abre una ventana donde se deben insertar el número de universo o universos a enviar, la IP por la que enviarlos y el puerto de la siguiente manera:

- <Universe>:<IP>:<Port>

Una vez configurado esto, el programa accede de nuevo a la pantalla principal donde aparece la grabación realizada como una de las almacenadas en la Raspberry. El último paso es hacer clic en 'Play', de esta manera el dispositivo deja reproduciendo la escena.

5.4 Convertidor

El convertidor es un elemento que hace de nexo entre el reproductor de vídeo y el sistema píxel diseñado. Se encarga de recibir mediante Ethernet la señal ArtNet DMX512 y adaptarla para poder ser interpretada por el chip WS2811.

Para este prototipo se ha decidido usar el convertidor PixLite 4 MK2 de la empresa ADVATEK LIGHTING. Este es un controlador píxel de alta capacidad que admite hasta 24 universos de ArtNet y un universo adicional de datos en una salida DMX512. Este funciona para una amplia gama de protocolos de píxeles, entre otros el WS2811.

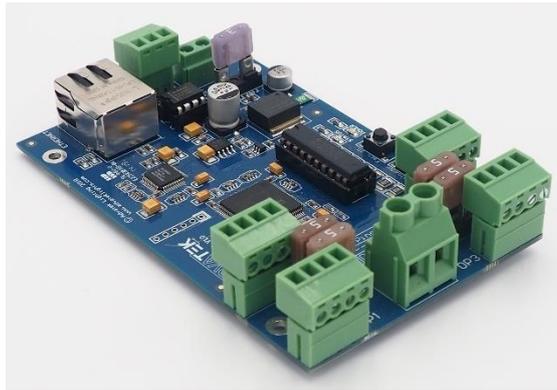


Figura 5.12. Advatek PixLite 4 MkII.

Sus especificaciones son las siguientes:

Tabla XXVIII. Especificaciones Advatek PixLite 4 MkII.[12]

Ítem	Valor/Tipo
Voltaje de alimentación	5V - 24V CC
Corriente de funcionamiento	0,2A a 5V
Límite total	30A
Corriente por salida	7,5A
Salidas estándar	4
Salidas ampliadas	8
Universos	25
Píxeles salida (chips) / salida	1024

Para su uso, debe conectarse a este el cable Ethernet proveniente de la Raspberry y extraer de la primera salida el dato a conectar en el sistema píxel.

6 Prototipo Final

En este apartado se comenta el montaje y las especificaciones del prototipo final construido. Este se basa en un sistema compuesto por 6 PCB píxel blanco formando una matriz de 2 x 3 con una medida total de 500 x 750mm.

Se forma la estructura diseñada en este proyecto y se implanta en un marco de Aluminio al que se le introducen unos travesaños que son los encargados de sostener la estructura. Una vez realizado el montaje de la estructura y su test correspondiente, se ha llevado a cabo el tratamiento de vídeo y la grabación en la Raspberry PI 3 modelo B con el software de PIXOUT. Se completa el circuito de control añadiendo el convertidor de la marca Advatek y se procede a alimentar todo el sistema con una única fuente de alimentación de 5V. Finalmente, después de realizar las comprobaciones necesarias se añade una tela delantera con el diseño deseado y una tela trasera autoblocante que prohíbe el paso de la luz.

6.1 Estructura

En el montaje de la estructura se han utilizado los siguientes elementos:

Tabla XXIX. Elementos utilizados en el montaje de la estructura.

Elemento	Unidades
PCB Píxel Blanco	6
PCB Conexión Vertical	6
PCB Conexión Horizontal	2
Marco Aluminio 550mm de largo	2
Marco Aluminio 800mm de largo	2
Escuadras	8
Prisioneros	16
Soportes 3D	6

Travesaños 520 mm de largo	3
Remaches plásticos	12
Tornillos metálicos M3	12
Tornillos Nylon M3	2
Pines 1 polo	20

Los marcos de aluminio que forman la estructura externa disponen de extremos en ángulo de 45° para poder realizar uniones de 90° entre ellos, este ángulo provoca que entre el largo interior y el exterior haya una diferencia de 15mm por lado. Se da un margen interno de 1mm para que al insertar las PCBs el sistema no pierda luminosidad. Por lo que las medidas internas y externas de los marcos son las siguientes:

Tabla XXX. Medidas de los marcos de aluminio.

Elemento	Ítem	Valor
Marco 1	Largo interno	520
Marco 1	Largo externo	550
Marco 2	Largo interno	770
Marco 2	Largo externo	800

Las uniones de estos se realizan introduciendo unas escuadras de aluminio en sus extremos y fijándolas con prisioneros. Son necesarias 2 escuadras por unión y 2 prisioneros por escuadra.



Figura 6.1. Escuadra y prisioneros de unión de marcos.

Con la estructura ya cerrada se insertan los travesaños de aluminio. Cada uno de estos a una distancia exacta de 250mm de centro a centro y en cada uno de los extremos una distancia de 126mm del centro del travesaño al marco de aluminio. A estos se les hacen 4 agujeros para insertar las PCB de conexión vertical a las siguientes medidas:

Taladros entrada:

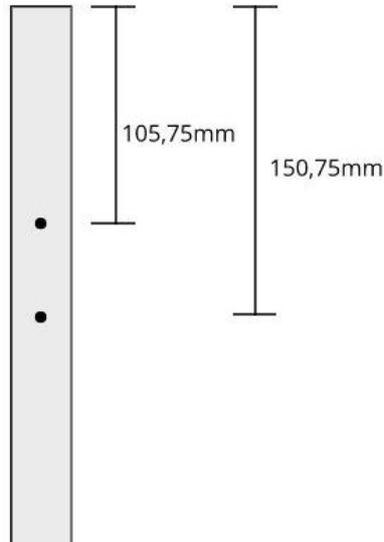


Figura 6.2. Distancias taladros superiores del travesaño.

Taladros salida:

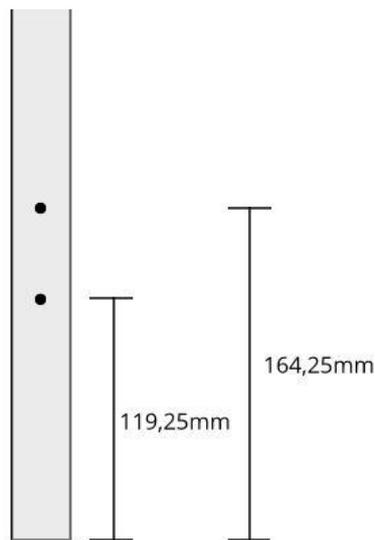


Figura 6.3. Distancias taladros inferiores del travesaño.

Una vez situados los taladros, se sitúan una a una las placas de conexión horizontal junto al soporte 3D y se colocan los remaches para fijar ambas placas al travesaño.

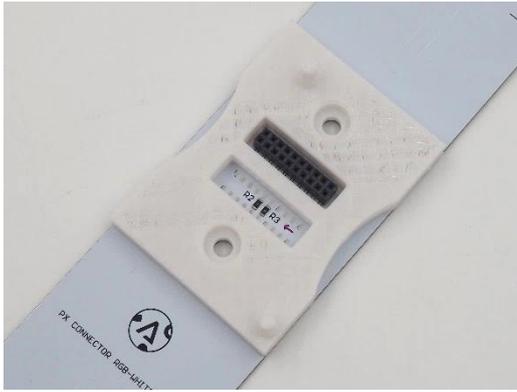


Figura 6.5. Detalle de los taladros para remaches.

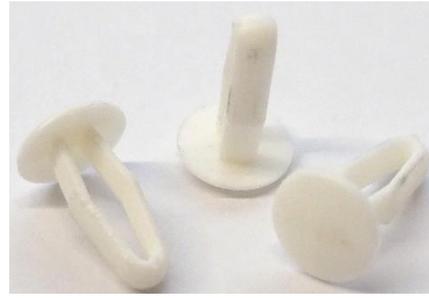


Figura 6.4. Remaches plásticos.

La unión entre placas se realiza mediante pines de conexión rápida de un sólo polo, son necesarios 4 pines para unir dos placas. Una vez hecho esto se sitúan las dos PCBs de conexión horizontal dejando así cerrada la estructura trasera, la unión se realiza mediante los mismos pines de conexión.

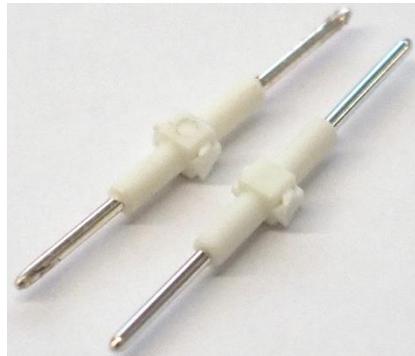


Figura 6.6. Pin de conexión rápida de un polo.

Finalmente, se insertan a esta estructura las PCBs de píxel blanco y el esqueleto del sistema ya estaría completo.

