



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Proyecto de mejora continua en
proceso de fabricación de placas
de circuito impreso para
empresa dedicada a la
automatización de puertas de
garaje**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Raúl Daniel Chavolla Jiménez

ASESORA DE INFORME

Mtra. Gloria Correa Palacios



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado PROYECTO DE MEJORA CONTINUA EN PROCESO DE FABRICACION DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO PARA EMPRESA DEDICADA A LA AUTOMATIZACION DE PUERTAS DE GARAJE, que presenté para obtener el título de INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

RAUL DANIEL CHAVOLLA JIMENEZ
Número de cuenta: 313123315

Índice

1. Introducción.	4
2. Objetivo principal.	5
2.1. Objetivos particulares.	5
3. Antecedentes.	5
4. Planteamiento del proyecto.	6
5. Fabricación de un tablero electrónico.	9
5.1. Etapas de fabricación de un tablero electrónico.	9
5.2. Placa de circuito impreso.	10
5.2.1. Capas de un PCB.	12
5.3. Capa de silkscreen (serigrafía).	12
5.4. Componentes tipo “Through Hole (THT)”.	13
5.5. Dispositivo de Montaje Superficial (SMD).	15
5.6. Huella de conexiones (footprint).	16
6. Parámetros eléctricos críticos durante la selección de componentes electrónicos.	16
6.1. Diferencia de potencial.	17
6.2. Corrientes Eléctricas.	18
6.3. Evaluación de semiconductores de protección.	18
6.4. GDT: Tubo de descarga de gases protección contra descargas de rayos.	19
6.5. Variaciones con el cambio de temperatura.	20
7. Certificados de regulación.	21
7.1. Compatibilidad Electromagnética IEC 61000.	21
7.2. Validación de los cambios del diseño (DVT).	22
8. Participación profesional.	24
8.1. Lista de materiales (Build of Materials BOM).	24
8.2. Componentes afectados.	25
8.3. Evaluación de automatización de componentes.	25

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

8.3.1. Capacitor electrolítico de potencia.	25
8.3.2. Bloque de conexiones de motor.	26
8.3.3. Conector tipo header.	27
8.3.4. Inductor de potencia.	27
8.4. Interruptores Táctiles Through Hole a SMD.	29
8.4.1. Participación dentro del sistema.	29
8.4.2. Construcción y búsqueda de sustitutos.	30
8.5. Rediseño de PCB Layout.	31
8.5.1. Interruptor TH a SMD.	31
8.5.2. Diodo GDT TH a SMD.	36
8.6. Cambios de diseño y proceso de validación interna.	38
9. Trabajo Futuro.	40
9.1. Comportamiento general, prueba de ESD y prueba de rayos.	40
9.2. Prueba de descarga electrostática (ESD).	40
9.3. Prueba de rayos.	40
10.Resultados.	41
11.Conclusiones.	42
Bibliografía.	43

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

Dedicatoria.

A Dios, por ser la guía en mi camino, permitirme afrontar y obtener este logro tan importante en mi vida.

A mi mamá Roxana, por que desde pequeño tu amor, comprensión y cariño marcaron mi vida y me formaron, gracias por todo el sacrificio que has hecho todos estos años, ¡te admiro!

A mi papá, Francisco, por que a mi y mi hermano nos formaste hombres de bien, has sido un guía y ejemplo durante toda nuestra vida, ¡te admiro y respeto siempre!

A mi hermano Iván, por ser mi mejor amigo, me esfuerzo por ser un buen ejemplo para ti, que te sirva de motivación para tu futuro profesional, Dios te ilumine y te guie siempre.

A mi novia Gina, mi confidente, y el amor de mi vida. Agradezco compartir mi vida contigo, gracias por tu amor y cariño incondicional, ¡te amo!

A mi abuela Aurora, tu ejemplo de amor y sacrificio incondicional por tu familia nos enseñó a nunca rendirnos ante la adversidad, ¡te admiro!

A mi abuelo Pancho en el cielo, el mejor abuelo que la vida me pudo dar, ¡te extrañare mucho!

A mi tía Leticia, gracias por estar siempre presente en mi vida, al final no estudie química como tu pero si logré tener profesión, ¡Gracias!

Gracias a mi jefe Heriberto Alanis, a todos mis compañeros ingenieros por ayudarme a alcanzar este logro profesional y a la empresa por las facilidades brindadas.

A mi asesora de tesis la Mtra. Gloria Correa, por su asesoría, apoyo brindado y paciencia en el desarrollo de este reporte profesional.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

1. Introducción.

En enero de 2023, fui seleccionado para realizar una pasantía en ingeniería eléctrica en una empresa especializada en la fabricación de equipos de automatización electromecánica para la apertura de puertas de garaje. Me integré específicamente al departamento de 'Electrical Sustaining', donde participé en el mantenimiento y mejora continua de los sistemas eléctricos existentes. Mi trabajo consistió en mantener la producción ininterrumpida de las placas de circuitos impresos (Printed Circuit Boards "PCB"), brindándoles soporte durante su tiempo de vida. La división específica a la que colabore se enfoca completamente a la apertura de puertas de garaje de gran tamaño.

En la empresa, si un producto está planeado para venderse durante un tiempo determinado de años, se debe mantener vigente el hardware de dicho producto al menos durante el tiempo de venta. En el caso de que, un componente electrónico vaya a ser discontinuado por el proveedor se debe encontrar una alternativa que pueda sustituirlo.

Parte de mis tareas diarias incluyó brindar soporte remoto a las fábricas externas, encargadas de la fabricación de otros productos, como los operadores de acceso perimetral, comúnmente conocidos como interfon. Estos productos se producen en Pune, India. El soporte remoto abarcó diversas actividades, incluyendo la supervisión del proceso de manufactura, la búsqueda de sustitutos para componentes al final de su ciclo de vida, la solución de errores en el diseño y el soporte técnico en las pruebas de los productos a fin de garantizar su correcto funcionamiento.

Por último, están los proyectos de productividad, los cuales son la base de este reporte profesional. Estos proyectos se enfocaron en generar ahorros a la compañía. Algunas actividades realizadas parte de este proceso fueron:

- Evaluación de componentes eléctricos de nuevos proveedores, incluyendo la realización de pruebas de parámetros críticos para garantizar la calidad y confiabilidad del producto.
- Análisis de circuitos actualizados: Para modificar un diseño existente, fue necesario analizar la función y la contribución de cada componente dentro del circuito completo. Una vez determinado su comportamiento, se podrá proceder a la fase de rediseño.
- Rediseño de tarjetas electrónicas: El proceso de rediseño de un tablero PCB implicó la modificación de diversas características específicas, como trazos, polígonos, planos y vías. Estas modificaciones se realizaron con el objetivo de optimizar la disposición de los componentes, garantizar una correcta conexión y preservar el funcionamiento adecuado del tablero.
- Evaluación financiera: Para validar el cambio de un componente, se realizó un análisis

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

financiero que determinó si este representaría un ahorro económico o, por el contrario, requeriría una inversión adicional para su implementación. Este ejercicio resultó fundamental para respaldar la toma de decisiones.

Este trabajo profesional estuvo enfocado en el rediseño total de la plataforma Nitrous estos sistemas están enfocados en mover puertas desde 500 - 3000 lb.

2. Objetivo principal.

Evaluar e implementar cambios en el proceso de fabricación de tarjetas electrónicas en los sistemas de apertura automática para puertas de garaje, a fin de alcanzar el 98 % de automatización en las líneas de producción de placas de circuitos electrónicos para uso industrial.

2.1. Objetivos particulares.

- Identificar los componentes electrónicos que se insertan actualmente de manera manual.
- Buscar alternativas de automatización en la inserción de componentes.
- Proponer opciones de automatización que no requieran nueva infraestructura, aprovechando la capacidad de producción actual de la planta, a fin de alcanzar el objetivo de automatización en la fabricación de cuatro tipos de tableros electrónicos.
- Obtener ahorros mediante la eliminación del trabajo manual, aprovechando la automatización industrial para minimizar los errores humanos en el proceso de colocación.

3. Antecedentes.

La industria manufacturera representa casi el 18 % del producto interno bruto del país lo que representa casi un quinto del PIB total de la nación. A raíz de la promulgación del TLCAN firmado en 1988 Estados Unidos, México y Canadá permitieron una reducción de costos en el traspaso de bienes entre estas tres naciones. La zona fronteriza del estado de Sonora, México se vio beneficiada a raíz de este decreto ya que, empresas internacionales decidieron invertir en zonas industriales de manufactura, lo que promovió en gran medida el desarrollo de las fronteras nacionales. Casi 35 años después y con una industria dinámica donde la competencia internacional y el abaratamiento de la mano de obra juegan un rol vital al momento de tomar decisiones en una compañía con presencia internacional, la automatización industrial cada día juega un rol más importante en la capacidad de producción a nivel global. La automatización se enfoca en cumplir con tareas de manera repetitiva y reducir la mano de obra, incrementando la eficiencia en la producción y reduciendo y/o erradicando los errores

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

cometidos por el operador, de esta manera se logra reducir tiempos y costos sin sacrificar la calidad del producto terminado. (Automatización de procesos industriales, 2023).

La empresa donde se desarrollo el proyecto se dedica a fabricar sistemas de apertura de puertas de garaje, cuenta con equipos enfocados a los mercados residencial e industrial localmente conocido como mercado comercial.

Como parte de su proceso de mejora continua, ha implementado proyectos de productividad que permiten aumentar la eficiencia en el proceso de fabricación de los ensambles de los sistemas de apertura de puertas, reduciendo la mano de obra e incrementando los procesos automatizados.

En la empresa se desarrollan aplicaciones de alta potencia, comúnmente utilizadas en comunidades residenciales y entornos industriales donde es necesario mover puertas de gran peso, desde 90 kg hasta 900 kg. Estos sistemas deben garantizar un funcionamiento confiable incluso en condiciones climáticas adversas. Para ello, requieren una electrónica de potencia más robusta y un alto nivel de aislamiento frente al entorno, ya que suelen instalarse a la intemperie.

Estos deben ser capaces de generar el par necesario para mover la puerta únicamente mediante el motor del sistema, sin apoyos extra como resortes. Dado el perfil del mercado al que están dirigidos, el volumen de producción de estos equipos es menor en comparación con los sistemas residenciales convencionales y cuya instalación debe ser realizada por técnicos especializados.

4. Planteamiento del proyecto.

Un proyecto de productividad es una pieza clave en el proceso de mejora continua dentro de la empresa. Al lanzar un nuevo producto al mercado, se planifica una vida útil mínima de diez años. Una vez transcurrido este periodo, se garantiza el soporte técnico y el suministro de refacciones por un plazo equivalente, incluso si el producto ya no está en comercialización. Durante el proceso de diseño electrónico de este equipo, se procura seleccionar componentes cuyo ciclo de vida sea compatible con la vida útil esperada del producto en el mercado. No obstante, los proveedores pueden introducir cambios en las materias primas que impacten tanto el suministro como el desempeño de estos componentes. En algunos casos, incluso pueden discontinuar y reemplazar los componentes con nuevas versiones, lo que puede afectar la continuidad del diseño. Si el proveedor actual no ofrece un reemplazo que cumpla con los requisitos eléctricos del diseño, será necesario evaluar opciones de proveedores alternativos que puedan satisfacer dichas especificaciones. En caso de no encontrar una alternativa directa, se debe analizar el circuito a profundidad a fin de comprender la función específica del componente. Con ello se determinara la viabilidad de utilizar un componente similar para garantizar la funcionalidad dentro de la aplicación.

Una consideración clave al seleccionar componentes de reemplazo es la compatibilidad con la capacidad de producción actual de la planta. Si se elige un componente que no puede ser

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

procesado por las máquinas o adaptarse a el procedimiento interno, su implementación no será viable.

