Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

NOMBRE DEL PROYECTO
TARJETA DE ESCALAMIENTO WISUN

OPCIÓN QUE CORRESPONDA
TITULACION INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERIA ELECTRONICA

PRESENTA
JOSE MANUEL FLORES PLUMA

NOMBRE DEL ASESOR
DR. JOSE FEDERICO CASCO VASQUEZ

APIZACO, TLAX, MAYO DE 2026

Educación
Secretaría de Educación Pública

Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tzompantepec, Tlaxcala, 20/abril/2026
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica
No. De oficio: I.E.E. /216/2026

Asunto: Liberación de Proyecto
para la Titulación Integral

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del egresado:	JOSÉ MANUEL FLORES PLUMA
Carrera:	INGENIERÍA ELECTRÓNICA
No. De Control:	20370499
Nombre del proyecto:	"TARJETA DE ESCALAMIENTO WISUN".
Producto	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Trabajar

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

M.I.E. MARIO EDUARDO LEAL LÓPEZ
JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DR. JOSÉ FEDERICO CASCO VÁSQUEZ
Nombre y Firma del Asesor

MELL/isa*
C.p. Archivo

2026 año de Margarita Maza

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Méx. C.P. 90491 Tel. (241) 417 2810 Ext. 103,203, e-mail: dhasicas@apizaco.tecnm.mx, https://www.apizaco.tecnm.mx

Educación
Secretaría de Educación Pública



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 06/mayo/2026

JOSE MANUEL FLORES PLUMA
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 20370499.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"TARJETA DE ESCALAMIENTO WISUN"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

EDUCACIÓN | TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

MTRA. CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
CYAL/Gvm*



2026 año de Margarita Maza

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Méx. C.P. 90491 Tel. (241) 4173110 Ext. 344, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx https://www.apizaco.tecnm.mx

Agradecimientos

En la realización de este proyecto me he dado cuenta de que no hubiera sido del todo posible sin el apoyo de todas aquellas personas que me han acompañado en el camino que he llevado de mi desarrollo profesional como ingeniero en electrónica.

Primero. Agradezco profundamente a **mis padres**, quienes con su esfuerzo, amor y apoyo incondicional han sido la base fundamental de mi educación y formación profesional. Gracias a su guía, paciencia y valores, he logrado alcanzar esta gran meta académica (trayectoria profesional como ingeniero) que representa no solo un logro personal, sino también un reflejo del compromiso y sacrificio familiar. Ellos han sido mi principal motivación y ejemplo de perseverancia, valores los cuales me han guiado durante todo mi desarrollo académico-profesional. Cabe decir que, agradezco a mis hermanos por motivarme a seguir adelante y recordarme que con gran esfuerzo y constante dedicación todo es posible (metas y sueños).

Agradezco a todos mis **compañeros y amigos** de este curso académico, por compartir conmigo grandes momentos de aprendizaje, amistad, trabajo y compañerismo. Su apoyo, colaboración y ánimo fueron fundamentales para mi persona, para superar los retos que se presentaron durante el proceso de mi desarrollo como estudiante, así como la realización de este proyecto.

Extiendo también mi sincero agradecimiento a todos mis **profesores** que he tenido en el transcurso de mi desarrollo profesional dentro del **Instituto Tecnológico de Apizaco** quienes, con su conocimiento, paciencia y orientación, contribuyeron considerablemente a mi formación académica y profesional. Cada una de sus enseñanzas ha dejado una huella importante en mi crecimiento personal y en mi preparación como futuro Ingeniero.

De manera sumamente especial, agradezco a la **empresa DELEVSIS S.A. de C.V.** por haberme brindado la oportunidad de realizar mi residencia profesional con ellos, otorgándome un increíble espacio de aprendizaje, confianza y desarrollo técnico. Gracias a esta experiencia pude aplicar los conocimientos adquiridos en mi formación académica y obtener nuevas competencias relacionadas con el ámbito profesional.