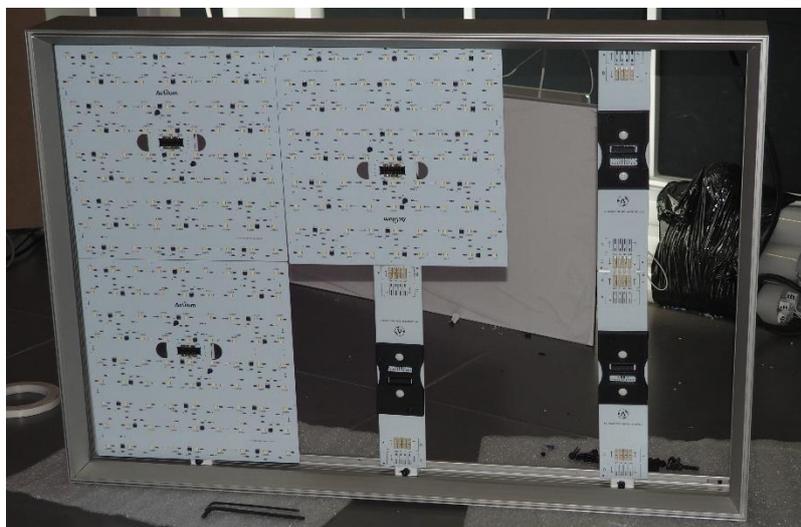


Figura 6.7. Sistema parcialmente completo vista delantera.



Figura 6.8. Sistema parcialmente completo vista trasera.

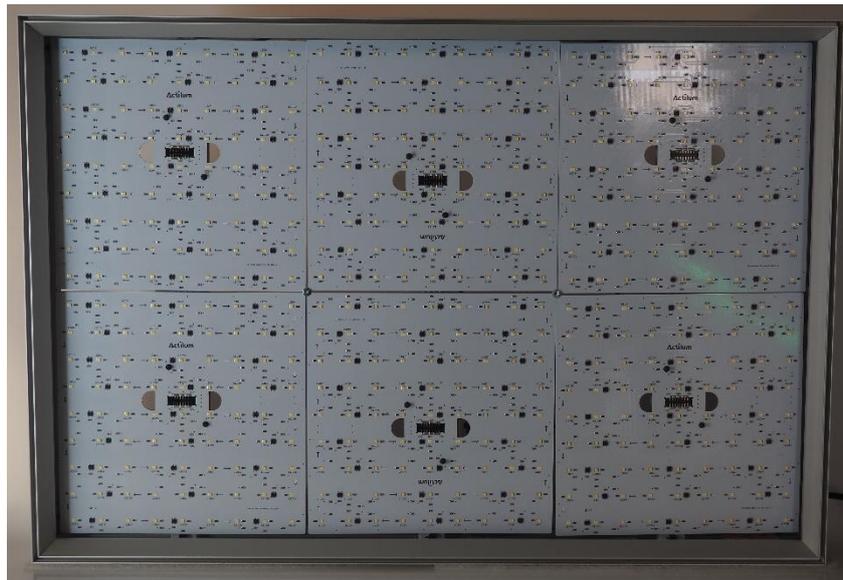


Figura 6.9. Sistema completo vista delantera.



Figura 6.10. Detalle de la esquina superior izquierda del sistema completo.

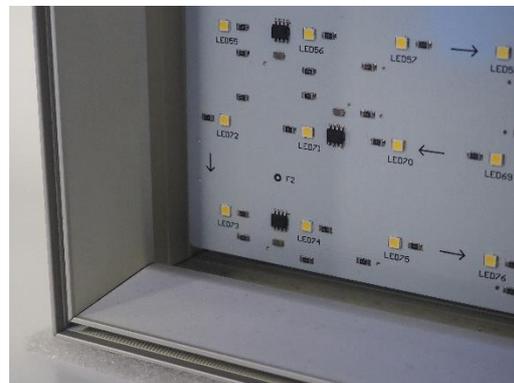


Figura 6.11. Detalle de la esquina inferior izquierda del sistema completo.

Para añadir algo más de estabilidad al sistema, se sitúan dos tornillos en las uniones entre 4 paneles. Inicialmente estos eran metálicos como se puede observar en la figura 6.12, pero

finalmente se implementaron de nylon para evitar posibles uniones entre capas y como consecuencia cortocircuitos.

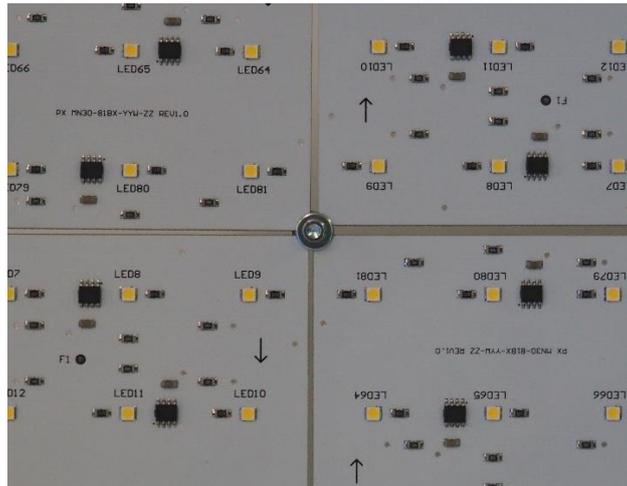


Figura 6.12. Detalle unión central de paneles.

6.2 Control

Respecto al control del sistema, lo forman los siguientes elementos:

- Raspberry PI 3 Modelo B
- Software PIXOUT ArtNet recorder
- Convertidor Advatek Pixlite 4 MK2
- Fuente de alimentación MeanWell LPV 60-5
- Cable de alimentación Schuko
- Cable Ethernet
- Cable 0,75mm²

Inicialmente se realiza el tratamiento de vídeo como se ha comentado durante el proyecto y se graba en la Raspberry PI 3 modelo B con el software PIXOUT.

Una vez hecho esto, se realizan las siguientes conexiones:

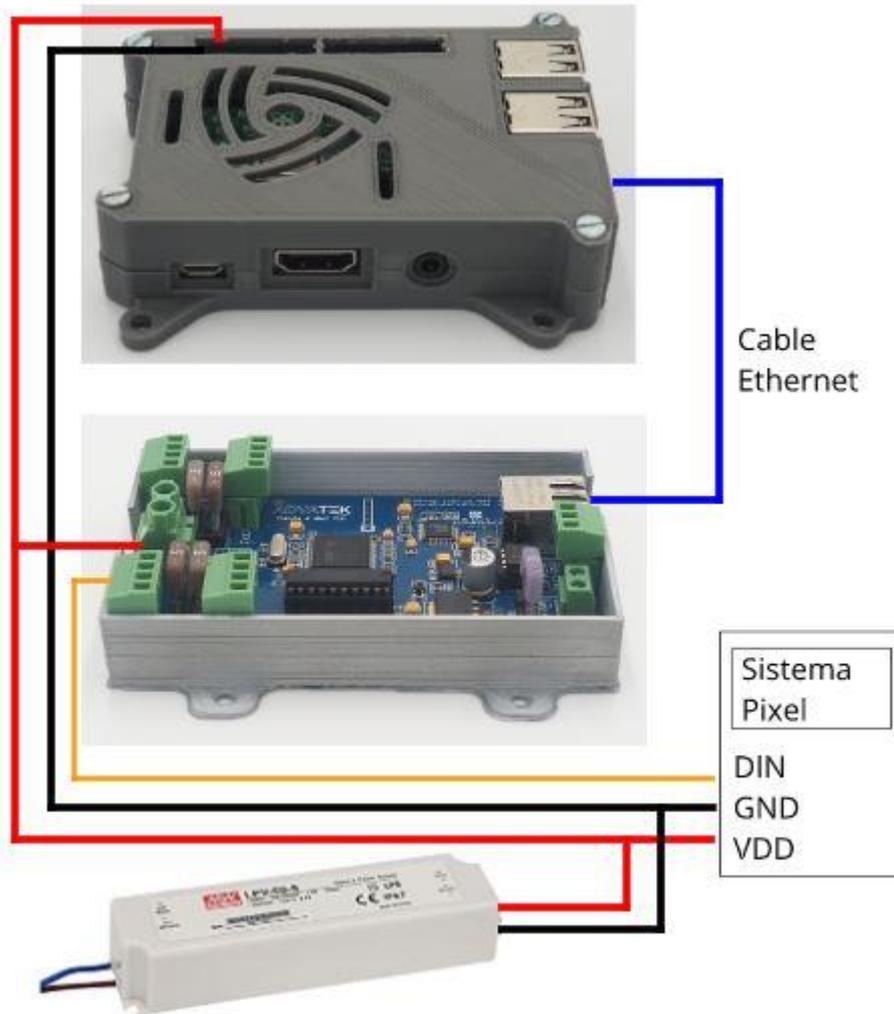


Figura 6.13. Esquema de conexiones del sistema de control.

Como se puede observar en la figura 6.13, tanto la Raspberry como el convertidor quedan unidos mediante Ethernet gracias al sistema ArtNet. Un extremo de fuente de alimentación abastece a todo el sistema completo alimentando la Raspberry, el convertidor y el sistema píxel, mientras que en el otro se conecta un cable tipo Schuko que permite la conexión a la red eléctrica.

Finalmente, se extrae del convertidor la señal de dato de entrada y se introduce en el sistema píxel. Todo este conexionado se implementa físicamente tras el sistema píxel, se ancla sobre una base de PMMA atornillada entre dos de los travesaños.