Actualmente, la empresa cuenta con procesos de ensamblaje semi-automáticos, en los que aún se realiza colocación manual de componentes. Por esta razón, se me solicitó participar en un proyecto de mejora para la fabricación de placas de circuito impreso (Printed Circuit Boards, PCB). Este proyecto tiene como objetivo incorporar equipo especializado para la auto-inserción de componentes Through-hole o, de ser necesario, realizar un cambio completo a componentes de montaje superficial (Surface Mount Device, SMD). Mi labor consistió en verificar que las opciones de componentes identificadas por el equipo de abastecimiento funcionaran adecuadamente dentro del sistema. En caso de que no cumplieran con los requisitos, solicité componentes con especificaciones proximas al diseño actual.

Cuando se presentó un cambio en las dimensiones físicas de un componente, realicé el rediseño de los diagramas de conexiones eléctricas y dentro de la PCB para adaptarlos al nuevo componente.

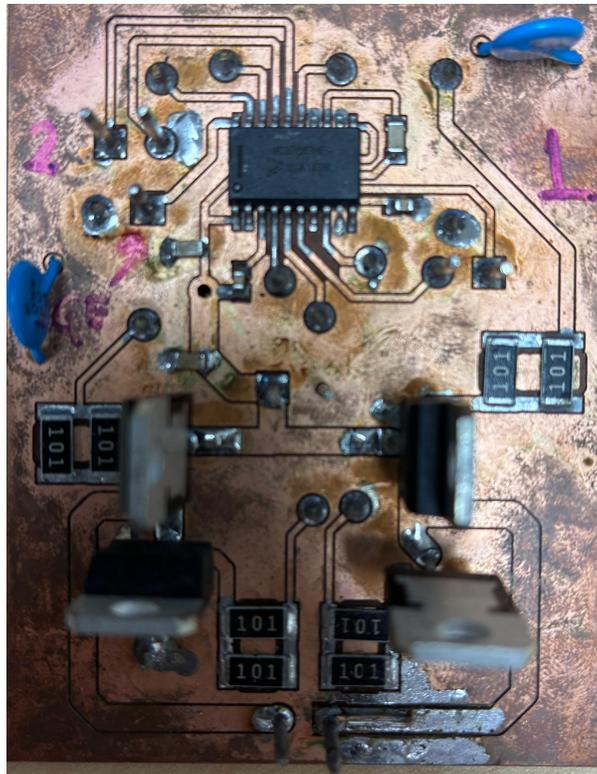


Figura 1: Tablero de circuitos electrónicos

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

La siguiente figura muestra un diagrama de flujo del proceso de selección de componentes.

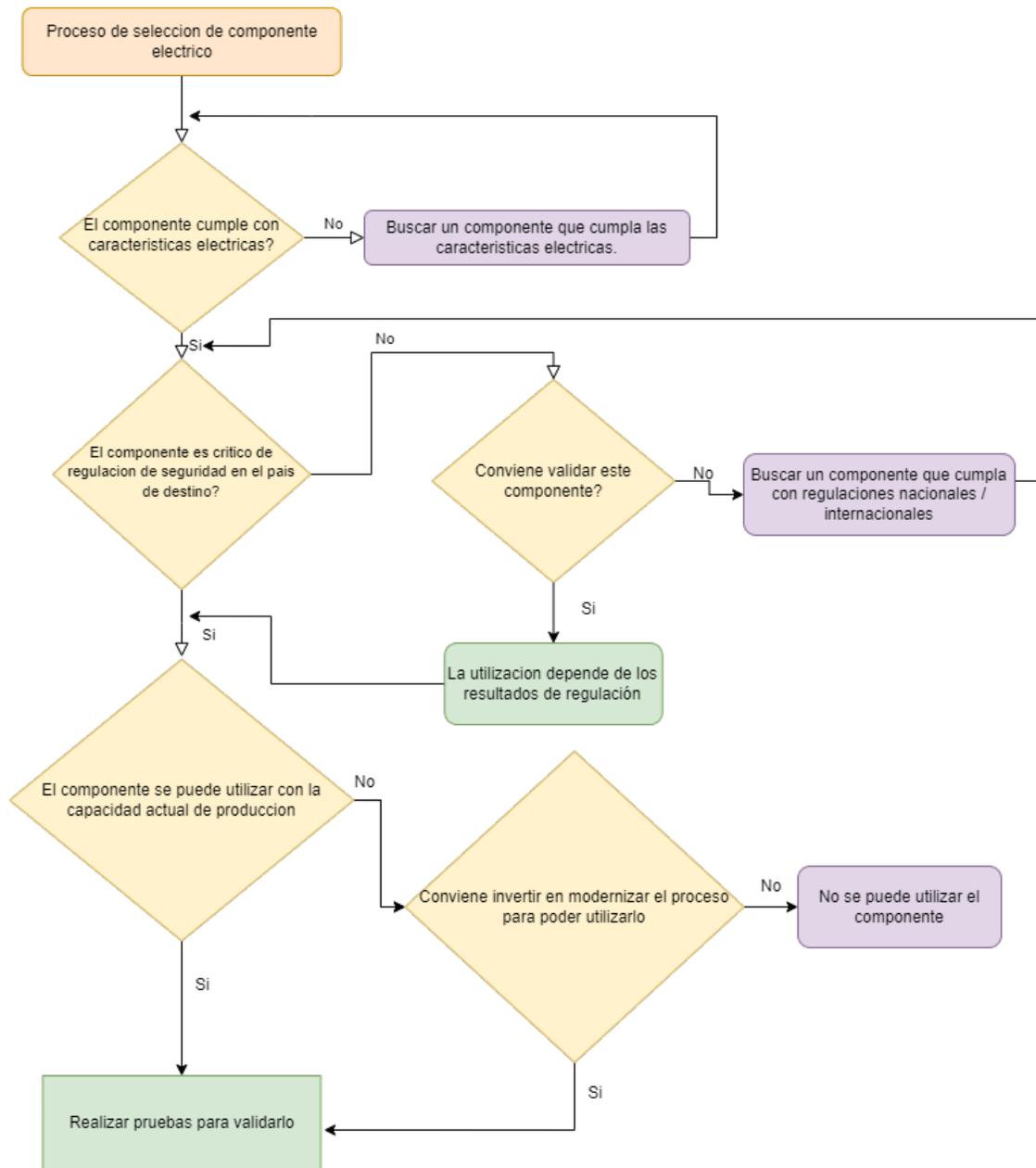


Figura 2: Diagrama de selección de componentes

5. Fabricación de un tablero electrónico.

En esta sección se describe el proceso de fabricación de una placa de circuito impreso (PCB). Se incluyen los materiales empleados, los pasos requeridos para su elaboración y los aspectos fundamentales a considerar durante su diseño.

5.1. Etapas de fabricación de un tablero electrónico.

El proceso de fabricación de un tablero de circuito impreso (PCB) incluye los siguientes pasos:

- Generar el diseño de la PCB y validación eléctrica: El diseño eléctrico debe ser simulado y validado por los ingenieros electrónicos para garantizar que su comportamiento sea adecuado una vez fabricado.
- Revisión de la capacidad de producción del fabricante: El fabricante de los PCB debe garantizar que los requisitos de construcción especificados por el diseñador se cumplan, incluyendo aspectos como espesores, materiales, acabados, impedancias, entre otros.
- Cálculo de costos: Análisis de la cotización por parte del fabricante.
- Fabricación de moldes de diseño: La complejidad de fabricar un tablero terminado depende de la cantidad de capas y de los diferentes diseños que estas contengan. Cada capa requiere un molde específico que debe ser fabricado previamente.
- Impresión sobre la placa de cobre: En este proceso, el diseño se transfiere inicialmente a una película fotosensible, antes de ser plasmado en la placa de cobre.
- Colocación de una película fotosensible para trazado de pistas en material conductor: Este trazo impregnara la placa de cobre con secciones que serán o no disueltas por el ácido.
- Solidificación del trazado de pistas utilizando luz ultravioleta: Este proceso garantiza la rigidez de las pistas.
- Exposición del PCB a ácido para la corrosión del material conductor no utilizado: Con la corrosión del cobre en un ácido solo quedaran los trazos protegidos por la película fotosensible, esto define la forma tamaño y espesor del trazo.
- Análisis del trazado de pistas mediante procesamiento digital de imágenes: Cada capa del PCB es inspeccionada mediante una cámara especializada para identificar posibles imperfecciones en el proceso de fabricación. Una vez que las capas se ensamblan, el PCB pasa nuevamente por un proceso de inspección para garantizar la calidad final.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

5.2. Placa de circuito impreso.

Una PCB está compuesta por un panel que le da dureza llamado “sustrato”, que regularmente está compuesto de fibra de vidrio y compuesto FR4 (material laminado de epoxico reforzado con vidrio), el cuál tiene como objetivo asegurar su rigidez.

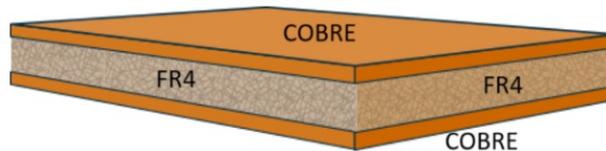


Figura 3:

Construcción de una placa de circuitos. 2025 Finline Ltd.

[<https://www.finline-global.com/es/knowledge-centre/pcb-manufacturing-process/>]

Sobre este material se deposita una capa de revestimiento de cobre de ambos lados el cual se limpia químicamente para eliminar impurezas que comprometan la calidad de la placa. El sustrato, que generalmente es un material laminado compuesto por capas de fibra de vidrio y resina epoxica, se corta a la medida deseada y se limpia para eliminar cualquier impureza que pueda afectar la adhesión de las capas posteriores. Se aplica una capa de fotorresistente sobre la superficie de cobre de la placa. Esta capa es fotosensible y se utiliza para proteger las áreas de cobre que deben permanecer en la placa después del proceso de grabado. Las películas fotográficas se colocan sobre la placa recubierta de foto resistente y se exponen a la luz ultravioleta. La luz pasa a través de las áreas transparentes de las películas, endureciendo el foto resistente en esas áreas y dejando el foto resistente blando en las áreas cubiertas por las pistas conductoras y las almohadillas.

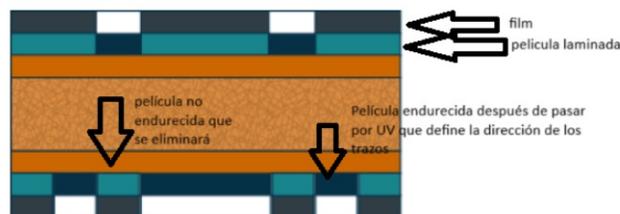


Figura 4:

Vista lateral de película ultravioleta y sustrato. 2025 Finline Ltd.

[<https://www.finline-global.com/es/knowledge-centre/pcb-manufacturing-process/>]

Las zonas que no se endurecen se eliminarán en un proceso posterior dejando únicamente la sección endurecida dando dirección a los trazos del diseño de la PCB.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

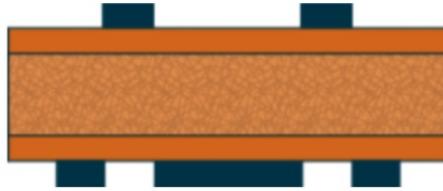


Figura 5:

Vista lateral de vías de conexión generadas por la película fotosensible. 2025 Finline Ltd.
[<https://www.finline-global.com/es/knowledge-centre/pcb-manufacturing-process/>]

Se utiliza un proceso químico o mecánico para eliminar el cobre no protegido por el foto resistente. Esto crea las pistas conductoras y las almohadillas en la placa. La placa se lava para eliminar cualquier residuo de foto resistente y se somete a un proceso de acabado para proteger las pistas conductoras de la oxidación y mejorar la soldabilidad de las almohadillas.