Y, por último, pero no menos importante, deseo expresar mi agradecimiento de manera muy especial al **M.I.M. Kevin Emmanuel Hernández Castañeda** como asesor externo, por sus enseñanzas, el apoyo constante y las valiosas contribuciones durante el diseño y desarrollo del proyecto “Tarjeta de Escalamiento WiSUN”. Su increíble disposición para compartir todos sus conocimientos, resolver dudas y orientar el trabajo técnico fueron factores fundamentales para el cumplimiento exitoso de los objetivos planteados. Con el pude aprender y complementar mis conocimientos académicos aplicándolos en la industria, de entender que la disciplina el compromiso la responsabilidad y la pasión son fundamentales en el trabajo. Así puedo decir que todas sus enseñanzas quedaran en mi como una de las cosas más valiosas de esta experiencia que estuve en la estadía de la empresa.

Contenido

Agradecimientos 4
CAPITULO I 9
Preliminares 9
Resumen 9
Introducción 10
Descripción de la empresa 11
Área de trabajo 11
Problema por resolver 12
Objetivo general 12
Objetivos Específicos 13
Justificación 14
CAPITULO II 15
Marco teórico 15
PLACA DE CIRCUITO IMPRESO (PCB) 15
GROUNDING (PUESTA A TIERRA) 16
Tipos comunes de conexiones a tierra de PCB a tener en cuenta 16
Técnicas de conexión a tierra para PCB 18
EMI (Interferencias electromagnéticas) 20
Tipos de EMI de PCB 21
¿Qué causa la EMI en PCB? 22
Pautas de diseño de PCB para reducir la interferencia electromagnética 23
Capacitores de desacoplamiento 24
CAPITULO III 26
Desarrollo de Hardware 26
Análisis de Requerimientos Técnicos 26
Análisis de diagrama esquemático 30
Mapeo de pines (microcontrolador *R7FA2L1AB3CFL#AA0*) 33
Selección de los componentes a utilizar 35
Sitios donde comprar los componentes 35
Registro en tabla de EXCEL 40
Dar de alta librerías en altium designer 41
Diseño del esquemático en software de Altium Designer 51
Diseño de PCB y ruteo de pistas 60

Resultados de diseño en 3D 67
Generación de los archivos gerber y NCDrills 68
Visualización final para fabricación 72
Resultado de las perforaciones de la PCB 74
Generación del boom 75
Resultados del desarrollo de hardware (3D y físico) 78
Conclusiones 80
Competencias desarrolladas 81
Referencias 82