Una vez hecho, se comprueban bien todas las conexiones para minimizar los posibles errores y se procede a testear el sistema. El resultado es el siguiente:

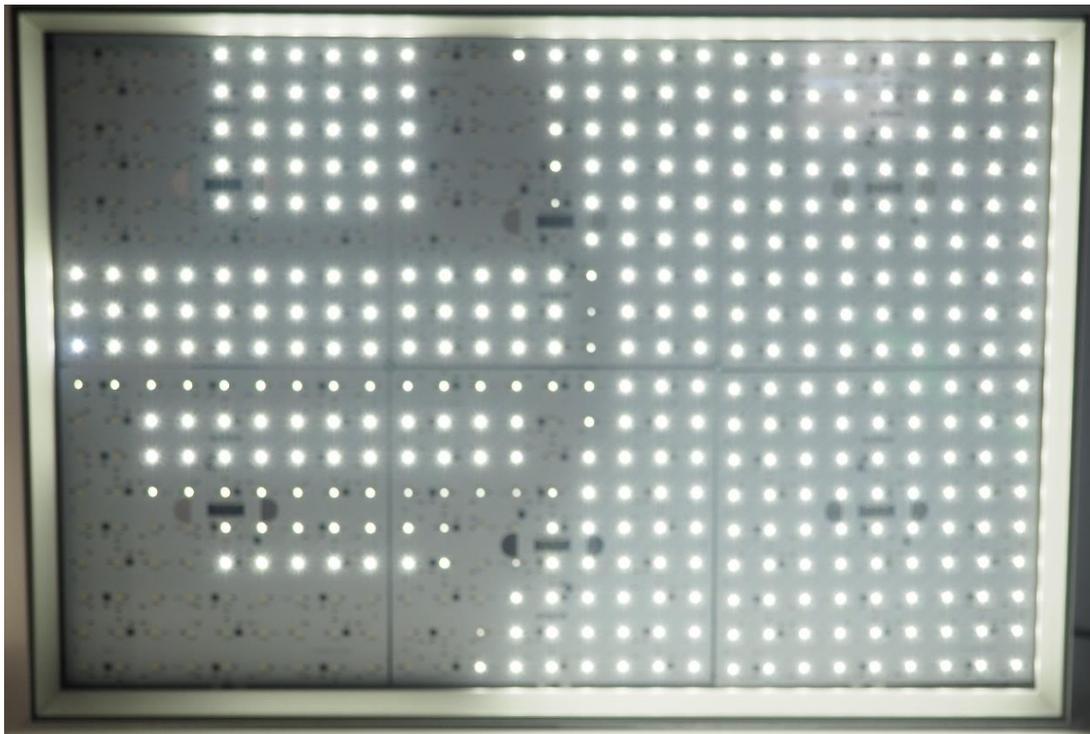


Figura 6.14. Sistema completo reproduciendo una escena.

Como se puede observar el sistema funciona correctamente. Por último, se inserta tanto la tela delantera como la trasera. Ambas telas tienen un borde de silicona que permiten su introducción por los extremos del marco de aluminio asegurando una correcta fijación al sistema.



Figura 6.15. Sistema completo con la tela delantera parcialmente colocada.



Figura 6.16 Prototipo completo sin iluminación.



Figura 6.17. Prototipo completo reproduciendo escena parte 1.



Figura 6.18. Prototipo completo reproduciendo escena parte 2.



Figura 6.19. Prototipo completo reproduciendo escena parte 1.

7 Análisis del impacto ambiental

Se define como impacto ambiental el efecto causado por diversas actividades humanas en el medio ambiente, independientemente de si es a corto o largo plazo. Los estudios de impacto ambiental analizan los impactos de un proyecto o actividad sobre el medio ambiente con el objetivo de prevenir posibles los daños y sus efectos negativos.

Actualmente la cantidad de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) es cada vez mayor llegando a alcanzar cifras de hasta 50 toneladas anuales. Se conoce como RAEE como los componentes eléctricos y electrónicos de uso diario que al dejar de funcionar se vuelven inservibles y se desechan. La legislación de estos viene marcada por el Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero donde se define lo que es un RAEE y se detalla el modelo de gestión eficiente para ellos.

Por otra parte, la directiva 2002/95/EC conocida como RoHS establece y garantiza la restricción de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos. En vigor desde 2006 restringe el uso de materiales como el plomo, mercurio y cadmio entre otros. Todos los elementos que componen este proyecto siguen esta normativa.

Una vez finalizada la vida útil del producto, se seguirá la directiva de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos WEEE, 2002/96/CE, en vigor desde 2005 en toda la Unión Europea con modificación en el año 2012 (2012/19/UE). Esta tiene como objetivo promover el reciclaje, la reutilización y recuperación de dichos residuos para reducir su contaminación.

Siguiendo todas estas normativas se espera reducir al mínimo los residuos generados en este proyecto.

8 Conclusiones

8.1 Conclusión general

Este proyecto tenía como objetivo principal realizar un prototipo funcional, con el estudio y el desarrollo que esto conlleva, de un lightbox dinámico. Principalmente se ha basado en el diseño de una PCB principal y de varias secundarias que en conjunto permiten formar estructuras modulares de 250 en 250 mm. Era fundamental encontrar una unión entre hardware y software de tal manera que se obtuviese un sistema cerrado con una cierta funcionalidad y sin necesidad de tener conectado un servidor o PC.

Una vez realizado el prototipo se puede decir que el sistema ha cumplido con éxito estos objetivos, consiguiendo unificar todos los sistemas que lo componen hasta formar un producto funcional.

Una de las etapas más duras del desarrollo del prototipo ha sido el estudio y diseño de las PCB. Para empezar por la gran cantidad de horas invertidas al estudio e investigación del uso del programa de diseño electrónico Altium Designer. Pero también por la propia complejidad de diseñar un circuito impreso donde todo elemento que pase a formar parte del diseño tiene unas especificaciones y una razón de ser que hay que tener en cuenta a la hora de escoger el adecuado. Por otra parte, en el diseño de nuevos productos pocas veces se realiza un único diseño y se acaba implementando en el prototipo final. En este proyecto se ha especificado el diseño y la implementación de las PCB finales, durante el desarrollo ha habido varias versiones de cada una de las PCB. En total se han realizado aproximadamente 6 diseños diferentes que han acabado culminando en las 3 PCBs descritas en esta memoria.

El circuito de control ha cumplido con las especificaciones necesarias. El hecho de utilizar un protocolo como ArtNet que permite la transmisión de datos vía Ethernet hace que el sistema sea mucho más robusto y seguro, permitiendo distribuir la señal varios metros sin introducir ruido al sistema.

Por último, comentar que este sistema tiene un gran beneficio respecto a otros productos similares. La mayoría de productos y sistemas enfocados al retail tienen una vida útil muy corta, esto es a causa de que en la mayoría de establecimientos la publicidad no dura más de varios meses en función del producto y la época del año. Por este motivo grandes elementos de iluminación, diseño y mobiliario acaban desechándose después de pocos meses de uso. En este caso, este sistema permite variar el contenido acorde a las especificaciones del usuario. Se puede cambiar de publicidad de dos formas distintas. La primera es cambiando únicamente la tela delantera y respetando el estilo de la publicidad, por lo que la misma escena podría utilizarse sin problema para varias telas diferentes indistintamente del producto a publicitar. La segunda forma

es variando tanto la tela como la programación de la escena, esto tendría un coste más elevado, pero nada en comparación a desechar el sistema completo y remplazarlo por otro.

8.2 Futura línea de desarrollo

Este proyecto deja un gran camino abierto para seguir con su desarrollo. Para empezar algunos puntos a seguir para un prototipo posterior serían los siguientes:

- Puesto que en este proyecto se ha montado un prototipo un primer paso es estudiar cada uno de los subelementos que lo forman y definir las marcas y medidas correctas de cara a la producción final de este. Elementos como remaches, tornillería, travesaños...
- Substituir el convertidor PIXOUT por un convertidor de diseño propio, esto reduciría considerablemente el coste del sistema completo.
- Definir la unión de los elementos de control (Raspberry PI, convertidor...) al sistema físico formado por la estructura de PCBs, los travesaños y el marco de aluminio.

Por otro lado, el proyecto actual es un elemento de un proyecto superior. El concepto es realizar una serie de circuitos impresos basados en el chip WS2811 que permitan la unión con el prototipo diseñado en este proyecto mediante la señal de dato y que tengan las siguientes funcionalidades:

- Placa de motor

Diseño de una placa que permita el control de un motor mediante las señales PWM del chip WS2811. Utilizando la primera señal como freno, la segunda para definir la velocidad y la tercera la dirección de giro.

- Placa de Relés

Diseño de una placa que permita la activación de varios relés mediante las señales PWM del chip WS2811. Utilizando cada una de las señales para definir el estado de un relé.

- Placa de Dimmer

Diseño de una placa que permita atenuar cualquier tipo de sistema de iluminación mediante las señales PWM del chip WS2811. Utilizando cada una de las señales para definir una potencia de luz.

La idea es poder formar grandes sistemas donde con una única escena de vídeo se coordinen diversos elementos permitiendo sincronizar luz y movimiento.

9 Análisis económico

El estudio del análisis económico de este proyecto engloba cada uno de los sistemas y servicios utilizados durante la realización de este. Desde el montaje del prototipo hasta la redacción de la memoria.