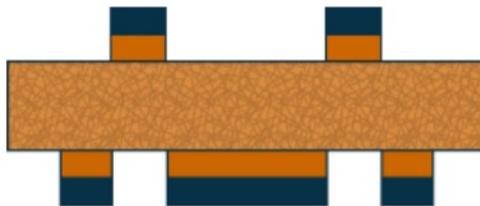


Figura 6:

Devastado de rutas con ácido. 2025 Finline Ltd.
[<https://www.finline-global.com/es/knowledge-centre/pcb-manufacturing-process/>]

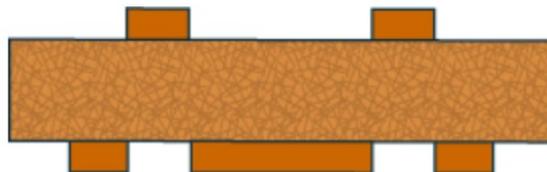


Figura 7:

Vías finales. 2025 Finline Ltd.
[<https://www.finline-global.com/es/knowledge-centre/pcb-manufacturing-process/>]

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

5.2.1. Capas de un PCB.

Las capas de un PCB, son las láminas individuales de material que componen la estructura física de la placa. Un PCB típicamente consta de múltiples capas apiladas y laminadas juntas para formar una sola unidad. Cada capa desempeña un papel específico en el diseño y funcionamiento del circuito electrónico. Las capas comunes en un PCB incluyen:

- **Capa de cobre:** Esta es la capa conductora en la que se graban las pistas y las almohadillas para conectar los componentes electrónicos. Las pistas de cobre conducen la corriente eléctrica a través del circuito y las almohadillas proporcionan puntos de conexión para soldar los componentes.
- **Capa dieléctrica o sustrato:** Esta capa aislante se encuentra entre las capas de cobre y proporciona soporte estructural a la placa. Los materiales dieléctricos comunes incluyen fibra de vidrio impregnada con resina epoxica (FR-4) u otros materiales compuestos.
- **Capas de señal:** En un PCB multicapa, puede haber múltiples capas de cobre utilizadas para enrutamiento de señales. Estas capas contienen pistas y almohadillas para interconectar los componentes del circuito.
- **Capa de tierra:** Esta capa se utiliza como plano de tierra para proporcionar un retorno de corriente de baja impedancia y un punto de referencia de voltaje común para el circuito. La capa de tierra ayuda a reducir el ruido electromagnético y mejora la integridad de la señal.
- **Capa de alimentación:** Esta capa contiene pistas de cobre dedicadas para distribuir la alimentación eléctrica a los componentes del circuito. Ayuda a garantizar una distribución uniforme de voltaje y corriente en todo el PCB.
- **Capas internas de señal o alimentación:** En PCB multi capa, puede haber capas adicionales de cobre utilizadas para enrutamiento de señales específicas o para distribución de alimentación adicional.

El número y la disposición de las capas en un PCB pueden variar según los requisitos de diseño y las complejidades del circuito. Los PCB de una sola capa son más simples y económicos, mientras que los PCB multicapa son más comunes en aplicaciones más complejas donde se requiere un enrutamiento denso de señales o una mayor integridad de la señal.

5.3. Capa de silkscreen (serigrafía).

El silkscreen es una capa impresa que proporciona información visual y de referencia sobre el diseño, los componentes y la orientación en la placa de circuito impreso. Esta capa se imprime en la parte superior y/o inferior del PCB y es visible en la superficie de la placa. Existen algunos aspectos importantes del silkscreen en un PCB:

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

- **Identificación de componentes:** El silkscreen se utiliza para etiquetar y marcar los componentes en la placa, indicando su valor, referencia, polaridad u otras características importantes. Esto ayuda a facilitar el montaje y la identificación de componentes durante el proceso de soldadura y también durante el mantenimiento o la reparación del circuito.
- **Referencia de diseño:** El silkscreen puede incluir información sobre el diseño del PCB, como el nombre del proyecto, el número de revisión, la fecha de diseño u otra información pertinente. Esto es útil para la identificación y documentación del PCB, especialmente en entornos de desarrollo o producción.
- **Marcas de orientación:** Se pueden incluir marcas de orientación en el silkscreen para indicar la orientación correcta de la placa o la ubicación de componentes críticos, como conectores o interruptores, facilitando el ensamblaje correcto del circuito.
- **Advertencias y notas:** El silkscreen se puede utilizar para proporcionar advertencias, notas o instrucciones importantes relacionadas con el manejo, el montaje o el funcionamiento del PCB.
- **Logotipos y marcas de fabricante:** Se pueden incluir logotipos, marcas de fabricante o marcas de certificación en el silkscreen para identificar el origen del PCB, cumplimiento de normativas, o certificaciones de calidad.

El diseño del silkscreen se realiza típicamente utilizando software de diseño de PCB y se incorpora como una capa adicional en el archivo de diseño del PCB. Es importante tener en cuenta las dimensiones y limitaciones de impresión al diseñar el silkscreen para garantizar que la información sea clara y legible sin obstruir las pistas o componentes críticos en la placa. Además, se debe tener cuidado al seleccionar colores de impresión que se visualicen adecuadamente con el color del sustrato de la placa para garantizar una buena visibilidad.

5.4. Componentes tipo “Through Hole (THT)”.

Un componente eléctrico THT o de agujeros utiliza orificios perforados en la PCB, atravesando de lado a lado la placa y teniendo un estañado final en la parte posterior de la misma. Los componentes Through Hole cuentan con una mayor resistencia mecánica y como su construcción es más robusta también logran resistir el paso de corrientes elevadas y su coste es menor en comparación con un componente SMD.

Los componentes Through Hole pueden ser de dos tipos.

- **Through Hole Radial:** los nodos de conexión salen de los extremos del componente, regularmente necesitan un proceso de preformado para que su longitud y doblado de terminales sea el adecuado para el tablero, ejemplos de este componente son las resistencias, los diodos, fusibles y algunos tipos de inductores.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

- Through Hole Axial: este tipo de componentes tiene sus nodos de conexión por debajo de su cuerpo, permitiendo que su inserción en el tablero sea perpendicular a este, ejemplos de estos son los circuitos integrados, capacitores, fusibles algunos tipos de transistores e inductores.

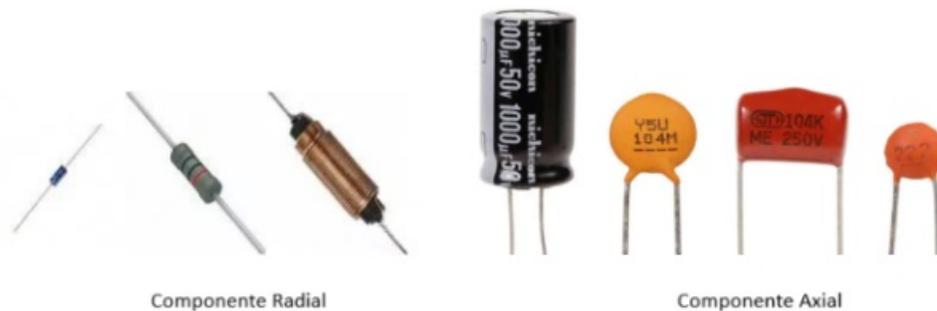


Figura 8:

Componentes Through Hole radiales y axiales. 2024 PCBWay.

[https://www.pcbway.es/pcb_prototype/Through_Hole_Assembly.html]

Para atravesar la PCB se utiliza una máquina CNC (control numérico por computadora) que tiene como objetivo realizar perforaciones limpias en el tablero, alcanzando velocidades de hasta 280,000 RPM a fin de que estos agujeros sean lo más limpios posible.

5.5. Dispositivo de Montaje Superficial (SMD).

Un componente SMD es un dispositivo capaz de colocarse y adherirse a la superficie del PCB sobre almohadillas de conexión en la superficie en lugar de ser insertados a través de orificios. Los componentes SMD son populares debido a su tamaño compacto, alta densidad de empaquetado y facilidad de montaje automatizado. Aquí hay algunos ejemplos comunes de componentes SMD:

- **Resistencias SMD:** Las resistencias SMD son componentes pasivos utilizados para limitar la corriente en un circuito. Vienen en una variedad de tamaños y valores de resistencia, y su encapsulado puede ser rectangular (0805, 0603, 0402, etc.) o de forma específica como las resistencias SMD en formato de chip.
- **Capacitores SMD:** Los capacitores SMD son componentes utilizados para almacenar y liberar energía eléctrica en un circuito. Pueden ser cerámicos, electrolíticos, de película delgada, tantalio, etc. Al igual que las resistencias SMD, vienen en diferentes tamaños y formas.
- **Diodos SMD:** Los diodos SMD son componentes semiconductores que permiten que la corriente fluya en una dirección. Pueden ser diodos rectificadores, zener, schottky, entre otros. Se utilizan en una amplia gama de aplicaciones.
- **Transistores SMD:** Los transistores SMD son componentes semiconductores utilizados para amplificación, conmutación, regulación de voltaje, y otras funciones en circuitos electrónicos. Pueden ser transistores bipolares (BJT), transistores de efecto de campo (FET), o transistores de unión de puerta aislada (IGBT), entre otros.
- **Circuitos Integrados SMD (IC):** Los circuitos integrados SMD incluyen microcontroladores, amplificadores operacionales, convertidores de señal analógica a digital (ADC) y digital a analógica (DAC), memorias, y una amplia variedad de otros chips IC en encapsulados de montaje en superficie.
- **Diodos emisores de luz (LED) SMD:** Los LED's SMD son componentes semiconductores que emiten luz cuando se polarizan en polarización directa. Son utilizados para indicaciones visuales e iluminación en una amplia variedad de dispositivos electrónicos.
- **Reguladores de voltaje SMD:** Estos componentes proporcionan una salida de voltaje regulada a partir de una entrada no regulada. Son ampliamente utilizados en fuentes de alimentación y sistemas de gestión de energía.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

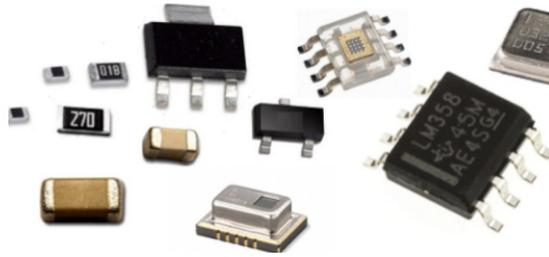


Figura 9:

Componentes de montaje superficial SMD.2014-2025 OnubaElectrónica.es
[<https://onubaelectronica.es/2020/12/24/componentes-smd/>]

5.6. Huella de conexiones (footprint).

El término "footprint" inherente a dispositivos SMD, se refiere al diseño y disposición física de las almohadillas de soldadura y otros marcadores asociados a un componente electrónico en la placa PCB. Básicamente, define la ubicación precisa y la geometría de las conexiones eléctricas necesarias para un componente específico en la placa.

Este diseño se crea siguiendo las especificaciones del componente que se utilizará en la placa e incluye detalles como la cantidad y distribución de pads, sus dimensiones, las distancias entre ellos, y cualquier marcador adicional para la orientación o alineación correcta del componente.

El diseño del footprint es fundamental para asegurar una conexión eléctrica adecuada y una soldadura confiable. Un footprint incorrecto puede provocar fallos en las conexiones eléctricas, problemas en el ensamblaje o incluso daños en el componente durante el proceso de soldadura.

Al diseñar un PCB, es esencial seleccionar o crear footprints precisos para cada componente. Muchas herramientas de diseño de PCB ofrecen bibliotecas estándar que incluyen footprints para una amplia variedad de componentes electrónicos.

6. Parámetros eléctricos críticos durante la selección de componentes electrónicos.

Un componente electrónico utilizado en la PCB tiene un papel primordial en el funcionamiento del sistema, existen elementos pasivos y activos que aportan alimentación, conmutación, oscilan, generan campos eléctricos y magnéticos y cuyo rol dentro de un sistema aporta en su comportamiento esperado. Cada componente tiene características propias debido a su construcción física, proceso de fabricación, lote del material y fabricante.

Componentes del mismo fabricante tienen diferencias incluso entre lotes de material. Debe-

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

mos tener en cuenta estas variaciones al momento de escoger un componente. Esta sección detalla algunos de los rasgos mas importantes durante su selección.