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1: Diagrama de conexión. _____ *9*
Ilustración 2:Plano a tierra _____ *16*
Ilustración 3: Tierra de alimentación _____ *17*
Ilustración 4: Tierra de señales _____ *17*
Ilustración 5: Tierra de chasis _____ *18*
Ilustración 6:Conexion GND _____ *19*
Ilustración 7: Interferencia electromagnética _____ *21*
Ilustración 8: EMI conducida _____ *21*
Ilustración 9: Interferencia entre Trazas _____ *22*
Ilustración 10: Capacitor de desacoplo _____ *24*
Ilustración 11:Distribucion de capacitores de desacoplo _____ *25*
Ilustración 12: Asignación de pines para R7FA2L1AB3CFL _____ *28*
Ilustración 13: Asignación de pines WISUN WS7300 _____ *29*
Ilustración 14: Esquemático de tarjeta WISUN part1 _____ *30*
Ilustración 15: Esquemático de tarjeta WISUN 7300 part2 _____ *31*
Ilustración 16: Mapeo de pines del microcontrolador _____ *33*
Ilustración 17: Mapeo de pines en tabla de Excel _____ *34*
Ilustración 18: Sitio de Mouser Electronic _____ *36*
Ilustración 19: Sitio de DigiKey _____ *36*
Ilustración 20: Tamaños de los encapsulados de componentes _____ *37*
Ilustración 21: Encapsulado tipo de terminación "SMD/SMT" _____ *37*
Ilustración 22: Conector con tipo de montaje "Through Hole" _____ *38*
Ilustración 23: Rango de temperatura. _____ *38*
Ilustración 24: Régimen de voltaje en componentes _____ *39*
Ilustración 25: Fabricantes de componentes más reconocidos _____ *39*
Ilustración 26: Sitio para verificación de disponibilidad _____ *40*
Ilustración 27: Registro de los componentes a utilizar. _____ *40*
Ilustración 28: Creación del Schematic Library y PCB Library. _____ *41*
Ilustración 29: Nombramiento de las librerías. _____ *42*
Ilustración 30: Información para las librerías _____ *42*
Ilustración 31: Pestaña de SCH Library _____ *43*
Ilustración 32: ADD squematic library. _____ *43*
Ilustración 33: Nombramiento de la librería. _____ *43*
Ilustración 34: Librería guardada correctamente. _____ *44*
Ilustración 35: Trazos realizados _____ *44*
Ilustración 36: Barra de herramientas a utilizar. _____ *44*
Ilustración 37: Dibujo del componente _____ *45*
Ilustración 38: propiedades generales a utilizar. _____ *45*
Ilustración 39: Parámetros del componente. _____ *46*
Ilustración 40: Visualización final del esquemático. _____ *46*
Ilustración 41: Pestaña de visualización. _____ *47*
Ilustración 42: ADD PCB Library. _____ *47*
Ilustración 43: Visualización de la librería _____ *47*
Ilustración 44: Diseño 2D de PCB _____ *48*
Ilustración 45: Medidas en el datasheet _____ *48*
Ilustración 46: add Footprint _____ *49*
Ilustración 47: Ventana de búsqueda _____ *49*
Ilustración 48: Visualización final 2D _____ *50*
Ilustración 49: Visualización final 3D _____ *50*
Ilustración 50: Creación del proyecto _____ *51*

Ilustración 51: Nombramiento del proyecto. 51
Ilustración 52: Archivo para el esquemático 52
Ilustración 53: Visualización del archivo para el esquemático 53
Ilustración 54: Visualización de los 5 esquemáticos 53
Ilustración 55: Renombramiento de los esquemáticos. 54
Ilustración 56: Manera para asignar nombre. 54
Ilustración 57: Creación del archivo para el diseño de la PCB. 55
Ilustración 58: Visualización final 55
Ilustración 59: Barra de herramientas. 56
Ilustración 60: Selección de los componentes a utilizar dentro de la librería. 56
Ilustración 61:POWER. 57
Ilustración 62: MICROCONTROLLER. 57
Ilustración 63: INTERFACE. 58
Ilustración 64: Module WISUN. 58
Ilustración 65: Compilación del Proyecto. 59
Ilustración 66: Inicialización del diseño de PCB. 60
Ilustración 67: Validación y ejecución de cambios. 61
Ilustración 68: Cambios realizados correctamente. 61
Ilustración 69: Visualización de los componentes 62
Ilustración 70: Componentes organizados correctamente. 62
Ilustración 71: Conexión entre capas por medio de vías. 63
Ilustración 72: Trazado de 45° 63
Ilustración 73: Ruteo de pistas y colocación de vías a GND. 64
Ilustración 74: Plano a GND en la capa superior. 64
Ilustración 75: Plano a GND en la capa superior. 65
Ilustración 76: Plano a GND en la capa inferior. 65
Ilustración 77: Reglas del diseño de PCB. 66
Ilustración 78: Chequeo de las reglas de diseño. 66
Ilustración 79: Visualización 3D de la PCB 67
Ilustración 80: Visualización 3D de la PCB otro Angulo. 67
Ilustración 81: Gerber Files 68
Ilustración 82: Configuración "General" 69
Ilustración 83: Configuración de "Capas" 69
Ilustración 84: Configuración de "Dibujo de perforación". 70
Ilustración 85: Ajuste de "Aperturas". 71
Ilustración 86: Configuración de "Avanzados." 71
Ilustración 87: Archivo. cam. 72
Ilustración 88: NCDrill files. 73
Ilustración 89: configuración NC Drill 73
Ilustración 90: Importación de datos de perforación. 74
Ilustración 91: Perforaciones de la PCB 74
Ilustración 92: Bill of Materials. 75
Ilustración 93: Bill of Materials setup. 75
Ilustración 94: Ubicación donde guardar. 76
Ilustración 95: Visualización final de los materiales. 76
Ilustración 96: verificación de archivos en un solo lugar. 77
Ilustración 97: verificación de archivos. 77
Ilustración 98: Resultados finales (1) 78
Ilustración 99: Resultados finales (2) 79