Se ha dividido en los siguientes bloques:

- Material
 - PCB + Componentes
 - Control
 - Potencia
 - Otros
- Mano de obra

Este tipo de proyectos habitualmente tienen un coste muy elevado a causa de la cantidad de horas empleadas en el estudio, diseño, montaje y desarrollo del mismo. En este caso se ha implementado un precio por hora para la mano de obra de 20 €/hora, siendo este una estimación del sueldo por hora de un Ingeniero Electrónico, Industrial y Automático titulado.

A continuación, se muestra el desglose general de los costes. En el apartado de PCB + componentes se da el precio total incluyendo la fabricación del circuito impreso, los componentes y el montaje de estos. En el Anexo se encuentra el desglose de los costes para cada una de estas PCB.

Material

PCB + Componentes

Tabla XXXI. Costes de las PCB montadas.

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UD.	PRECIO COSTE TOTAL
PCB PÍXEL BLANCO	6	24,4275€	146,565€
PCB CONEXIÓN HORIZONTAL	6	6,7908€	40,7448€
PCB CONEXIÓN VERTICAL	2	4,9028€	9,8056€
TOTAL			197,1154€

Control

Tabla XXXII. Costes de los elementos del sistema de control.

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UD.	PRECIO COSTE
PIXOUT SD 4 UNIV.	1	60€	60€
RPI 3 MODEL B	1	40€	40€
ADVATEK	1	100€	100€
TOTAL			200€

Potencia

Tabla XXXIII. Costes de los elementos de alimentación del sistema.

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UD.	PRECIO COSTE
FUENTE LPV 60-5	1	11,8€	11,8€
CABLE SHUCKO	1	5€	5€
TOTAL			16,8€

Otros

Tabla XXXIV. Costes de otros elementos del sistema.

DESCRIPCIÓN	UNIDADES/M	PRECIO UD/M	PRECIO COSTE TOTAL
MARCOS ALUMINIO	2,5	6,11€	15,275€
ACCESORIOS MARCOS	2	2,5€	5€
TRAVESAÑO ALUMINIO	3	4€	12€
TELAS	1	21€	21€
CABLEADO	1	5€	5€
TORNILLERIA	6	0,2€	1,2€
AMORTIZACIÓN EQUIPO INFORMATICO	0,25	1500€	375€
RESOLUME ARENA	0,25	799€	199,75€
ALTIUM DESIGNER	0,25	3493,4€	873,35€
PIEZAS 3D	6	0,94€	5,64€
OTROS	1	20€	20€
TOTAL			1533,215€

Mano de obra

Tabla XXXV. Costes de la mano de obra.

DESCRIPCIÓN	HORAS	PRECIO HORA	PRECIO COSTE TOTAL
MONTAJE	30	20€	600€
MAPEADO	10	20€	200€
DISEÑO	200	20€	4000€
INVESTIGACIÓN	150	20€	3000€
MEMORIA DEL PROYECTO	100	21€	2100€
TOTAL			9900€

Coste total

Tabla XXXVI. Coste total del proyecto.

PCB + COMPONENTES	197,115€
CONTROL	200€
POTENCIA	16,8€
OTROS	1533,215€
MANO DE OBRA	9900€
COSTE TOTAL	11847,13€

El precio de coste total del proyecto asciende a 11847,13€.

En cuanto al sistema, suponiendo una fabricación continuada o en serie y, por tanto, eliminando los costes de desarrollo y diseño, se estima que podría tener un precio de coste aproximado de 580€. Con esto como base, fija un precio de venta aproximado de 1447,6€ para obtener un margen bruto del 60%.

Referencias

- [1] J.I.Huircán. Filtros Activos, Conceptos Básicos y Diseño. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de La Frontera, 2012. [Consulta: 20 mayo 2021].
- [2] Salazar, J.; Silvestre, S.; Marzo, J. Proceso de diseño y fabricación de una placa de circuito impreso (PCB) [en línea]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2020. [Consulta: 27 mayo 2021].
- [3] Jordan Andrés Abarca Morales. TRAJE LED NEOPIXEL [en línea]. Chile: Universidad técnica Federico Santa María, 2020. [Consulta: 18 mayo 2021].
- [4] Gilleo, K., Murray, J. The definitive history of the printed circuit. 1999. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.453.2575&rep=rep1&type=pdf>[Consulta: 21 mayo 2021].
- [5] Simon Newton. Performance of the ArtNet Protocol Over Wireless Networks [en línea], Julio 2005.
- [6] OTU CINEMA S.L. Instalación Interactiva: Star Wars Troopers en el Corte Inglés de Callao. Madrid, 2015. Disponible en: <http://otucinema.com/star-wars-troopers-en-el-corte-ingles-de-callao> [Consulta: 2 junio 2021].
- [7] Digital AV. El escaparate del flagship de Nike en Barcelona es ahora interactivo. Madrid: 2013. Disponible en: <https://www.digitalavmagazine.com/it/2013/02/28/el-escaparate-del-flagship-de-nike-en-barcelona-es-ahora-interactivo/> [Consulta: 2 junio 2021].
- [8] Texas Instrument. Ethernet devices to build a better network. Disponible en: <https://www.ti.com/interface/ethernet/overview.html> [Consulta: 29 mayo 2021].
- [9] Adafruit. WS2811 - Signal line 256 Gray level 3 channel Constant current LED drive IC. 2018. Disponible en: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2811.pdf> [Consulta: 5 junio 2021].
- [10] Matlab. Analice y diseñe sistemas de control en el dominio de la frecuencia con diagramas de Bode. 2021. Disponible en: <https://es.mathworks.com/discovery/bode-plot.html> [Consulta: 20 mayo 2021].
- [11] Altium. Altium Designer Documentation. 2021. Disponible en: <https://www.altium.com/documentation/altium-designer> [Consulta: 12 mayo 2021].
- [12] Advatek. PixLite 4 MkII Control Board. 2020. Disponible en: <https://www.advateklights.com/pixlite-4-mk2-control-board> [Consulta: 28 mayo 2021].

[13] Raspberry Pi. Raspberry Pi OS. 2021. Disponible en: <<https://www.raspberrypi.org/software/>> [Consulta: 28 mayo 2021].

[14] Resolume Arena. DIY Píxel Lab. 2018. Disponible en: <<https://resolume.com/support/en/diy-pixel-lab>> [Consulta: 29 mayo 2021].

[15] Resolume Arena. Getting Started 2018. Disponible en: <<https://resolume.com/support/en/getting-started-with-led-strips>> [Consulta: 29 mayo 2021].

[16] TME Electronic Components. 2021. Disponible en: <<https://resolume.com/support/en/getting-started-with-led-strips>> [Consulta: 10 mayo 2021].

[17] LI Nan-an. The Design of Control System for Cloud Field Lamp. Computer & Telecommunication [en línea], 2018. 1(9): 44-45

[18] David García; Sandra Campa. ¿Qué es retail y cómo adaptarse a los cambios del sector? [En línea] < <https://globalkamconsultoresretail.com/retail/>> [Consulta: 2 junio 2021]

Lista de figuras

Figura 2.1. Escaparate dinámico expuesto por El Corte Inglés en el centro de Madrid en el año 2015 (Fuente: OTU CINEMA [6]).	3
Figura 2.2. Escaparate dinámico expuesto por NIKE en Barcelona en 2013 (Fuente: Digital AV [7]).	4
Figura 3.1. Concepto de unión entre paneles.	6
Figura 3.2. Pinout del Chip WS2811 (Fuente: Adafruit [9]).	7
Figura 3.3. Secuencias de nivel bajo, alto y reset (Fuente: Adafruit [9]).	8
Figura 3.4. Método de comunicación de datos en cascada (Fuente: Adafruit [9]).	9
Figura 3.5. Circuito de aplicación típico (Fuente: Adafruit [9]).	10
Figura 3.6. Filtro pasa bajos.	11
Figura 3.7. Diagrama de bode del filtro pasa bajos obtenido mediante Matlab.	12
Figura 3.8. Conector Amphenol T821M116A1S100CEU-B (Fuente: TME Electronic Components [16]).	15
Figura 3.9. Librerías del proyecto.	19
Figura 3.10. Membrete o cajetín del esquemático.	20
Figura 3.11. Librería de símbolos.	20
Figura 3.12. Símbolo eléctrico diodo.	21
Figura 3.13. Símbolo eléctrico resistencia.	21
Figura 3.14. Símbolo eléctrico Condensador.	21
Figura 3.15. Símbolo eléctrico WS2811.	21
Figura 3.16. Ventana de propiedades de una resistencia de 115Ohms.	22
Figura 3.17. Esquemático de un módulo individual.	23
Figura 3.18. Puertos de salida de la fila 1 del esquema.	24
Figura 3.19. Puertos de entrada de la fila 2 del esquema.	25