- **Tolerancias eléctricas:** El valor nominal está asociado con el comportamiento mismo del circuito y la función que cumplirá, sin embargo, este parámetro puede modificarse dependiendo el fabricante, calidad de fabricación del componente, errores de manufactura, condiciones climáticas, estrés mecánico, diseños deficientes y hasta manipulación propia del componente, por ello cada fabricante proporciona un rango de tolerancia, dentro de esta ventana estará el valor nominal del componente. Si este parámetro cambia, o el componente se somete a condiciones de voltaje o corriente distintos a su diseño existirán comportamientos inadecuados y por lo tanto problemas en la producción.
- **Dimensiones:** Cada componente tiene dimensiones físicas propia, cuando se hace una evaluación entre fabricantes se debe tener en cuenta que el componente alternativo tenga dimensiones similares u originales al actual, si esto no se cumple se incursiona en un rediseño del tablero en el mejor de los casos, y si afecta su gabinete mecánico también se tendrá que rediseñar. Si este rediseño es muy agresivo el producto final tendrá que volver a pasar por pruebas de funcionalidad, ciclos de vida, descargas eléctricas y de fuego, por mencionar algunas. Además de aprobación del equipo de manufactura para evaluar si se tiene la capacidad de producirlo y del equipo de marketing por si la experiencia del cliente se ve afectada.

6.1. Diferencia de potencial.

La diferencia de potencial comúnmente nombrado voltaje de un PCB, o placa de circuito impreso, puede variar considerablemente dependiendo de la fuente de alimentación y los componentes utilizados en el diseño del circuito. El PCB en sí mismo no tiene un voltaje inherente; más bien, actúa como el sustrato sobre el cual se colocan y conectan los componentes electrónicos que operan a diferentes voltajes. Los factores que determinan los niveles de voltaje son.

- **Fuente de alimentación:** La fuente de alimentación externa suministra el voltaje al PCB. Puede ser una batería, un adaptador de corriente, una fuente de alimentación regulada u otra fuente de energía. El voltaje suministrado por la fuente de alimentación es crucial para el correcto funcionamiento de los circuitos en el PCB.
- **Diseño del circuito:** El diseño del circuito determina cómo se utiliza el voltaje suministrado por la fuente de alimentación. Puede haber circuitos que operen a diferentes voltajes dentro del mismo PCB.
- **Reguladores de voltaje:** En algunos casos, se utilizan reguladores de voltaje en el PCB para proporcionar voltajes estables y regulados a los componentes que requieren un voltaje específico. Estos reguladores pueden ser lineales o de conmutación, y suelen

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

estar presentes cuando es necesario proporcionar voltajes específicos a componentes sensibles.

- Componentes electrónicos: Los componentes electrónicos en el PCB, como resistencias, capacitores, diodos, transistores, circuitos integrados, etc., pueden tener diferentes niveles de voltaje de funcionamiento según sus especificaciones. Es importante tener en cuenta estos niveles de voltaje al diseñar el circuito y seleccionar los componentes adecuados.

6.2. Corrientes Eléctricas.

La corriente en un PCB, al igual que el voltaje, puede variar considerablemente según el diseño del circuito y los componentes utilizados. La corriente eléctrica es el flujo de carga que se desplaza a través de las pistas conductoras y los componentes electrónicos para alimentar y hacer funcionar el circuito.

Existen diferentes tipos de corrientes en el circuito impreso.

- De alimentación: La corriente de alimentación en un PCB se refiere a la corriente suministrada por la fuente de alimentación principal del circuito. Esta corriente puede variar dependiendo de la carga total del circuito, es decir, la suma de las corrientes consumidas por todos los componentes del circuito.
- De los componentes: Los diferentes componentes electrónicos en el PCB pueden consumir diferentes cantidades de corriente, dependiendo de su función y de cómo se utilicen en el circuito.
- De salida: Algunos componentes, como los reguladores de voltaje, pueden suministrar corriente a otros componentes del circuito. La corriente de salida de estos componentes es importante para garantizar que se satisfacen las demandas de corriente de los dispositivos que están alimentando.
- Pico: Algunos componentes, como los motores, los transistores de potencia, los relés, etc., pueden generar picos de corriente durante su funcionamiento. Un ejemplo de esto son los capacitores que demandan una gran corriente pico al momento de cargarse y los motores al momento del arranque.

6.3. Evaluación de semiconductores de protección.

Los semiconductores son fundamentales en la electrónica de potencia debido a sus propiedades y capacidades específicas, que permiten controlar y gestionar la energía eléctrica de manera eficiente. Un buen diseño eléctrico emplea semiconductores para funciones como regulación de voltaje, protección, rectificación, control de corrientes, aislamiento y generación de señales de control, entre otras.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

Dado el amplio uso de diodos y transistores en aplicaciones de potencia, un parámetro de diseño esencial es la región de operación a la que estará sometido cada componente.

Esta región de operación define el comportamiento del componente en función de las condiciones de voltaje y corriente aplicadas. Comprender estas regiones de operación es crucial para prever cómo responderá el componente en el circuito específico para el cual será utilizado. La selección inadecuada de un componente, con un comportamiento distinto al requerido, podría comprometer el funcionamiento del sistema.

6.4. GDT: Tubo de descarga de gases protección contra descargas de rayos.

Los tubos de descarga de gas (GDT), comúnmente conocidos como tubos de protección contra rayos, son dispositivos de protección colocados en un PCB y están destinados a atenuar sobre-tensiones. Están sellados herméticamente en envolturas de cerámica que contienen gases inertes. Cuando se produce una sobre-tensión anormal en ambos extremos del tubo de descarga, los gases inertes en su interior se ionizan. Esto genera un canal de baja resistencia entre los dos electrodos del tubo, similar al cierre instantáneo de interruptores en paralelo, lo que permite la descarga de la sobre-corriente y protege el circuito electrónico conectado.

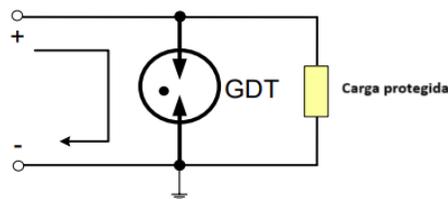


Figura 10:
Configuración común de un tubo de descarga de gases.

existen tres regiones de operación de un GDT:

1. Región de no conducción: Cuando la tensión aplicada es baja, el GDT se encuentra en un estado de alta impedancia y no conduce corriente. En esta región, el tubo de descarga de gas actúa como un aislante, y la corriente es prácticamente cero.
2. Región de ruptura (breakdown): Al aumentar la tensión, se alcanza el voltaje de ruptura, o tensión de disparo, que varía según el diseño del GDT. En este punto, se ioniza el gas dentro del tubo y se produce una descarga. Esto provoca que la resistencia interna del GDT caiga bruscamente y permite que la corriente fluya rápidamente.
3. Región de conducción: Una vez alcanzada la ruptura, el GDT entra en una región de baja resistencia. En esta etapa, el GDT permite el paso de una corriente significativa

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

mientras mantiene la tensión en sus terminales en un valor bajo y relativamente constante, llamado tensión de arco. Esta tensión de arco es mucho menor que el voltaje de ruptura. En esta región, el GDT desvía la corriente de la sobre-tensión hasta que esta disminuye y el dispositivo vuelve a su estado inicial.

6.5. Variaciones con el cambio de temperatura.

Un componente electrónico puede tener comportamientos distintos dependiendo de la temperatura ambiental donde estará sometido, esta juega un rol importante ya que variaciones en sus parámetros perjudican a todo el sistema.

Esta sección ejemplifica los aspectos a tener en cuenta durante la selección inicial del mismo.

- Resistencia: En la mayoría de los materiales conductores, la resistencia eléctrica aumenta con la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, la resistencia de los componentes como resistencias y conductores también aumenta. Este efecto puede ser significativo en aplicaciones donde la precisión de la resistencia es crítica.
- Capacitancia: La capacitancia de los condensadores puede variar con la temperatura debido a cambios en las propiedades dieléctricas del material. En general, la capacitancia tiende a disminuir con el aumento de la temperatura en los capacitores cerámicos, mientras que en los capacitores electrolíticos puede aumentar o disminuir dependiendo del tipo y la construcción del condensador.
- Inductancia: La inductancia de los inductores también puede variar con la temperatura debido a cambios en las propiedades magnéticas del núcleo del inductor y en el material del devanado. En general, la inductancia tiende a disminuir con el aumento de la temperatura.
- Diodos y transistores bipolares: La temperatura puede afectar significativamente las características de los diodos y los transistores bipolares. Por ejemplo, en los diodos, la corriente de fuga y la caída de voltaje directo pueden aumentar con la temperatura. En los transistores bipolares, la corriente de fuga de base y la ganancia de corriente (h_{FE}) pueden verse afectadas por la temperatura.
- Transistores de efecto de campo (FET): En los FET, la temperatura puede afectar las características de umbral y la conductancia del canal. En general, la mayoría de los FET tienen una sensibilidad relativamente baja a la temperatura en comparación con los transistores bipolares.
- Circuitos integrados: La temperatura puede afectar el rendimiento y la fiabilidad de los circuitos integrados, especialmente en aplicaciones de alta frecuencia y alta precisión. La temperatura puede afectar las características de corriente de fuga, velocidad de conmutación, estabilidad de la tensión de referencia y otros parámetros importantes.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

Es importante considerar los efectos de la temperatura al diseñar circuitos electrónicos, especialmente en aplicaciones donde la precisión, la estabilidad y la fiabilidad son críticas. Es posible que sea necesario implementar medidas de compensación térmica o utilizar componentes con especificaciones de temperatura adecuadas para garantizar el rendimiento óptimo del circuito en una variedad de condiciones ambientales.

7. Certificados de regulación.

Para un PCB, los certificados regulatorios típicamente se relacionan con la conformidad de los materiales utilizados en su fabricación y, en algunos casos, con las regulaciones ambientales así como de seguridad.

- **RoHS (Restriction of Hazardous Substances):** Este certificado asegura que el PCB cumple con las restricciones de sustancias peligrosas, como plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente, y algunas bromadas. El cumplimiento de RoHS es crucial para garantizar la seguridad ambiental y la salud de los consumidores.
- **REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals):** REACH es una regulación de la Unión Europea que aborda el registro, la evaluación, la autorización y la restricción de sustancias químicas. Aunque no es un certificado específico, el cumplimiento de REACH es relevante para los fabricantes de PCB para garantizar el uso seguro de productos químicos durante el proceso de fabricación.
- **UL (Underwriters Laboratories):** Aunque no es exclusivo de los PCB, UL emite certificados para materiales y productos que cumplen con los estándares de seguridad específicos de UL. Los fabricantes de PCB pueden obtener certificados UL para los materiales utilizados en la construcción de PCB para demostrar su seguridad.
- **IPC (Institute of Printed Circuits):** IPC desarrolla estándares y certificaciones para la industria de la electrónica, incluidos los estándares de fabricación de PCB. Obtener certificaciones IPC puede demostrar que los PCB se han fabricado de acuerdo con estándares reconocidos internacionalmente.

7.1. Compatibilidad Electromagnética IEC 61000.

La norma IEC 61000 es una serie de estándares desarrollados por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) que abordan la compatibilidad electromagnética (EMC en inglés). Esta serie de normas establece los límites y las prácticas recomendadas para controlar las emisiones electromagnéticas y garantizar la inmunidad de los equipos eléctricos y electrónicos a diversas fuentes de interferencia electromagnética.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

La IEC 61000 se compone de varias partes, cada una enfocada en aspectos específicos de la compatibilidad electromagnética, como las emisiones conducidas y radiadas, la inmunidad a interferencias electromagnéticas, los métodos de ensayo, los límites y las medidas de mitigación. Estos estándares son ampliamente utilizados en la industria para garantizar que los dispositivos eléctricos y electrónicos funcionen correctamente en entornos donde pueden estar sujetos a interferencias electromagnéticas.