CAPITULO I

Preliminares

Resumen

Se realizará el diseño, desarrollo, fabricacion, y validación de una tarjeta de escalamiento Wi-SUN, cuyo propósito es transmitir de manera inalámbrica, segura y eficiente la información generada por una Tarjeta Colectora de Información que estará integrada en un gabinete de varios medidores, proporcionados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Estos medidores requieren sistemas de comunicación eficientes que permitan enviar datos operativos y de consumo hacia los servidores centrales de la empresa para su administración, análisis y monitoreo remoto dentro de la infraestructura AMI (Advanced Metering Infrastructure).

La tarjeta colectora se encarga de obtener toda la información necesaria de todos medidores que estén en el gabinete, la cual procesa, organiza y la almacena en tablas estructuradas. Una vez que dicho proceso este completo, la tarjeta de escalamientos WISUN toma estas tablas mediante la comunicación UART, validando la integridad de los datos antes de proseguir con su manejo. Cabe decir que esta tarjeta no recolecta de manera directa la información del medidor; sino que su función principal consiste en actuar como el módulo intermediario de transmisión, asegurando que todos los datos enviados estén completos, estructurados y sean compatibles para la misma CFE.

El anfitrión de la tarjeta es el módulo de comunicación WISUN WS7300, el cual es un módulo especializado en tecnologías inalámbricas bajo el estándar WISUN FAN, que puede ser utilizado ampliamente en sistemas de medición inteligente debido a su capacidad de operar en redes de tipo malla de alta confiabilidad y eficiencia energética. Una vez que la tarjeta recibe la información procesada, el módulo WS7300 junto al microcontrolador R7FA2L1AB3CFL realiza el encapsulamiento de todos los datos, aplica algoritmos de cifrado para garantizar la seguridad y confiabilidad de toda la información procesada, y posteriormente los transmite hacia los servidores de la CFE a través de la red WISUN. Este proceso asegura que los datos viajen de forma protegida, evitando alteraciones, posibles pérdidas o accesos no autorizados durante la transmisión.

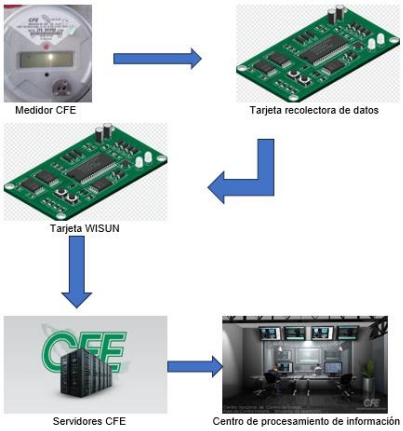


Ilustración 1: Diagrama de conexión.

Introducción

La necesidad de la infraestructura eléctrica en México de modernizarse ha impulsado la adopción de medidores digitales y sistemas de gestión avanzada de energía. En este sentido la comisión federal de electricidad (CFE) necesita soluciones de comunicación cada vez mas robusta, segura y compatible con ciertos estándares específicos, esto para garantizar la transmisión confiable de información de una tarjeta colectora de información de los mismos medidores digitales. En este proyecto se desarrolla una Tarjeta de Escalamiento WISUN, diseñada para actuar como dispositivo intermediario entre la tarjeta colectora y los servidores de la CFE.