Figura 3.20. Diodo sin enumerar en el esquema.	25
Figura 3.21. Ventana de orden de identificación de componentes.	26
Figura 3.22. Pines de entrada al sistema.	27
Figura 3.23. Pines de salida del sistema.	27
Figura 3.24. Distribución de capas y tipos de vías en una PCB.	28
Figura 3.25. Espacio de diseño definido.	31
Figura 3.26. Espacio de diseño sin definir.	31
Figura 3.27. Ventana de edición de reglas de diseño.	33
Figura 3.28. Disposición inicial de componentes.	34
Figura 3.29. Concepto de situación de las filas de LED. En la parte superior el sistema descuadrado y en la parte inferior el sistema centrado.	34
Figura 3.30. Distribución y unión de pistas de un módulo completo.	35
Figura 3.31. Camino de dato. A la izquierda en tipo Z y a la derecha en tipo S.	36
Figura 3.32. Distribución de módulos de la primera y segunda fila.	37
Figura 3.33. Footprint conector Amphenol T821M116A1S100CEU-B.	40
Figura 3.34. Ventana de especificaciones de una vía.	41
Figura 3.35. Conector Amphenol T821M116A1S100CEU-B en la capa superior.	42
Figura 3.36. Conector Amphenol T821M116A1S100CEU-B en la capa inferior.	42
Figura 3.37. Cotas de la apertura insertada en el diseño.	43
Figura 3.38. Capa superior del diseño final PCB Píxel Blanco.	47
Figura 3.39. Capa inferior del diseño final PCB Píxel Blanco.	47
Figura 3.40. Pad de un Fiducial de posicionamiento.	50
Figura 3.41. Panel completo formado por dos PCB píxel blanco.	50
Figura 3.42. Ventana de generación de archivos de salida.	52

Figura 3.43. Visualizador de archivos de fabricación Gerber Gerbv.	54
Figura 3.44. Archivo Pick & Place.	56
Figura 3.45. Archivo BOM	58
Figura 3.46. Archivo Drafstman.	59
Figura 3.47. PCB píxel blanco completa.	60
Figura 3.48. PCB píxel Blanco detalle conector y agarres vista delantera.	60
Figura 3.49. PCB píxel blanco detalle conector y agarres vista trasera.	61
Figura 3.50. Controlador píxel SP110E.	61
Figura 4.1. Conector Amphenol ZL264-20DG (Fuente: TME Electronic Components [16]).	64
Figura 4.2. Esquemas de unión macho-hembra con hembra de 16 pines.	65
Figura 4.3. Esquema de unión macho-hembra con hembra de 20 pines.	65
Figura 4.4. Conector rápido Molex.	66
Figura 4.5. Esquema de conexión trasera y camino de dato.	66
Figura 4.6. Esquema de unión del sistema completo.	67
Figura 4.7. Footprint conector ZL264-20DG.	69
Figura 4.8. Footprint conector rápido Molex.	69
Figura 4.9. Esquema PCB de conexión vertical entrada a columna.	70
Figura 4.10. Esquema PCB de conexión vertical entrada al sistema.	70
Figura 4.11. Esquema PCB de conexión vertical centrales.	71
Figura 4.12. Esquema PCB de conexión vertical de salida.	71
Figura 4.13. Bloques de conectores rápidos Molex.	72
Figura 4.14. Distribución central de la PCB de conexión vertical.	73
Figura 4.15. Taladro superior de la PCB de conexión vertical.	74
Figura 4.16. Panel de PCB de conexión vertical.	75

Figura 4.17. Drafstman de la PCB de conexión vertical.	76
Figura 4.18. Esquema de medidas en la unión entre PCB conexión vertical y PCB conexión horizontal.	77
Figura 4.19. Disposición de conectores entre la salida de una columna y la entrada de la siguiente.	77
Figura 4.20. Distribución de planos en la PCB de conexión horizontal.	78
Figura 4.21. Espacio entre la PCB de píxel blanco y la PCB de conexión vertical.	79
Figura 4.22. Diferentes modelos de soportes 3D.	79
Figura 4.23. PCB de conexión vertical completa.	80
Figura 4.24. PCB de conexión horizontal completa.	80
Figura 4.25. Unión real entre la PCB de conexión vertical y la PCB de conexión horizontal.	80
Figura 4.26. Unión entre PCB de conexión vertical y soporte 3D.	81
Figura 5.1. Esquema del sistema de control.	82
Figura 5.2. Parte superior de la pantalla principal del software Resolume Arena 6.	83
Figura 5.3. Parte inferior de la pantalla principal del software Resolume Arena 6.	84
Figura 5.4. Ventana de mapeo de Resolume Arena 6.	85
Figura 5.5. Mapeo de un panel completo en Resolume Arena 6.	86
Figura 5.6. Mapeo de una fila en Resolume Arena 6.	86
Figura 5.7. Mapeo de un canal en Resolume Arena 6.	86
Figura 5.8. Raspberry PI modelo B.	87
Figura 5.9. Raspberry PI modelo B con carcasa 3D.	87
Figura 5.10. Pantalla principal imagen de software PIXOUT ARNET RECORDER.	89
Figura 5.11. Ventana de grabación de escena.	89
Figura 5.12. Advatek PixLite 4 MkII.	90
Figura 6.1. Escuadra y prisioneros de unión de marcos.	92

Figura 6.2. Distancias taladros superiores del travesaño.	93
Figura 6.3. Distancias taladros inferiores del travesaño.	93
Figura 6.5. Remaches plásticos.	94
Figura 6.4. Detalle de los taladros para remaches.	94
Figura 6.6. Pin de conexión rápida de un polo.	94
Figura 6.7. Sistema parcialmente completo vista delantera.	94
Figura 6.8. Sistema parcialmente completo vista trasera.	95
Figura 6.9. Sistema completo vista delantera.	95
Figura 6.10. Detalle de la esquina superior izquierda del sistema completo.	95
Figura 6.11. Detalle de la esquina inferior izquierda del sistema completo.	95
Figura 6.12. Detalle unión central de paneles.	96
Figura 6.13. Esquema de conexiones del sistema de control.	97
Figura 6.14. Sistema completo reproduciendo una escena.	98
Figura 6.15. Sistema completo con la tela delantera parcialmente colocada.	98
Figura 6.16 Prototipo completo sin iluminación.	99
Figura 6.17. Prototipo completo reproduciendo escena parte 1.	99
Figura 6.18. Prototipo completo reproduciendo escena parte 2.	99
Figura 6.19. Prototipo completo reproduciendo escena parte 1.	100

Lista de tablas

Tabla I: Tiempos de nivel bajo, nivel alto y reset para el modo a baja velocidad.	8
Tabla II. Listado de componentes por módulo.	13
Tabla III. Listado de componentes por panel.	14
Tabla IV. Anchos de pista recomendados en función de la corriente a transportar.	29
Tabla V. Coordenadas de los polígonos de alimentación.	39
Tabla VI. Especificaciones de las vías.	42
Tabla VII. Especificaciones de los taladros de la placa PCB píxel blanco.	44
Tabla VIII. Coordenadas taladro 1.	45
Tabla IX. Coordenadas taladro 2.	45
Tabla X. Especificaciones para la creación de un array de PCB.	49
Tabla XI. Especificaciones de los fiduciales.	49
Tabla XII. Parámetros de los archivos de fabricación de la PCB píxel blanco.	52
Tabla XIII. Parámetros de los archivos de fabricación de los taladros de la PCB píxel blanco.	53
Tabla XIV. Especificaciones de fabricación de la PCB píxel blanco.	55
Tabla XV. Especificaciones para archivos Pick & Place.	56
Tabla XVI. Configuración controlador píxel SP110E.	62
Tabla XVII. Pruebas realizadas a los paneles PCB píxel blanco.	63
Tabla XVIII. Especificaciones PCB píxel blanco.	63
Tabla XIX. Medidas de la PCB de conexión vertical.	68
Tabla XX. Coordenadas del conector ZL264-20DG.	69
Tabla XXI. Orientación de la entrada de cable en las PCB de conexión vertical de entrada.	70
Tabla XXII. Orientación de la entrada de cable en las PCB de conexión vertical centrales.	71

Tabla XXIII. Orientación de la entrada de cable en las PCB de conexión vertical de salida.	72
Tabla XXIV. Medidas de los planos de alimentación de la PCB de conexión vertical.	72
Tabla XXV. Medidas de los planos de dato de la PCB de conexión vertical.	73
Tabla XXVI. Altura de los taladros de la PCB de conexión vertical.	74
Tabla XXVII. Especificaciones Advatek PixLite 4 MkII.	90
Tabla XXVIII. Elementos utilizados en el montaje de la estructura.	91
Tabla XXIX. Medidas de los marcos de aluminio.	92
Tabla XXX. Costes de las PCB montadas.	104
Tabla XXXI. Costes de los elementos del sistema de control.	105
Tabla XXXII. Costes de los elementos de alimentación del sistema.	105
Tabla XXXIII. Costes de otros elementos del sistema.	105
Tabla XXXIV. Costes de la mano de obra.	106
Tabla XXXV. Coste total del proyecto.	106

Anexo A: Desglose de costes del proyecto

9.1 A1. Coste de fabricación y montaje de la PCB Píxel Blanco

COMPONENTE	UNIDADES PCB	PRECIO UD. (€)	COSTE (€)
PCB	1	6,5	6,5
Condensador CER 100nF / 50V / 1206	27	0,0253	0,6831
CI WS2811 / SOP-8 / REGULADOR PÍXEL	27	0,15	4,05
LED / BLANCO xK / 3030 / 3V / 160mA *	81	0,09	7,29
CONECTOR AMPHENOL / 16P / T821M116A1S100CEUB	1	0,83	0,83
Resistencia 330hm / 0,25W / 1206	54	0,0112	0,6048
Resistencia 1150hm / 0,25W / 1206	81	0,0112	0,9072
Resistencia 1000hm / 0,25W / 1206	27	0,0112	0,3024
TOTAL			21,1675