7.2. Validación de los cambios del diseño (DVT).

Cuando se planea hacer cualquier modificación al diseño de un PCB por mínimo que sea debe cumplir estándares de funcionamiento establecidos por la marca, en este caso el cambio que realicé implicaba afectar tres grandes características del operador. La primera, garantizar que este cambio no afectará la funcionalidad del producto, eléctricamente hablando, un cambio mínimo como el reemplazo de tecnología de montaje en los interruptores modifica la cantidad de cobre depositada en el tablero y por lo tanto puede cambiar la capacitancia de la placa y generar emisiones conducidas a la línea de alimentación, lo cuál, implicaría ineficiencia en su uso además de una nueva validación de emisiones. Otra área importante es la experiencia del usuario final y la competencia en el mercado, al realizar un proyecto de productividad se debe cuidar que la calidad de ensamble final y de interacción con el usuario no se vea afectada, es decir si se eliminan componentes del tablero, como fue el caso, que estos no impliquen una sensación de fragilidad o de mala calidad en el producto que perjudique las ventas. El cambio de Through Hole a SMD en los interruptores tiene que pasar pruebas de funcionamiento las cuales son:

- Prueba de continuidad: Esta prueba verifica si el interruptor táctil hace o no hace contacto eléctrico cuando se presiona. Se utiliza un multímetro para medir la continuidad a través de los terminales del interruptor tanto en la posición abierta como en la posición cerrada.
- Prueba de ciclo de vida: Esta prueba implica repetir el ciclo de presionar y liberar el interruptor táctil muchas veces (a menudo miles o incluso millones de ciclos) para evaluar su durabilidad y confiabilidad a lo largo del tiempo.
- Prueba de fuerza de activación: Se mide la fuerza necesaria para activar el interruptor táctil, es decir, la cantidad de presión que se requiere para que el interruptor haga contacto. Esta prueba es importante para garantizar que la fuerza de activación del interruptor esté dentro de las especificaciones del diseño.
- Prueba de resistencia al medio ambiente: Se somete el interruptor táctil a condiciones ambientales extremas, como temperatura, humedad, vibración, choque mecánico, etc., para evaluar su resistencia y durabilidad en diferentes entornos.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

- Prueba de sellado: Si el interruptor táctil es resistente al agua o al polvo, se puede realizar una prueba de sellado para verificar que cumpla con la clasificación de protección IP específica (por ejemplo, IP67).
- Prueba de corrosión: Se puede realizar una prueba de resistencia a la corrosión para evaluar cómo el interruptor táctil responde a ambientes corrosivos o exposición a productos químicos.
- Prueba de interferencia electromagnética: La prueba de interferencia electromagnética (EMI, por sus siglas en inglés) es un procedimiento utilizado para evaluar la capacidad de un dispositivo electrónico para funcionar correctamente en presencia de campos electromagnéticos externos o para determinar la cantidad de radiación electromagnética que emite el dispositivo. Esta prueba es importante para garantizar que el dispositivo cumpla con los estándares de interferencia electromagnética y no cause interferencias perjudiciales en otros dispositivos cercanos. La interferencia electromagnética puede surgir de varias fuentes, como dispositivos electrónicos cercanos, fuentes de alimentación conmutadas, motores eléctricos, equipos de radio, antenas de transmisión, entre otros. Esta interferencia puede afectar el funcionamiento normal de otros dispositivos electrónicos, causando fallos, errores o degradación del rendimiento. Durante la prueba de EMI, el dispositivo se somete a condiciones simuladas de interferencia electromagnética utilizando equipos especializados que generan campos electromagnéticos de frecuencias específicas y amplitudes controladas. Estas condiciones de prueba pueden incluir campos eléctricos y magnéticos de diferentes frecuencias y niveles de intensidad.

8. Participación profesional.

Mi labor en la implementación de este proyecto comenzó con la definición de la familia de dispositivos a modificar. En el caso de los productos industriales, el área de enfoque fue la familia Nitrous, diseñada para la apertura de puertas en comunidades. Una vez identificada esta línea, se obtuvo el costo total de la lista de materiales (Build of Materials, BOM) a nivel de PCB terminado.

Con base en este análisis, identifiqué los componentes con tecnología de montaje Through Hole que podían ser automatizados. Posteriormente, me puse en contacto con los proveedores para solicitar sus propuestas y evalué su adecuación y compatibilidad con el proceso de manufactura correspondiente.

Finalmente, con las opciones seleccionadas ajustadas en términos de costo y capacidad de producción, realicé el rediseño de los cuatro PCB. Además, coordiné la producción de prototipos y ejecuté las pruebas de validación de ingeniería necesarias para garantizar su correcto funcionamiento.

8.1. Lista de materiales (Build of Materials BOM).

Cada producto que vendemos está compuesto por múltiples partes que funcionan como un solo sistema. Una vez ensamblado completamente, se denomina ensamble final. Cada ensamble final incluye diversos subensambles; por ejemplo, en el caso de los tableros, estos están conformados por el PCB y los componentes eléctricos. Al conjunto ordenado de partes de un sub-ensamble se le conoce como "Build of Materials (BOM)". Este BOM fue utilizado para identificar las partes de Through Hole que utilizaban los tableros. Con esta lista se evaluó de forma individual basándose en:

- **Automatización:** Para que un componente fuera identificado como apto para automatizar, era necesario realizar un cambio en su empaquetado de fábrica o en su tecnología de montaje a superficial (SMD). Este cambio no debía generar un incremento en el costo superior al 5 %.
- Es fundamental ser cauteloso al modificar los trazos en el diseño del PCB, ya que estos cambios pueden interrumpir los planos de tierra. Esto requeriría una validación eléctrica para asegurar el cumplimiento en emisiones de radiofrecuencia radiadas y conducidas. Además, este proceso implicaría un aumento en la inversión del proyecto, ya que sería necesario cubrir los costos adicionales asociados a dichas pruebas.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

8.2. Componentes afectados.

Después de obtener el BOM completo de cada tablero y filtrar los componentes por tipo de montaje Through Hole, el equipo de abastecimiento mandó la lista a los diversos fabricantes, los cuales respondieron con las opciones viables para su cambio, se ejemplifica en la siguiente tabla:

Componente	Empaquetado Actual	Opciones de automatización	Cambio de precio
Capacitor Electrolítico	Bolsa	1. Cinta y Rollo 2. Bandeja 3. Rediseño	1. 0 % 2. 20 % 3. Necesita validación
Bloque de conexiones	Bolsa	1. Rediseño	1. Necesita validación
Conector tipo header	Bolsa	1. Eliminación 2. Rediseño	1. Necesita validación
Bloque de terminales	Bolsa	1. Rediseño	1. Necesita validación
Interruptores de programación	Bolsa	1. Rediseño SMD	1. Necesita validación
Capuchones de colores	Bolsa	1. Eliminación de parte	1. Necesita validación
GDT's	Bolsa	1. Rediseño SMD	1. Necesita validación

8.3. Evaluación de automatización de componentes.

En esta sección detallare las evaluaciones eléctricas y de automatización a las que sometí los componentes electrónicos a fin de obtener la mejor manera de lograr su automatización o por que fueron descartados.

La metodología utilizada para validar que un componente pueda ser reemplazado tiene como prioridad mantener la calidad del producto, la compatibilidad con el producto ya existente en campo, facilidad de fabricación y por ultimo que tanto cambia con respecto a su implementación actual y esto como afecta o beneficia en términos de su costo.

8.3.1. Capacitor electrolítico de potencia.

Su función es filtrar el ruido proveniente de la línea de alimentación y los picos de voltaje que la fuente conmutada no atenúa por completo.

Debido a sus dimensiones físicas (alto, ancho y altura), estas deben ser consideradas al buscar opciones para su auto-insersión. La altura nominal de este componente es de 35.5 [mm], sin incluir sus nodos de conexión.

La capacidad actual de la planta para componentes de Through Hole, sin importar su categoría, no admite una altura mayor a 20 [mm]. Por esta razón, el componente no pudo ser automatizado.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

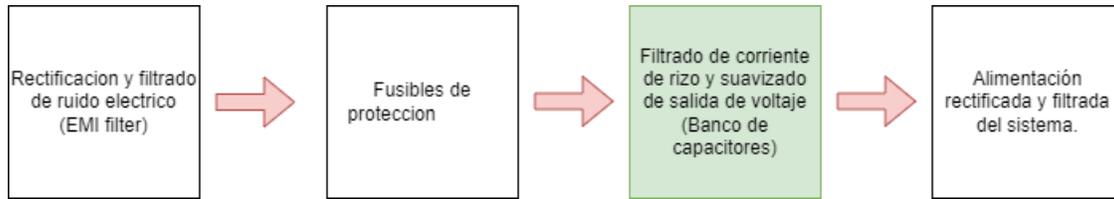


Figura 11: Diagrama de bloques de utilización de capacitores

8.3.2. Bloque de conexiones de motor.

Es utilizado para establecer una alimentación y comunicación física entre el actuador lineal y el PCB. Este conector cuenta con seis nodos, dos de ellos suministrar alimentación el voltaje nominal de funcionamiento es de 12 [V], pero los motores al momento de su arranque requieren un pico de corriente máximo de 50 [A] transitorios y 20 [A] de manera continua ya que al inicio del movimiento deben romper la inercia de la puerta. Este nodo también sirve para comunicarse a través de señales lógicas 5 [V], el PCB espera recibir del motor su velocidad y dirección y además de recibir de vuelta información proveniente del encoder para conocer la posición actual del sistema y no rebasar los límites programados. Este módulo de conexiones tiene variaciones en sus dimensiones físicas, la única manera de automatizarlo sería con la maquina de pick and place, pero al no contar con una forma uniforme definida no puede ser tomada con el actuador de la maquina de auto inserción. Debido a estas complicaciones de diseño irregular y falta de superficies de sujeción esta pieza no se puede automatizar.

Este conector tiene una construcción empleando un sistema "Poka-Yoke", el cual puede observarse en la parte superior del mismo con unos arcos presentes en su construcción, lo cual permite que el usuario solo pueda conectarlo de una sola manera, esto con la finalidad de no interconectar líneas de voltajes con conexiones lógicas y dañar el PCB.

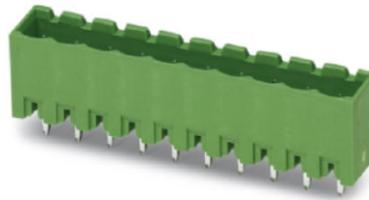


Figura 12:
Conector PCB vertical. 2025 Mouser Electronics, Inc.
[<https://www.mouser.es/ProductDetail/Phoenix-Contact/>]

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

Debido a esta forma física sin uniformidad el equipo de auto-inserción no puede sujetarla y no hay manera de automatizar este componente.

8.3.3. Conector tipo header.

Este tipo de conectores son comúnmente utilizado en la industria para entablar comunicaciones electrónicas que no requieren alta potencia. El diseño no uniforme del componente "Poka-Yoke" ayuda al usuario a efectuar la conexión correctamente, evitando errores de cortocircuito. Esta condición que beneficia al proceso de fabricación del equipo también perjudica al momento de buscar un reemplazo para automatizar, al igual que la parte anterior el equipo de auto-inserción en piso de producción no está diseñado para sujetar piezas con formas irregulares o sin superficies planas de adherencia. Debido a esto el componente no puede automatizarse y se descartó.

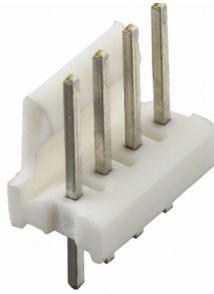


Figura 13:
Conector tipo header. 2025 TE
Connectivity.[<https://www.te.com/es/product-640456-4.html>]

8.3.4. Inductor de potencia.

En el circuito de recarga de batería del diseño actual se debe asegurar que el voltaje y la corriente tenga la menor cantidad de variaciones de voltaje posibles. El propósito de este inductor de potencia es, debido a su construcción, oponerse a cambios repentinos en la intensidad de corriente. De aumentar o disminuir estos transitorios la batería estaría expuesta a cambios en la potencia de carga, poniendo en peligro la integridad de las mismas, del equipo y del cliente.

Cuando la batería del operador está descargada y el proceso de recarga comienza, el inductor de potencia establecerá un límite de corriente que consumirá la batería.

Como las baterías del operador tienen una composición de Níquel - Cadmio mantendrán su voltaje hasta tener un 15% de carga restante. Cuando esto sucede, su recarga comenzará demandando corriente al inductor, el cual debe ser capaz de mantener una corriente promedio de 2 [A] con un transitorio máximo de 3.4 [A].