La principal función principal consiste en recibir los datos provenientes de la Tarjeta Colectora de Información a través de una interfaz de comunicación UART. Esta tarjeta colectora consolida la información medida por los medidores dentro del gabinete y la organiza de manera estructuradas para su posterior procesamiento. Una vez que dichos datos han sido almacenados y ordenados, entra en acción la Tarjeta de Escalamiento Wi-SUN, donde esta toma el control del proceso de envío y los transmite de manera inalámbrica mediante el módulo de comunicación WS7300, el cual opera bajo el protocolo Wi-SUN FAN. Cabe decir que la tarjeta de escalamiento wisun también encriptara la información a transmitir, esto con la finalidad de proteger los datos envidados a los servidores de la CFE.

La elección del módulo de comunicación WISUN WS7300 bajo el protocolo WISUN FAN responde a la necesidad de emplear una solución de comunicación robusta, de largo alcance, bajo consumo energético y capacidad para operar en redes de malla. Ya que este es un estándar de comunicación inalámbrica que permite redes interoperables, seguras y escalables para aplicaciones de ciudades inteligentes, como medición inteligente , iluminación inteligente , estacionamiento inteligente, gestión inteligente de residuos, entre otros.

El desarrollo de este proyecto contempla un proceso complejo e integral, el cual incluye análisis de requerimientos técnicos, análisis del diagrama esquemático proporcionado por la empresa, realización del mapeo de pines, selección de todos los componentes a utilizar, dar de alta o registro de las librerías correspondientes de cada uno de los componentes a utilizar, realización del diseño esquemático con el software especializado de Alitum Designer, realización del diseño de PCB con consideraciones específicas para líneas de impedancia controlada en la sección de radiofrecuencia y también para líneas de alimentación. Asimismo, también la generación de los archivos de fabricación necesarios para mandar a fabricar la PCB y la generación del archivo de materiales a utilizar, posteriormente a esto se realizará el ensamblado de la PCB y la realización de pruebas de funcionamiento y validación. Tomando todo esto en cuenta, cada una de estas etapas es muy importante para garantizar la funcionalidad, durabilidad y compatibilidad del proyecto con los requisitos que la CFE necesita.

Descripción de la empresa

DELEVSIS S.A. de C.V. es una empresa mexicana que se dedica al desarrollo de Hardware y firmware, implementación de comunicaciones IoT, procesamiento y análisis de datos, orientado a ofrecer soluciones tecnológicas innovadoras entrando en el ámbito de la electrónica aplicada, los sistemas embebidos y la automatización industrial. Su principal objetivo es desarrollar soluciones tecnológicas personalizadas que resuelvan los desafíos específicos que contribuyan al fortalecimiento de la industria tecnológica nacional mediante la integración de procesos de ingeniería, diseño y validación de hardware.

La empresa se especializa en el diseño de tarjetas electrónicas, prototipos funcionales, Implementación de protocolos de comunicación inalámbricos y alámbricos, Procesamiento de datos en la nube, servidores propios y on premise con software analítico personalizado, aplicando metodologías de ingeniería orientadas a la calidad y la eficiencia. Dentro de sus áreas de trabajo se incluyen el desarrollo de sistemas de control, interfaces de comunicación inalámbrica, instrumentación electrónica, prototipado de circuitos digitales y analógicos, así como la investigación en nuevas tecnologías de comunicación inalámbrico y alámbrico, también equipo para el procesamiento de información en la nube.

El enfoque de DELEVSIS S.A. de C.V. combina la innovación tecnológica con la aplicación práctica de la carrera de ingeniería electrónica y otras más, esto utilizando herramientas especializadas y muy completas, en este caso de diseño asistido por computadora (Altium Designer), metodologías de validación mediante simulación y pruebas de laboratorio. Esto permitiendo que los productos desarrollados cumplan con estándares de confiabilidad, escalabilidad y compatibilidad con sistemas industriales y de telecomunicación.