ETAPA	MIN/UD	PRECIO MIN/UD (€)	COSTE (€)
ESTAÑO	1	1,42	1,42
PICK & PLACE	5	0,23	1,15
HORNO	2	0,23	0,46
TEST	1	0,23	0,23
TOTAL			3,26

COSTE TOTAL	24,4275
--------------------	----------------

9.2 A2. Coste de fabricación y montaje de la PCB de conexión vertical

COMPONENTE	UNIDADES PCB	PRECIO UD. (€)	COSTE (€)
PCB	1	2	2
CONECTOR MOLEX / 1P / 0.25 A 0.75 mm2	8	0,1366	1,0928
Resistencia 00hm / 0,25W / 1206	2	0,001	0,002
CONECTOR AMPHENOL / 20P / ZL2264-20DG	1	1,356	1,356
TOTAL			4,4508

ETAPA	MIN/UD	PRECIO MIN/UD (€)	COSTE (€)
ESTAÑO	1	1,42	1,42
PICK & PLACE	2	0,23	0,46
HORNO	1	0,23	0,23
TEST	1	0,23	0,23
TOTAL			2,34

COSTE TOTAL (€)	6,7908
------------------------	---------------

9.3 A3. Coste de fabricación y montaje de la PCB de conexión horizontal

COMPONENTE	UNIDADES PCB	PRECIO UD. (€)	COSTE (€)
PCB	1	1,7	1,7
CONECTOR MOLEX / 1P / 0.25 A 0.75 mm2	8	0,1366	1,0928
TOTAL			2,7928

ETAPA	MIN/UD	PRECIO MIN/UD (€)	COSTE (€)
ESTAÑO	1	1,42	1,42
PICK & PLACE	1	0,23	0,23
HORNO	1	0,23	0,23
TEST	1	0,23	0,23
TOTAL			2,11

COSTE TOTAL (€)	4,9028
------------------------	---------------

9.4 A4. Coste total del proyecto

MATERIAL

PCB + COMPONENTES

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO UD. (€)	PRECIO COSTE TOTAL (€)
PCB PÍXEL BLANCO	6	24,4275	146,565
PCB CONEXIÓN HORIZONTAL	6	6,7908	40,7448
PCB CONEXIÓN VERTICAL	2	4,9028	9,8056
TOTAL			197,1154

CONTROL

DESCRIPCIÓN	-	-	PRECIO COSTE (€)
PIXOUT SD 4 UNIV.			60
RPI 3 MODEL B			40
ADVATEK			100
TOTAL			200

POTENCIA

DESCRIPCIÓN	-	-	PRECIO COSTE (€)
FUENTE LPV 60-5			11,8
CABLE SHUCKO			5
TOTAL			16,8

OTROS

DESCRIPCIÓN	UNIDADES/M	PRECIO UD/M(€)	PRECIO COSTE TOTAL (€)
MARCOS ALUMINIO	2,5	6,11	15,275
ACCESORIOS MARCOS	2	2,5	5
TRAVESAÑO ALUMINIO	3	4	12
TELAS	1	21	21
CABLEADO	1	5	5
TORNILLERIA	6	0,2	1,2
AMORTIZACIÓN EQUIPO INFORMATICO	0,25	1500	375
RESOLUME ARENA	0,25	799	199,75
ALTIUM DESIGNER	0,25	3493,4	873,35
PIEZAS 3D	6	0,94	5,64

OTROS	1	20	20
TOTAL			1533,215

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	HORAS	PRECIO HORA (€)	PRECIO COSTE TOTAL (€)
MONTAJE	30	20	600
MAPEADO	10	20	200
DISEÑO	200	20	4000
INVESTIGACIÓN	150	20	3000
MEMORIA DEL PROYECTO	100	21	2100
TOTAL			9900

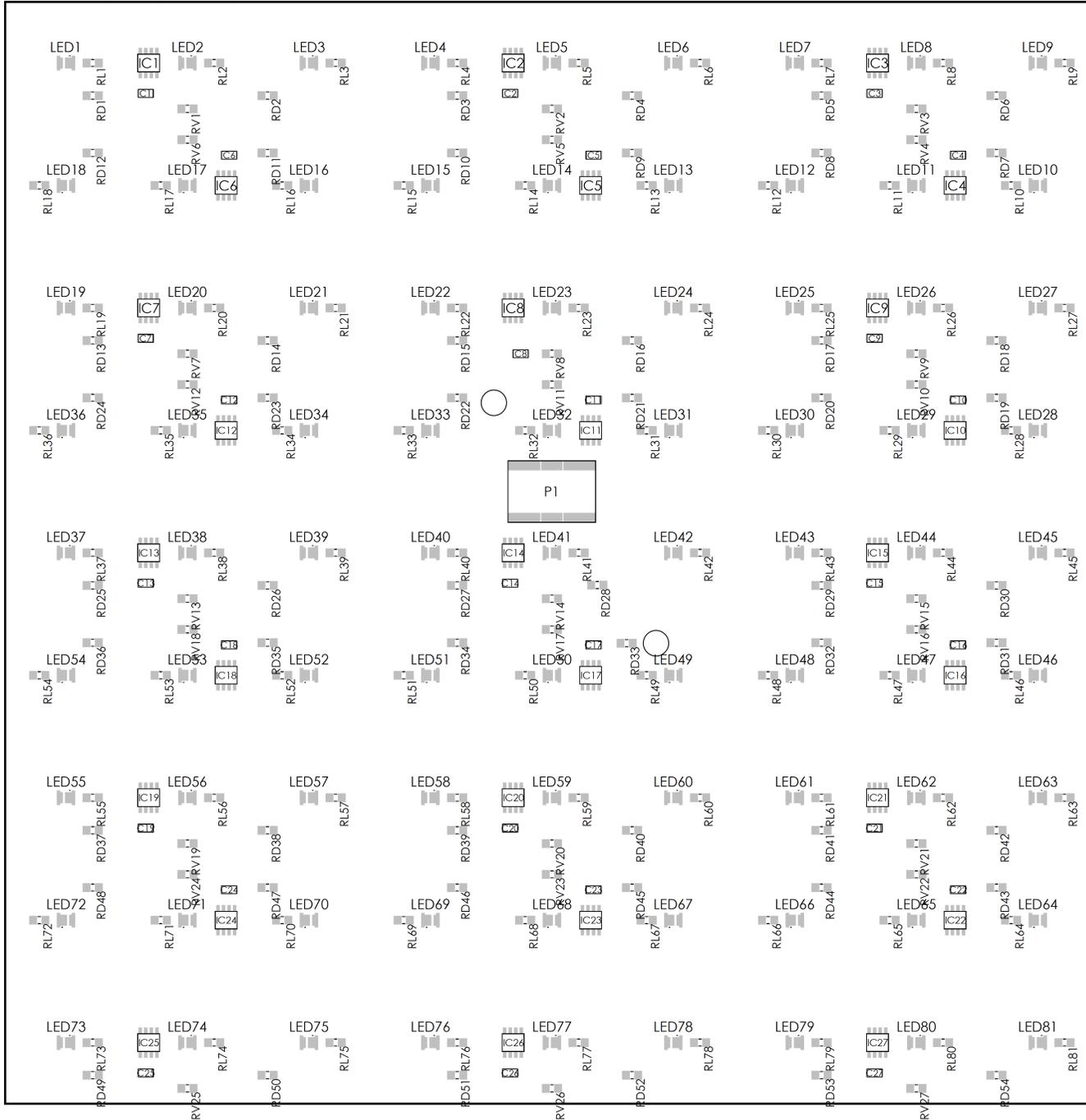
PCB + COMPONENTES	197,1154
CONTROL	200
POTENCIA	16,8
OTROS	1533,215
MANO DE OBRA	9900
COSTE TOTAL	11847,1304

Anexo B: Esquemas y documentos de montaje

El anexo B se ha ordenado de la siguiente manera:

- PCB Píxel Blanco
 - Esquemático
 - Drafstman (Imagen de la PCB + BOM + Notas de montaje)
 - Silueta de la PCB por capas
 - Silueta del panel de una unidad por capas
 - Silueta del panel de dos unidades por capas
- PCB conexión vertical
 - Esquemático
 - Drafstman (Imagen de la PCB + BOM + Notas de montaje)
 - Silueta de la PCB por capas
 - Silueta del panel por capas
- PCB conexión horizontal
 - Esquemático
 - Drafstman (Imagen de la PCB + BOM + Notas de montaje)
 - Silueta de la PCB por capas
 - Silueta del panel por capas

View from Top side (Scale 1:1)