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.



Figura 14:

Cambio de tecnología del inductor de 150 $[\mu\text{H}]$. 2025 BOURNS.[<https://www.bourns.com/>]

Para validar este componente tuve que asegurarme entender el aporte del inductor al circuito de carga de la batería, además la variable mas importante a considerar era la corriente nominal que el inductor podría soportar, esta es la corriente máxima que puede pasar a través del inductor sin que éste supere sus límites térmicos o magnéticos.

La corriente nominal se determina considerando varios factores:

- Calentamiento Térmico: La corriente que fluye a través del inductor genera calor debido a la resistencia del conductor (pérdidas resistivas). La corriente nominal se define para asegurar que el inductor no se sobre-caliente y mantenga su temperatura dentro de los límites especificados.
- Saturación del Núcleo: En inductores con núcleo magnético, la saturación ocurre cuando el núcleo no puede soportar un aumento adicional de flujo magnético. La corriente nominal debe ser lo suficientemente baja para evitar la saturación del núcleo, lo que afectaría el rendimiento del inductor.

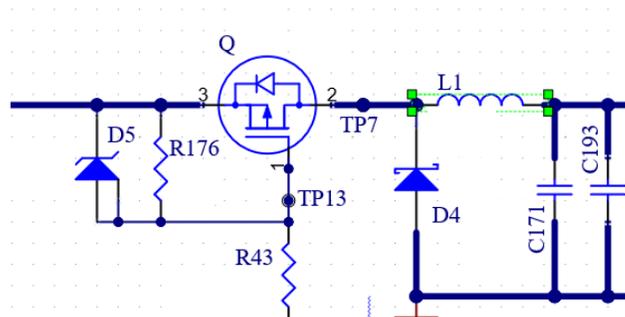


Figura 15: Diagrama eléctrico de carga con inductor involucrado en el cambio

El inductor propuesto es una pieza existente en el inventario, utiliza tecnología de montaje superficial y se puede automatizar ya que se coloca de forma automática en otros PCB.

La razón por la que esta idea fue desechada fue que este nuevo inductor tenía una corriente nominal máxima de 2 [A] con una tolerancia del 20%. Si sometemos este inductor a un

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

pico de corriente de 3 [A] estaremos incrementando 1.5 veces la corriente a través de el, sobre calentando su núcleo y tirando la inductancia, si esto sucede el inductor se comportará como un corto circuito y no limitara el paso de corriente a través de el, provocando un mal funcionamiento del sistema.

Si se quería automatizar el proveedor nos ofreció una alternativa capaz de soportar estos 3.2 [A] con un componente cuya construcción era mas robusta. Pero así como se incrementaron sus parámetros eléctricos también el costo aumento al doble, siendo esta la razón final de su rechazo en el proyecto.

8.4. Interruptores Táctiles Through Hole a SMD.

Un componente identificado como candidato ideal para la automatización es un interruptor de configuración del sistema, conocido como "Tactile Switch". Este componente permite la interacción directa con el usuario para configurar los límites de movimiento de la puerta y operar su movimiento de forma manual. A continuación, se detallará su función dentro del sistema, las opciones de automatización disponibles y la propuesta de diseño correspondiente.

8.4.1. Participación dentro del sistema.

Durante la instalación del sistema en las puertas, debido a la amplia variedad, diseños y modelos de zaguanes los mecanismos necesitan ser programados para conocer el recorrido completo de movimiento que tendrá que realizar para abrir y cerrar la puerta.

Este proceso tiene la finalidad de grabar en el microcontrolador el límite de apertura total y el límite de cierre de la puerta; La manera de aprender e interactuar con la PCB es utilizando un arreglo de ocho botones táctiles que, de acuerdo con el manual se debe seguir el siguiente procedimiento.

1. Configurar el interruptor de PORTÓN en posición 1, ya que el operador tiene capacidad de manejar dos puertas debemos de configurar una por una.
2. Dejar presionados los botones SET OPEN y SET CLOSE simultáneamente hasta escuchar la alarma sonar una vez.
3. Mantener presionado uno de los botones MOVE GATE para mover el portón al limite de apertura o cierre.
4. Presionar durante cinco segundo el botón SET OPEN o SET CLOSE cuál sea el caso.
5. Mantener presionado el botón contrario al presionado MOVE GATE para desplazar la puerta al limite faltante.
6. Mantener presionado durante cinco segundos el boton SET que reste.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

7. Si este procedimiento se realiza con éxito los LED's indicadores de limites dejaran de parpadear.
8. Este procedimiento de aprendizaje también sirve para que sistema sense automáticamente cuanta fuerza necesita para poder desplazar la puerta y aprender los tipos de limites que tiene conectados.
9. Configurar el interruptor de GATE en la posición 2 para configurar la segunda puerta y repetir los pasos

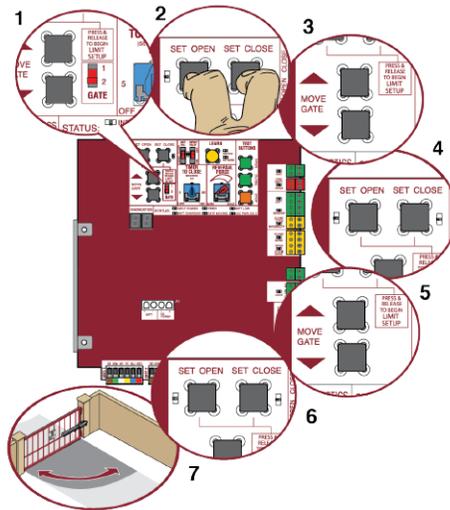


Figura 16:

Procedimiento de configuración de limites y fuerzas.2025 LiftMaster.

[<https://liftmasterlatam.com/storage/productos/archivos/22zmyaiXQktxhHo9v7l93iuaUvgKuSXeKWQK>

[2]

Esta configuración de botones sirve además para configurar accesorios para el sistema como clickers que van colocados en las viseras automotrices, wall controls y kepads externos así como un botón STOP de emergencia.

8.4.2. Construcción y búsqueda de sustitutos.

Actualmente, este componente debe ser colocado manualmente por un operador durante el proceso de ensamblaje. Para automatizar su colocación, el botón necesita una superficie de adherencia uniforme que permita a una punta de vacío sujetarlo correctamente. Sin embargo, dado que el diseño actual incluye una tapa plástica extraíble, no es posible automatizar el proceso en su estado actual. La solución propuesta consiste en modificar la estructura física

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

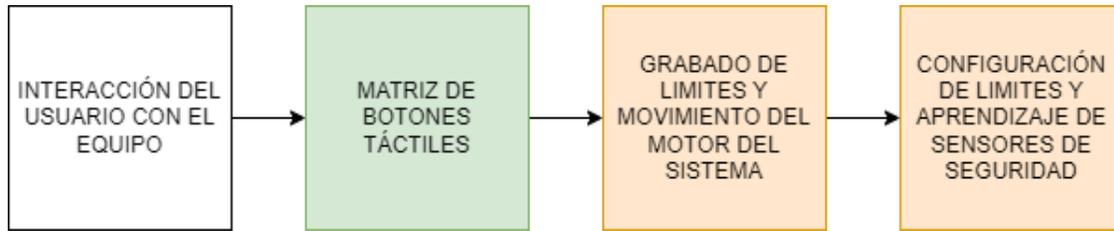


Figura 17:
Diagrama de interacción del usuario con el sistema.

del componente, asegurando la presencia de una superficie plana que facilite la automatización.

Al cambiar la tecnología de este componente a montaje superficial de debe modificar también el terminado plástico superior que da el color identificador al botón. Al incluir el color identificador en el mismo componente se pudo evitar colocar una pieza adicional para el identificado, este botón todo en uno ahorrando el costo del mismo además de poder colocar el nuevo botón de forma automática.

8.5. Rediseño de PCB Layout.

En el análisis del total de piezas con tecnología Through Hole presentes en el BOM, se identificaron dos componentes que cumplían con las especificaciones de automatización requeridas: el interruptor táctil SMD y el tubo de descarga de gases GDT. Ambos componentes serían integrados mediante tecnología de montaje superficial (SMT) y, para lograr esto, fue necesario realizar un rediseño del PCB layout.

8.5.1. Interruptor TH a SMD.

Una vez seleccionado el componente sustituto y tras establecer conversaciones con el proveedor para garantizar que se tuviera el inventario con demanda anual de los componentes, se inició la modificación del diseño del tablero utilizando el software de diseño de PCB's. Partiendo del diseño actual, se creó el footprint de la nueva parte empleando los archivos STEP proporcionados por el fabricante, los cuales son compatibles con cualquier software de diseño.

Cada tablero utiliza ocho botones, excepto un modelo que emplea solo seis. Después de importar el archivo de diseño del nuevo botón, el siguiente paso es reemplazarlo en el esquemático. Es fundamental considerar las conexiones, ya que deben enlazar las redes específicas del botón actual. Si el circuito se conecta de manera incorrecta, el software de diseño invertirá las conexiones, lo que podría causar un mal funcionamiento en el PCB.

Como se muestra en las figuras 18 y 19, el círculo punteado en la figura 19 indicaba el acabado plástico de color, el cual fue eliminado en el nuevo diseño. Además, el nuevo botón

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

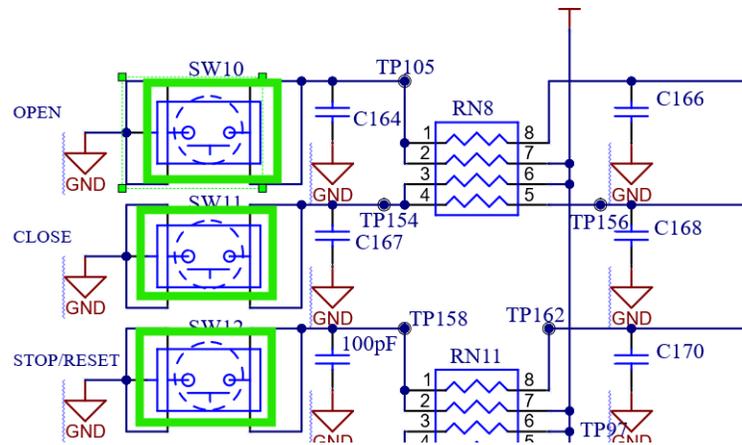


Figura 18: Ubicación y principio de conexión de interruptores en el diagrama eléctrico

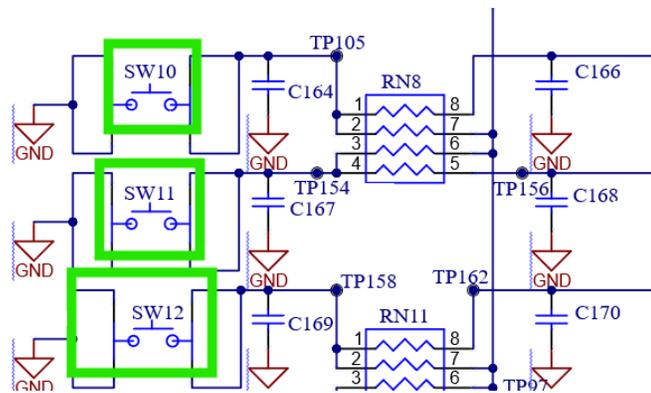


Figura 19: Cambio de componente en el diagrama de conexiones conexión adecuada.

requería invertir sus conexiones para alinearse con las del modelo anterior, ya que en el diseño original del fabricante estas conexiones estaban invertidas.

Al ser un nuevo componente con diferencias en su tipo de conexión debido al montaje superficial se debió crear su propio footprint en las bibliotecas internas de componentes dentro del software. Una pieza con inserción Through Hole requiere, necesariamente, un orificio que atraviese el PCB de extremo a extremo. Para ello, la máquina CNC perfora un orificio con el diámetro adecuado para la pata del componente, el cual posteriormente será estañado. Este orificio se denomina "vía de conexión".

La principal ventaja de este método es que, al atravesar el PCB, permite conectar un único componente utilizando múltiples capas del mismo, lo que mejora la integridad eléctrica y mecánica del circuito.