Además, la empresa promueve un entorno colaborativo que impulsa la formación profesional y técnica de estudiantes e ingenieros, ofreciendo espacios de desarrollo de proyectos, residencias profesionales y prácticas enfocadas en la resolución de problemas reales del sector electrónico. De esta manera, DELEVSIS S.A. de C.V. se fortalece como una entidad que está comprometida con la investigación, la innovación y desarrollo, contribuyendo al crecimiento tecnológico y profesional dentro del área de la electrónica.

Área de trabajo

El Área de Desarrollo e Investigación compone uno de los pilares fundamentales de DELEVSIS S.A. de C.V., siendo este el espacio donde se diseñan analiza, prueban y optimizan los circuitos electrónicos que forman parte de los distintos proyectos de la empresa. Este espacio tiene como objetivo principal crear soluciones innovadoras por medio de la aplicación de conocimientos técnicos y científicos situados al desarrollo de hardware de buena calidad.

Dentro de esta área en la cual se está realizando el proyecto encomendado “Tarjeta de Escalamiento WISUN”, se realizan actividades esenciales como el desarrollo prototipado electrónico, el diseño de la Tarjeta electrónica, el análisis de desempeño, la programación del firmware, la integración de los módulos de comunicación y la validación funcional de las tarjetas electrónicas. Además, que se emplean metodologías de ingeniería que permiten garantizar la precisión, estabilidad y confiabilidad del diseño establecido, asegurando su correcta operación de manera anticipada, para evitar problemas antes de su implementación en el campo previsto.

Problema por resolver

Los medidores eléctricos en gabinetes que son proporcionados por la comisión Federal de Electricidad (CFE) para entornos donde se requiere gran cantidad de energía eléctrica (zonas residenciales, edificios, centros comerciales, etc), generan grandes cantidades de información crucial para la operación de la red eléctrica, donde esto puede incluir consumos, eventos, estados del sistema y datos operativos. El cual para la recolección de datos se necesita personal que vaya registrando los datos de medidor por medidor, lo cual causa un gran gasto de recursos y tiempo. Teniendo esto en cuenta. Como solución, toda esta información puede ser capturada por una tarjeta colectora de información, pero esta no cuenta con un módulo de comunicación intermedio que nos pueda permitir transmitir todos estos datos de manera organizada, estructurada y cifrada hacia los servidores centrales de la CFE.

Actualmente, no hay un dispositivo que gestione la información de varios medidores al mismo tiempo, por ello se realizó una tarjeta colectora genera y organiza toda la información, pero esta por sí misma carece de la capacidad de comunicación inalámbrica bajo el estándar WI-SUN, protocolo que se usara para la CFE en su infraestructura. Sin un módulo que se encargue de tomar estos datos y transmitirlas correctamente, la información no puede integrarse a los sistemas centrales de medición y monitoreo.

Por lo tanto, será necesario desarrollar una tarjeta de escalamiento WI-SUN, que funcione como el módulo de enlace final, encargada de recibir los datos desde la tarjeta colectora mediante comunicación UART, donde se tendrá que encapsularlos, cifrarlos y transmitirlos inalámbricamente por medio del módulo WISUN WS7300 hacia los servidores de la CFE, ya que sin esta tarjeta la transmisión de datos no será del todo eficiente la transmisión de datos.

Objetivo general

Diseñar y desarrollar una tarjeta de escalamiento Wi-SUN capaz de recibir, encapsular, cifrar y transmitir toda la información generada por una tarjeta colectora mediante una comunicación UART, tomados los datos de los medidores, utilizando el módulo de comunicación WI-SUN WS7300 para enviar los datos de forma segura e inalámbricamente a los servidores y su análisis dentro del centro de monitoreo de la CFE.