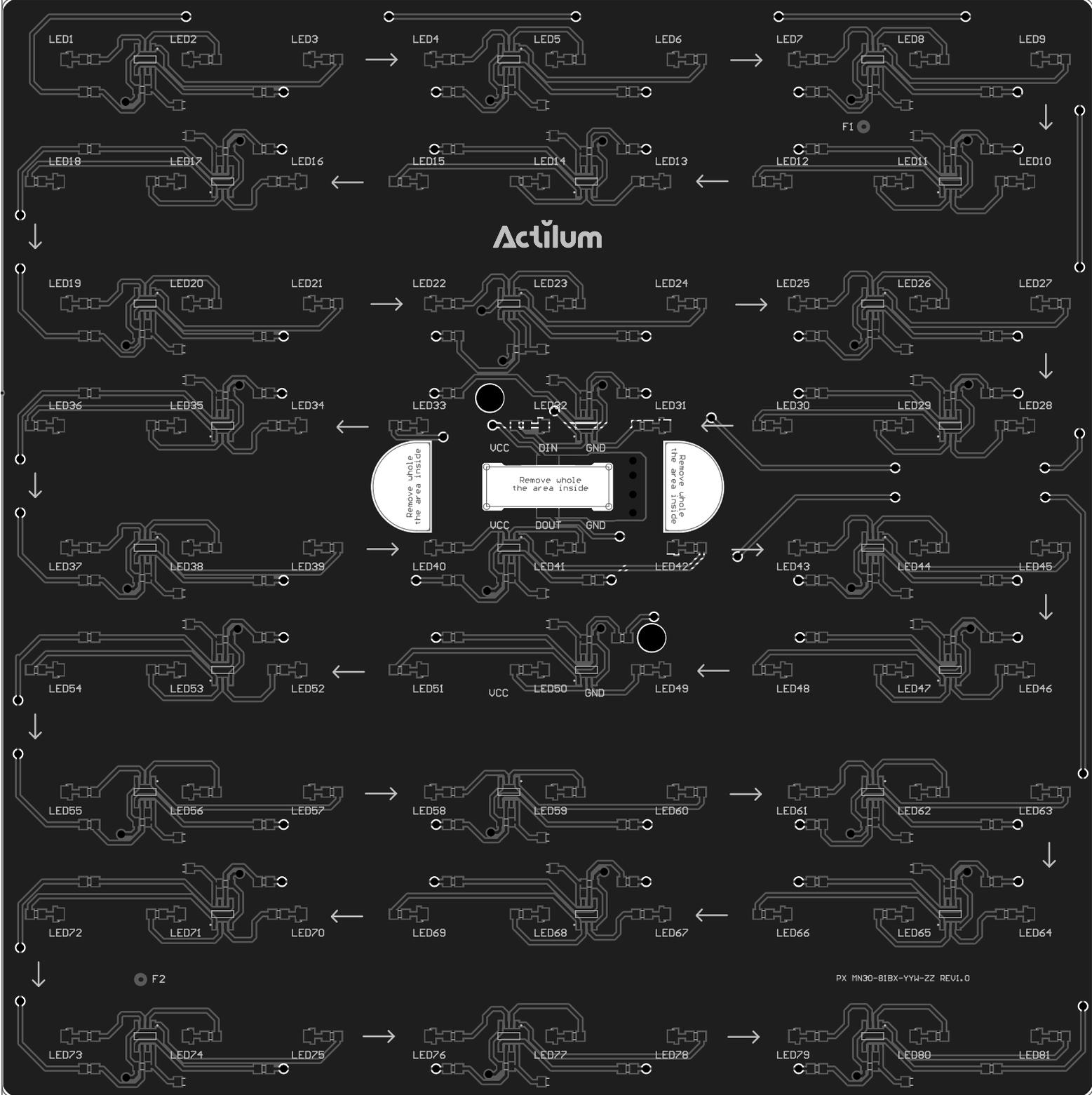


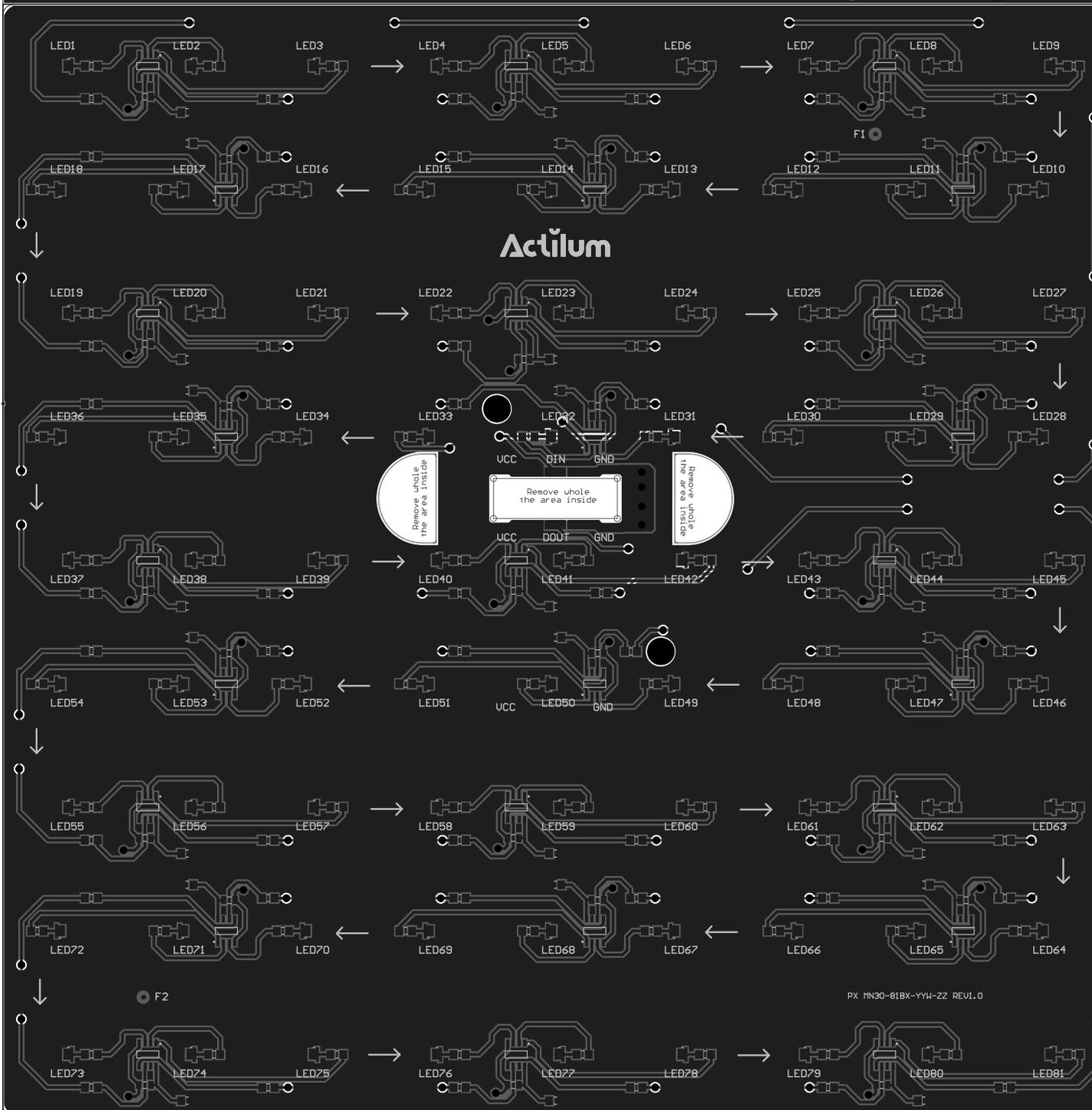
Quantity	Designator	Comment	Description
27	C1-C27	COND_100nF_1206	Condensador CER 100nF / 50V / 1206 / 10%
27	IC1-IC27	CI_WS2811_SOP-8	CI WS2811 / SOP-8 / REGULADOR PIXEL
81	LED1-LED81	LED_3030	LED / BLANCO xK / 3030 / 3V / 160mA
1	P1	CON_AMPHENOL_16P	CONECTOR AMPHENOL / 16P / T821M116A1S100CEU-B
54	RD1-RD54	RES_33Ohms_1206	Resistencia 33Ohm / 0,25W / 1206 / 1%
81	RL1-RL81	RES_115Ohms_1206	Resistencia 115Ohm / 0,25W / 1206 / 1%
27	RV1-RV27	RES_100Ohms_1206	Resistencia 100Ohm / 0,25W / 1206 / 1%

Habitualmente el led a montar será el Rifond de 5000°K

En función de la aplicación el led puede ser Nichia 757, esto se especificará en el pedido de montaje

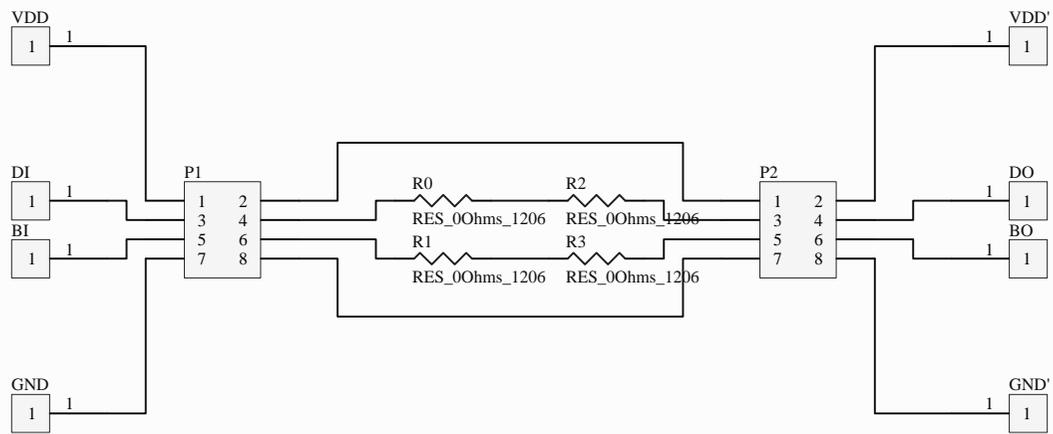
Product		MN50-81BX-YYW-ZZ	
By	ACTILUM	Rev	Rev 1.0