El botón que se utiliza actualmente en el PCB, al ser de montaje Through Hole, asegura la conexión entre las capas superior e inferior del PCB. Además, crea un par de vías de tierra

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

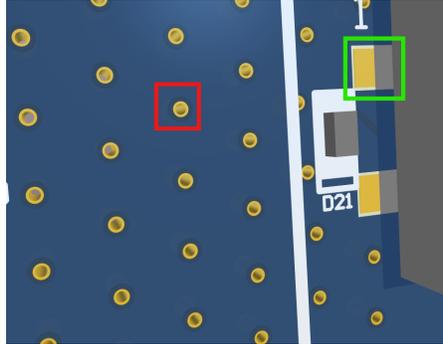


Figura 20: Vía de conexión (ROJO) contra PAD de conexión (VERDE).

que garantizan este enlace y, al mismo tiempo, interconectan los planos de tierra de ambas capas del PCB.



Figura 21:

Interruptor con conexión de Through Hole.2025 Mouser Electronics, Inc..
[<https://www.mouser.mx/>]

El nuevo interruptor, al emplear tecnología SMD, solo puede establecer su conexión eléctrica en el plano en el que está físicamente ubicado. Si se requiere una interconexión con planos inferiores o intermedios, será necesario implementar vías adicionales. Estas vías también son esenciales para garantizar una adecuada interconexión entre los planos de tierra, asegurando así la continuidad eléctrica y el correcto funcionamiento del diseño.



Figura 22:

Interruptor con conexión de montaje superficial.2025 Mouser Electronics, Inc.[<https://www.mouser.mx/>]

Este interruptor esta en configuración del pull-up con su debida resistencia y un capacitor de filtrado de ruido eléctrico, por lo que hay una conexión con un voltaje lógico 3.3 [V] y tierra física.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

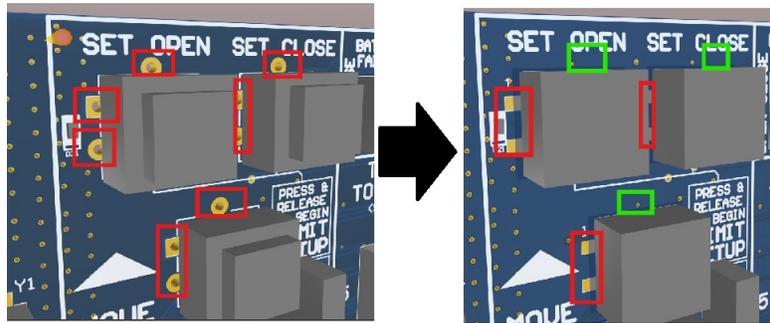


Figura 23: Diferencias en vías y pads de conexiones eléctricas

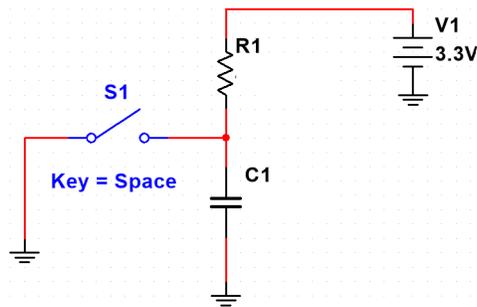


Figura 24: Diagrama de conexión pull up de los interruptores.

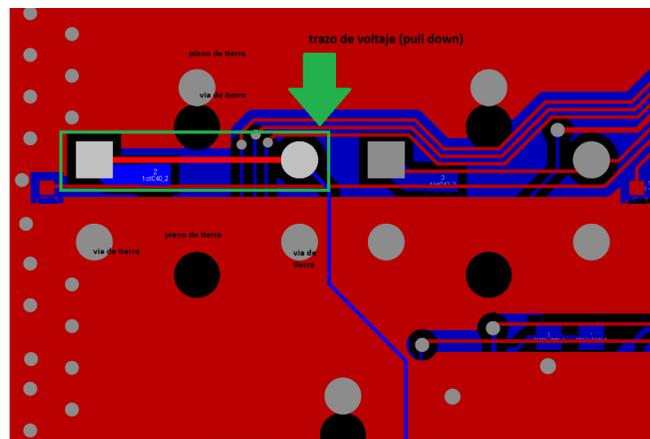


Figura 25: Diagrama de conexión en PCB Layout (TOP SIDE)

La Figura 25 ilustra la conexión actual del interruptor en la PCB. Esta configuración requiere al menos cuatro vías de orificio (Through Hole). Dos de estas vías están designadas para la conexión a tierra, mientras que una tercera se reserva como una opción adicional, en caso de que el proveedor entregue el componente con dicha configuración.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

Las dos vías restantes se utilizarán para la conexión lógica y deberán estar puenteadas entre sí para completar el circuito.

Las tres vías de tierra que tiene el botón aseguran que el plano de tierra del lado superior este conectado con el plano de tierra del lado inferior, esto se aprecia en la siguiente figura.

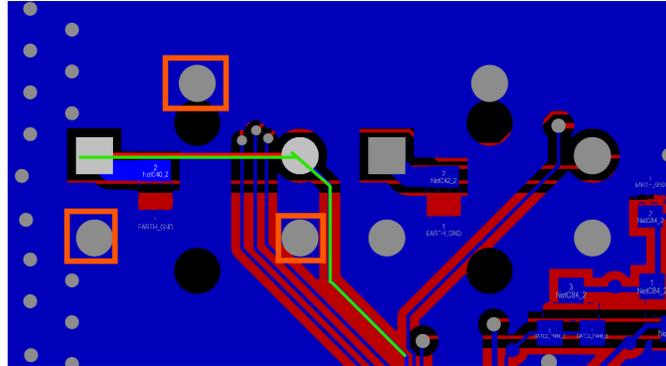


Figura 26: Diagrama de conexión en PCB Layout (BOTTOM SIDE).

En la Figura 26 se muestra cómo los tres orificios marcados en naranja, correspondientes a la construcción del botón, establecen una conexión física entre los dos planos de tierra. Por su parte, el trazo resaltado en verde proporciona la conexión a un valor lógico de voltaje.

Al cambiar de tecnología Through Hole a SMD, el componente pierde la capacidad de conectar directamente los planos de tierra. Por lo tanto, será necesario agregar vías adicionales en esa zona para mantener dicha conexión y garantizar la continuidad eléctrica entre los planos.

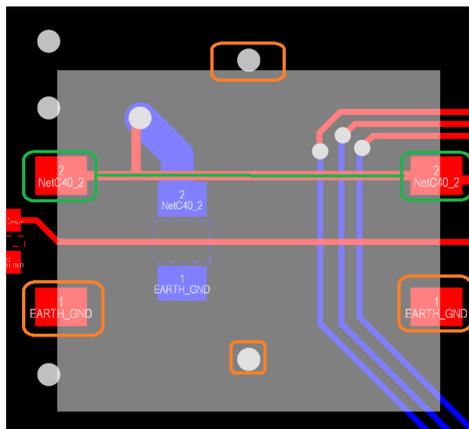


Figura 27: Nuevo botón colocado Surface Mount Device.

En el rediseño mostrado en la Figura 27, se observa que los cuatro nodos de conexión ahora aparecen en color rojo, lo que indica que están ubicados exclusivamente en el plano superior

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

del PCB (TOP side). Esto implica que el botón solo puede establecer conexiones en dicho plano. El trazo lógico de voltaje, resaltado en verde, incluye un capacitor de filtrado y un elemento de protección contra descargas electrostáticas (ESD).

En la parte inferior, los pads de conexión a tierra no establecen contacto físico con el plano inferior. Para resolver este problema y evitar la desconexión de los planos en la zona afectada, se añadieron vías centrales, resaltadas en naranja, colocadas en la misma posición de los orificios originales. Estas vías aseguran la continuidad eléctrica entre los planos de tierra.

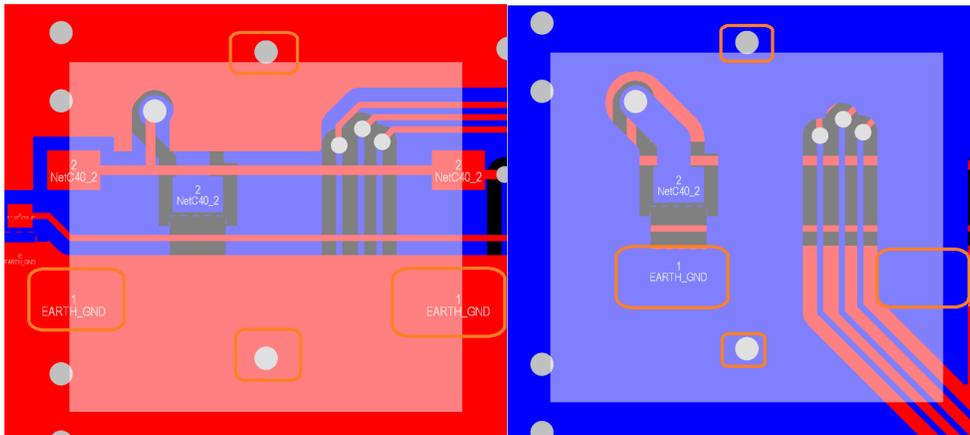


Figura 28:

Perspectiva de ambos planos con la interconexión a tierra mediante vías adicionales.

Este mismo procedimiento se aplicó a los siete botones restantes y a cada uno de los cuatro tableros afectados. Dado que es un cambio de diseño mínimamente invasivo, el comportamiento del tablero no se verá afectado de ninguna manera.

8.5.2. Diodo GDT TH a SMD.

La construcción de un Dispositivo de Descarga de Gas (GDT, por sus siglas en inglés) consiste en un cilindro de material cerámico que contiene gases inertes y dos electrodos aislados eléctricamente por el gas. Cuando la diferencia de tensión entre los electrodos alcanza un umbral específico, el gas inerte se ioniza, permitiendo la descarga de corriente hacia tierra. Esta corriente, en busca del camino más corto hacia tierra, una buena practica de diseño es colocar los GDT's en nodos de conexión o entradas de los circuitos para protegerlos de picos de tensión.

Estos dispositivos son colocados en paralelo entre una entrada al sistema y tierra como se muestra en el diagrama siguiente:

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.



Figura 29:
Tubo de descarga de gases Through Hole.2025 Mouser Electronics, Inc..
[<https://www.mouser.mx/>]

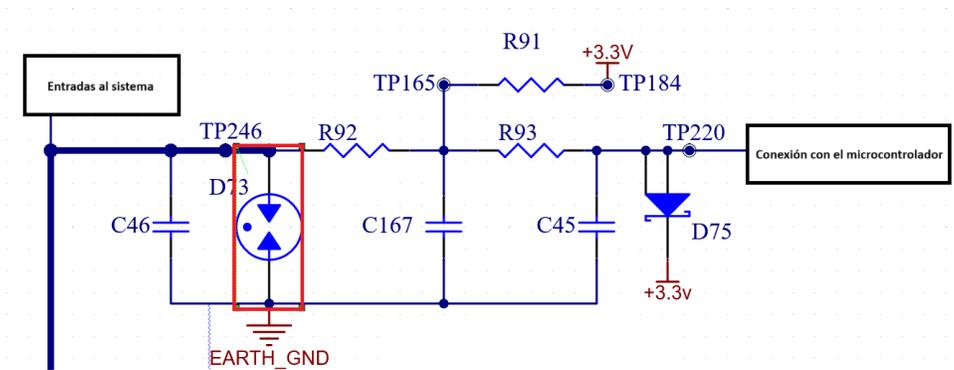


Figura 30:
Conexión sugerida para correcto funcionamiento de un GDT.

Dentro del PCB su inserción requiere dos orificios con un diámetro de 1.14 [mm] y un platinado exterior de 2.14 [mm] y una separación entre sus centros de 12.7 [mm].