Objetivos Específicos

- Analizar los requerimientos técnicos y funcionales necesarios para establecer la comunicación entre el microcontrolador y el módulo WISUN, considerando las especificaciones del protocolo Wi-SUN junto con la tarjeta colectora de información.
- Diseñar el esquemático electrónico de la tarjeta de escalamiento, garantizando la correcta adaptación de niveles de voltaje, compatibilidad de señales y estabilidad eléctrica entre los dispositivos involucrados.
- Desarrollar el diseño PCB de la tarjeta utilizando el software especializado de diseño electrónico (Altium Designer), asegurando una distribución óptima de componentes, trazos y planos de alimentación que permitan un funcionamiento eficiente y confiable.
- Concluir con éxito el desarrollo para ensamblar el prototipo funcional de la tarjeta de escalamiento, integrando los componentes electrónicos seleccionados y verificando las conexiones de acuerdo con el diseño propuesto.
- Realizar pruebas de cero errores en el diseño de la tarjeta WISUN, para no comprometer la integridad, velocidad y confiabilidad de la transmisión de datos bajo el protocolo Wi-SUN.
- Validar la comunicación de la tarjeta WISUN con la tarjeta colectora, comprobando que esta misma sea lo suficientemente buena para el entorno, esto mediante la infraestructura inalámbrica Wi-SUN.
- Observar que la comunicación entre la Tarjeta Colectora y la Tarjeta de Escalamiento sea mediante UART.
- Documentar el proceso completo de diseño, desarrollo, y resultados que respalden el funcionamiento del prototipo y sirvan como base para futuras mejoras o implementaciones industriales.
- Contribuir al avance tecnológico del sistema de medición eléctrica, proponiendo una solución electrónica que optimice la transmisión de datos y fortalezca la confiabilidad de envió de datos de manera segura.

Justificación

La implementación de la “tarjeta de Escalamiento WI-SUN” en conjunto con la tarjeta colectora de información se justifica plenamente debido a las necesidades actuales de modernización, seguridad y eficiencia en los sistemas de medición inteligente de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la infraestructura existente requiere no solo de dispositivos capaces de medir el consumo eléctrico, sino también soluciones que permitan recolectar, organizar y transmitir sus datos con alta confiabilidad. Considerando esto, la tarjeta de Escalamiento WI-SUN se convierte en un elemento fundamental, ya que desempeña como el módulo responsable de recibir, validar y transmitir la información generada por la tarjeta colectora de datos, la cual concentra los registros provenientes de los gabinetes de medidores. Esta comunicación se hace mediante una interfaz UART, un estándar robusto y ampliamente utilizado por su estabilidad en entornos industriales.

Esta tarjeta agrega valor técnico al tomar los datos recibidos en tablas estructuradas listas para una transmisión de información inalámbrica por medio del módulo de comunicación WI-SUN WS7300. Este módulo opera bajo estándares confiables que permiten una comunicación segura y confiable entre dispositivos remotos, garantizando compatibilidad con redes de malla y con los sistemas utilizados por la CFE. Además, esta tarjeta no solo transmite la información, sino que también aplica procesos de encapsulamiento, normalización y verificación de integridad que nos permite asegurar que cada paquete enviado cumpla con los requisitos de autenticidad y calidad de datos. Esto es esencial para evitar la pérdida o alteración de información durante la transmisión, especialmente considerando que los datos de consumo eléctrico deben cumplir criterios estrictos de seguridad, debido a su relación directa con procesos de facturación, detección de anomalías y administración de la red eléctrica

El envío de la información desde la tarjeta de escalamiento WI-SUN hacia los servidores de la CFE se realiza de manera segura, lo que proporciona una capa adicional de protección ante intentos de manipulación o interceptación. Esté enfoque ofrece un esquema de seguridad basado en estándares de comunicación que permites garantizar la confidencialidad de los datos en estándares de comunicación que garantizan la confidencialidad de los datos sin comprometer la eficiencia del sistema. Asimismo, una vez que la tarjeta colectora haya completado la captura de los datos y de estructurarlos, ayuda a optimizar el uso del canal inalámbrico, reduce la congestión de la red y minimiza el consumo energético, factores que se determinan para la operación continua en instalaciones de gabinete

Desde una perspectiva operativa y económica, la Tarjeta de Escalamiento representa una solución de gran valor porque permite aprovechar los medidores ya instalados, extendiendo sus capacidades sin necesidad de reemplazar o rediseñar completamente su electrónica interna. Esto genera un impacto directo en la reducción de costos para la CFE, en la facilidad de implementación en campo y en la posibilidad de escalar el sistema sin interrupciones. Su diseño también facilita el mantenimiento, ya que permite actualizar el firmware o el módulo de comunicación de manera independiente al sistema principal de medición.