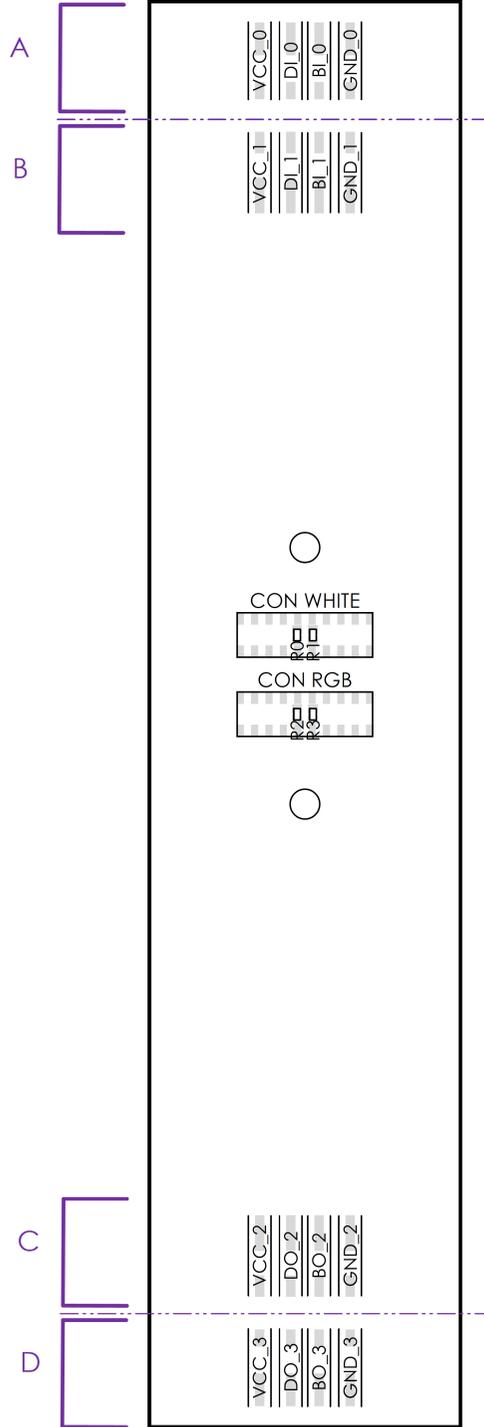
Actilum





Doc Type	Company
Schematic	ACTILUM RGB SL
Date	Project
21/03/2021	PX CONNECTOR RGB-BLANCO REV2.0
Sheet	Document
A4	PX CONNECTOR RGB-BLANCO REV2.0.SCHDOC

View from Top side (Scale 0.75)



Designator	Comment	Description	Quantity
CON WHITE, CON RGB	CON_AMPHENOL_16P	CONECTOR AMPHENOL / 16P / ZL264-20DG	2
GND_0-GND_3, BI_0, BI_1, DI_0, DI_1, VCC_0-VCC_3, DO_2, DO_3, BO_2, BO_3	CON_MOLEX_1P	CONECTOR MOLEX / 1P / 0.25 A 0.75 mm2	16
R0-R3	RES_00hms_0805	Resistencia 00hm / 0,25W / 0805 / 1%	4

INSTRUCCIONES DE MONTAJE:

EL MONTAJE DE LA PLACA VARIA EN FUNCIÓN DE DOS FACTORES.

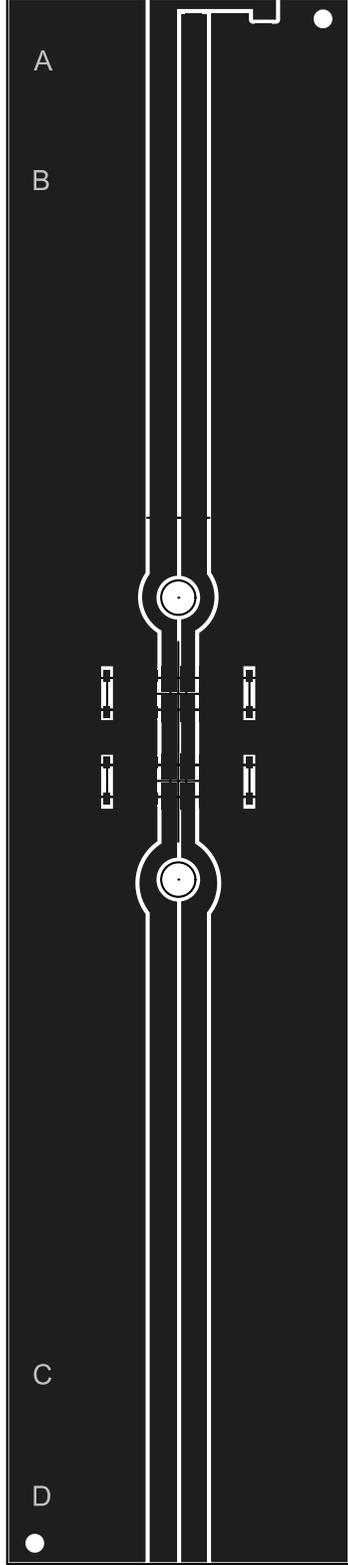
1-TIPO DE PLACA.

TIPO DE PLACA	COMPONENTES A MONTAR
RGB	CON RGB, R0,R1
WHITE	CON WHITE, R2,R3

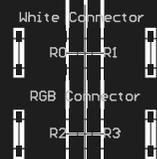
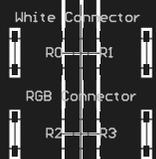
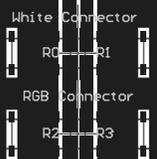
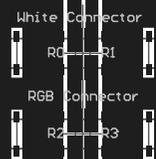
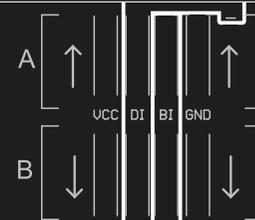
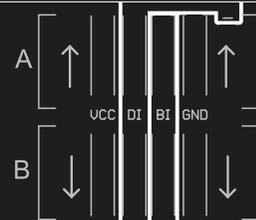
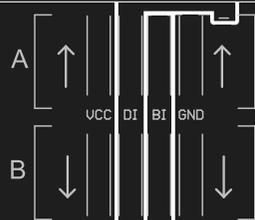
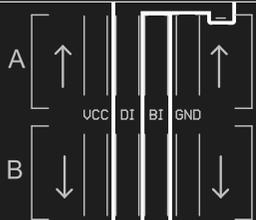
2-SITUACIÓN DE LA PLACA.

SITUACIÓN DE LA PLACA	BLOQUE	COMPONENTES A MONTAR
CENTRAL	A y D	VCC_0, DI_0, BI_0, GND_0, VCC_3, DO_3, BO_3, GND_3
ENTRADA	B y D	VCC_1, DI_1, BI_1, GND_1, VCC_3, DO_3, BO_3, GND_3
SALIDA	A y C	VCC_0, DI_0, BI_0, GND_0, VCC_2, DO_2, BO_2, GND_2

Product		PX CONNECTOR RGB-BLANCO	
By	ACTILUM	Rev	Rev 2.0



P4 PX CONNECTOR RGB-BLANCO REV2.0.

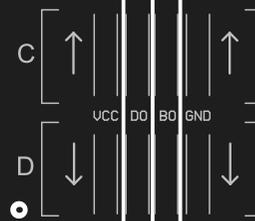
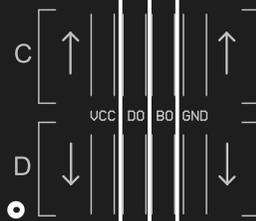
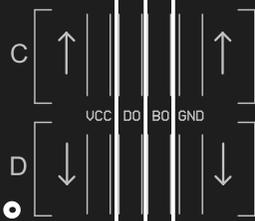
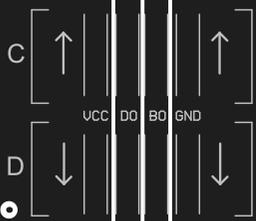


PX CONNECTOR RGB-WHITE REV2.0

PX CONNECTOR RGB-WHITE REV2.0

PX CONNECTOR RGB-WHITE REV2.0

PX CONNECTOR RGB-WHITE REV2.0



P4 PX CONNECTOR RGB-BLANCO REV2.0.

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

D



Doc Type	Company
Schematic	ACTILUM RGB SL
Date	Project
12/04/2021	PX LATERAL CONNECTOR RGB-BLANCO REV0.0
Sheet	Document
A4	PX LATERAL CONNECTOR RGB-BLANCO REV0.0SCHDOC

1

2

3

4

A

B

C

D

E

1

1

Designator	Comment	Description	Quantity
4', 3', 2', 1', 1, 2, 3, 4	CON_MOLEX_1P	CONNECTOR MOLEX / 1P / 0.25 A 0.75 mm2	8

2

2

View from Top side (Scale 0.9)



3

3

Product	PX LATERAL CONNECTOR	
By	ACTILUM	Rev Rev 0.0

4

4

A

B

C

D

E