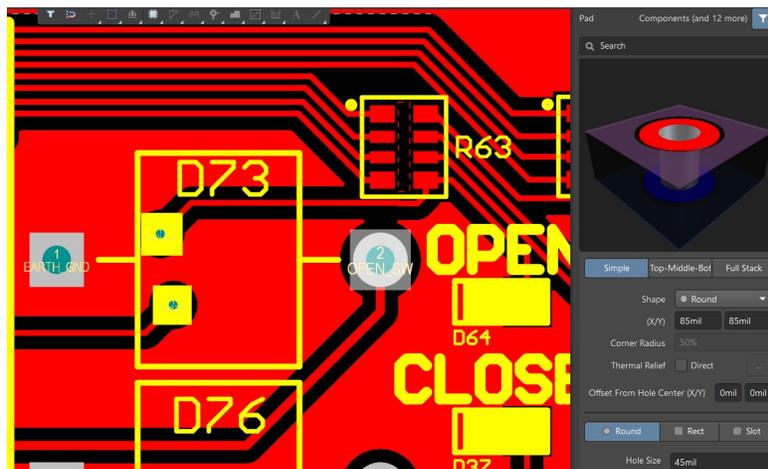


Figura 31:
Conexión actual con el tablero eléctrico.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

La construcción de un GDT en tecnología Through Hole elimina los nodos eléctricos axiales, permitiendo una conexión directa entre el PCB y el cuerpo del componente. En el nuevo diseño, la conexión se realizará conservando los orificios actuales y añadiendo únicamente las almohadillas SMD, estableciendo su correspondiente conexión con los orificios existentes.

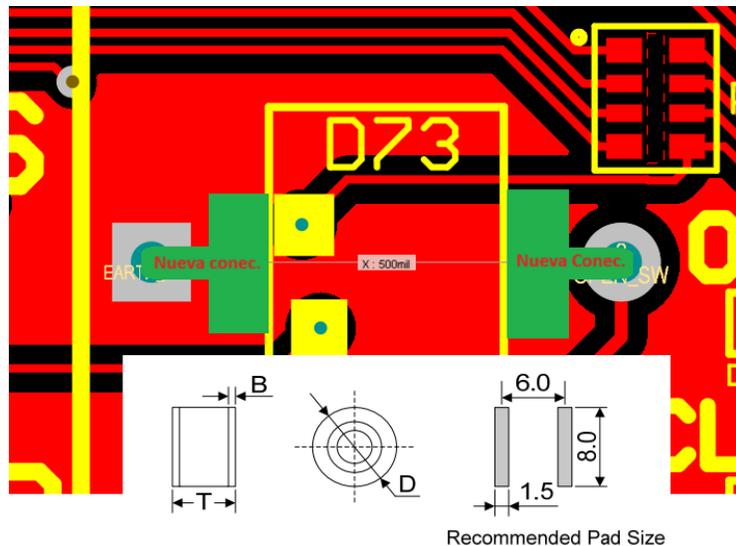


Figura 32:

Nueva conexión SMD manteniendo orificios del componente anterior.

8.6. Cambios de diseño y proceso de validación interna.

Una vez que la idea es validada por el departamento ingeniería eléctrica sustaining en el que trabajo, se inicia un flujo de trabajo y validaciones posteriores definidas en el siguiente diagrama:

- Peer Review: Una vez completadas las validaciones de los procesos eléctricos, de manufactura y de pruebas de ingeniería, el proyecto debe presentarse ante un comité de ingenieros eléctricos en Oak Brook. Se convoca una reunión interna que incluye a los diseñadores originales del producto, con el objetivo de obtener su aprobación para continuar el proceso. Si el proyecto es sólido, además de aprobarlo, el comité compartirá puntos clave a considerar durante el rediseño y aspectos que podrían haberse pasado por alto previamente, a esta junta se le conoce como Peer Review.
- Concept Desing Review: La aprobación anterior es para poder presentar el proyecto en una junta con el vicepresidente de ingeniería , esta reunión tiene un enfoque menos técnico mas enfocado en los cambios desde el punto de vista de rediseño, cambios en el proceso de producción, cambios mecánicos necesarios para su implementación, si es

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

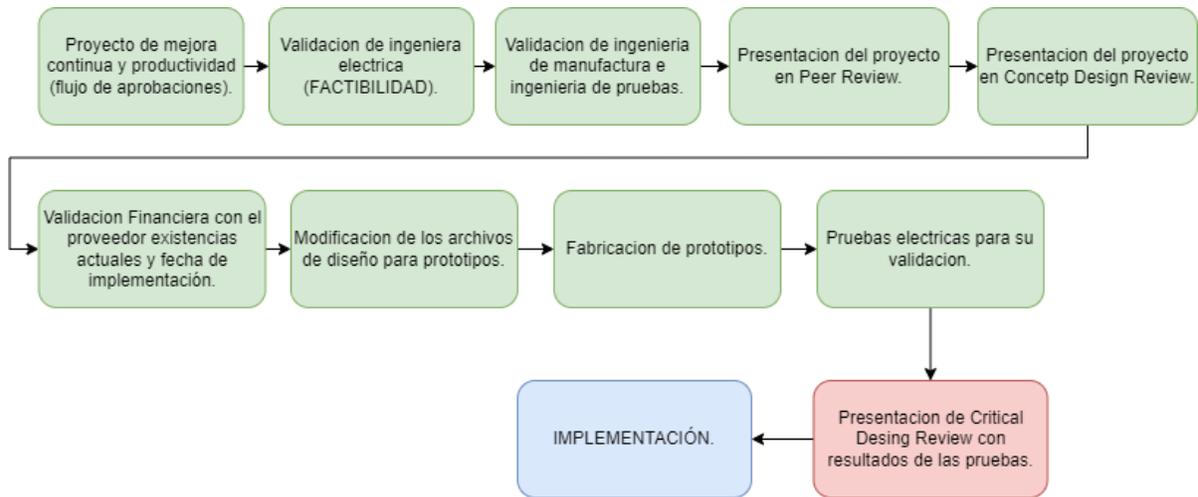


Figura 33:
Diagrama de flujo de un proyecto de productividad.

necesario algún cambio de firmware, de empaque inversión para equipo de pruebas y validaciones en certificados de regulación. El resultado es la visto bueno por parte de directivos para implementar el proyecto.

- Validación financiera: En esta parte del proceso nuestros analistas financieros y de negocio validan los precios actuales de la lista de materiales, yo como ingeniero eléctrico les proporcione la lista de materiales costeadada actual, y una lista nueva con los precios de los componentes remanentes en la tarjeta y los componentes que se tienen que retirar. Con esto se validará la factibilidad del proyecto tomando en consideración: demanda del ensamble, demanda del equipo, stock de piezas actuales y tiempo de vida del producto.
- Rediseño de PCB Layout: Tras recibir todas las aprobaciones, mi tarea consistió en utilizar el software de diseño eléctrico para modificar el layout de PCB de los cuatro ensambles. Como se mencionó anteriormente, tanto el botón como el GDT requieren un cambio de tecnología a SMD, por lo que es fundamental garantizar la correcta conexión de ambos componentes.
- Prototipos para validación: Las placas PCB se envían a fabricar con el proveedor en Illinois y, una vez que llegan a la planta, se coordina una corrida controlada. Este proceso implica la colocación y soldadura de todos los componentes necesarios en los PCB, con el objetivo de evaluar la capacidad de producción. El equipo de manufactura produce prototipos funcionales que luego deben someterse a distintas pruebas de validación.

9. Trabajo Futuro.

El rediseño de una tarjeta PCB es un proceso complejo y polifacético que requiere la colaboración de diversas áreas funcionales. Aunque ya he participado en una etapa específica del proceso, aún quedan fases por completar, tales como:

9.1. Comportamiento general, prueba de ESD y prueba de rayos.

Una vez que se han completado los prototipos, el ingeniero eléctrico se encarga de validar su funcionamiento general. Esta etapa se realiza con el prototipo montado en una unidad completa, completamente conectada, y se prueba cada una de las características relacionadas con los cambios realizados, siguiendo los lineamientos establecidos en el manual de usuario.

Dado que se han cambiado los botones táctiles, estos deben someterse a pruebas de rendimiento. Estas pruebas incluyen la configuración precisa de los límites de apertura y cierre de la unidad, la grabación de accesorios y la verificación del funcionamiento del paro de emergencia.

Las pruebas destructivas consisten en aplicar fuerzas de empuje y tracción al botón, asegurándose de que permanezca firmemente sujeto a la unidad y que no se suelte bajo condiciones de estrés mecánico.

9.2. Prueba de descarga electrostática (ESD).

Esta prueba consiste en la utilización de un equipo de descarga de alto voltaje, simulando a la descarga eléctrica de un cuerpo humano cargado de campo eléctrico. El requerimiento interno establece que el sistema debe ser completamente funcional, sin reinicio comenzando la descarga en $\pm 1[Kv]$ hasta $\pm 6[Kv]$, las fallas suaves como un reinicio y vuelta a punto de la unidad son permitidos a partir de $\pm 7[Kv]$ hasta $\pm 8[Kv]$.

9.3. Prueba de rayos.

Es una evaluación que simula el efecto de un rayo en componentes eléctricos o electrónicos. Este tipo de prueba es crucial para verificar la resistencia y seguridad de equipos expuestos a descargas eléctricas extremas. Esta prueba requiere un equipo más especializado y una cámara de contención, consiste en aplicar un potencial un mayor que el de ESD empezando en $15[KV]$ o mayores y hasta $20 [KV]$ en las borneras protegidas con diodos GDT esta descarga tiene un periodo de $0.4 [\mu S]$. Objetivos de la prueba de lightning:

- Resiliencia: Garantizar que el equipo pueda soportar una descarga sin daños significativos.

Proyecto de mejora continua en proceso de fabricación de placas de circuito impreso para empresa dedicada a la automatización de puertas de garaje.

- Seguridad: Asegurar que no haya peligro de incendio, explosión, o riesgo para usuarios o instalaciones cercanas.
- Fiabilidad: Evaluar que el equipo conserve su funcionalidad o que pueda volver a operar correctamente después del impacto.

10. Resultados.

El proyecto fue definido de manera adecuada en colaboración con las áreas funcionales involucradas. Gracias a un análisis ejecutado de forma precisa, se logró una mejora del 15 % en el proceso de automatización de las PCBs de la plataforma industrial. Este avance generó ahorros suficientes para garantizar la viabilidad del proyecto.

El proyecto fue presentado exitosamente en la Concept Design Review, obteniendo la aprobación del comité de diseño eléctrico, y actualmente continúa en la fase de diseño para su implementación futura.

11. Conclusiones.

Este proyecto, siendo el primero que lideré como ingeniero recién egresado, representó un desafío significativo para mí. Implicó la adquisición de nuevas habilidades necesarias para su implementación, no solo en el ámbito de la ingeniería eléctrica, sino también en el trabajo colaborativo con distintas áreas funcionales relacionadas con el producto, algunas de las cuales no estaban directamente vinculadas con la ingeniería.

Además, requirió un entendimiento profundo de las normativas de regulación eléctrica y de emisiones de radiofrecuencia que deben cumplirse en el país donde se comercializa este producto.

A lo largo del proyecto, enfrenté diversas complicaciones que, como líder, resolví de manera adecuada. Estas experiencias contribuyeron de manera significativa a mi crecimiento profesional en el campo de la ingeniería electrónica, reforzando tanto mis competencias técnicas como mis habilidades de gestión y liderazgo.

Bibliografía

- [1] Ana Inés Basco, Gustavo Beliz, Diego Coatz, and Paula Garnero. *Industria 4.0: fabricando el futuro*, volume 647. Inter-American Development Bank, 2018.
- [2] LiftMaster. Liftmaster hds24ul installation manual - english (manufactured prior to 2022), 2025.
- [3] Mark I Montrose. *EMC and the printed circuit board: design, theory, and layout made simple*. John Wiley & Sons, 2004.
- [4] Mark I Montrose et al. *Printed circuit board design techniques for EMC compliance*, volume 1. IEEE press Piscataway, NJ, 1996.
- [5] Henry W Ott. *Electromagnetic compatibility engineering*. John Wiley & Sons, 2011.
- [6] Tim Williams. *EMC for product designers*. Newnes, 2016.

[1] [2] [3] [4] [5] [6]