CAPITULO II

Marco teórico

PLACA DE CIRCUITO IMPRESO (PCB)

Una placa de circuito impreso (PCB) es una estructura que ensambla componentes electrónicos y sus conexiones en un circuito unificado que permite el paso de corriente eléctrica entre los componentes. La placa base de la PCB suele estar hecha de un material rígido no conductor, aunque también puede construirse sobre una base flexible o sobre una base compuesta tanto de materiales rígidos como flexibles. Componentes electrónicos como diodos , inductores y transistores se conectan a la placa de circuito, y las pistas (conductos eléctricos) conectan los componentes.

Las placas de circuito impreso (PCB) son compatibles con dispositivos electrónicos de todo tipo y tamaño. Por ejemplo, muchos productos de consumo contienen PCB, como portátiles , tabletas , teléfonos inteligentes y relojes inteligentes , así como electrodomésticos, sistemas de entretenimiento y dispositivos del Internet de las Cosas (IoT) . Las PCB también impulsan sistemas de comunicación y navegación, y se encuentran en equipos industriales y médicos , automóviles, aeronaves y embarcaciones.

El número de capas de una PCB se basa comúnmente en su número de capas conductoras . Sin embargo, una PCB también incluye otros tipos de capas, que se laminan entre sí en patrones alternados de material conductor y aislante. Las PCB actuales siempre contienen los siguientes cuatro tipos de capas:

- Sustrato. Esta es la capa base o núcleo. Suele ser un material aislante rígido como el FR-4, un compuesto de fibra de vidrio y epoxi. En algunos casos, el sustrato es un material flexible, generalmente plástico, que puede plegarse o doblarse para adaptarse a las necesidades de espacio. Los sustratos flexibles también pueden soportar temperaturas más altas y otras condiciones adversas. Algunas PCB utilizan una combinación de materiales de sustrato rígidos y flexibles.
- Conductiva. Esta capa suele estar hecha de una lámina delgada de cobre. En una PCB de una sola cara (o monocapa), hay una capa conductora laminada al sustrato. En una PCB de doble cara (o doble capa), hay dos capas conductoras, una a cada lado del sustrato. Una PCB multicapa alterna entre el sustrato y las capas conductoras.
- Máscara de soldadura. La capa conductora se recubre con una máscara de soldadura, un material no conductor que confiere a las PCB su color verde, aunque se pueden usar otros colores. La máscara de soldadura actúa como aislante para las pistas subyacentes grabadas en el material conductor. La máscara de soldadura también se aplica a la parte inferior de una PCB de una sola cara.
- Serigrafía. Esta capa es simplemente el etiquetado que se aplica a la PCB después de añadir las demás capas. El etiquetado puede incluir números, letras, símbolos u otra información que indique las distintas funciones de cada punto de conexión. El etiquetado suele ser blanco, pero se pueden usar otros colores.

GROUNDING (PUESTA A TIERRA)

La conexión a tierra es fundamental para cualquier sistema con corriente eléctrica, incluidas las placas de circuito impreso (PCB). Las PCB son componentes críticos para la mayoría de los dispositivos electrónicos y requieren una conexión a tierra adecuada para garantizar su correcto funcionamiento. Además, una conexión a tierra adecuada es crucial para garantizar el uso seguro del sistema, especialmente en placas de alta densidad y potencia que, de otro modo, podrían sufrir riesgos eléctricos como interferencias y ruido no deseado.

Aunque las estrategias de conexión a tierra varían según los requisitos de diseño de la PCB, las tecnologías y las dimensiones, es fundamental comprender la importancia de la conexión a tierra de la PCB y cómo elegir el método adecuado para su placa.

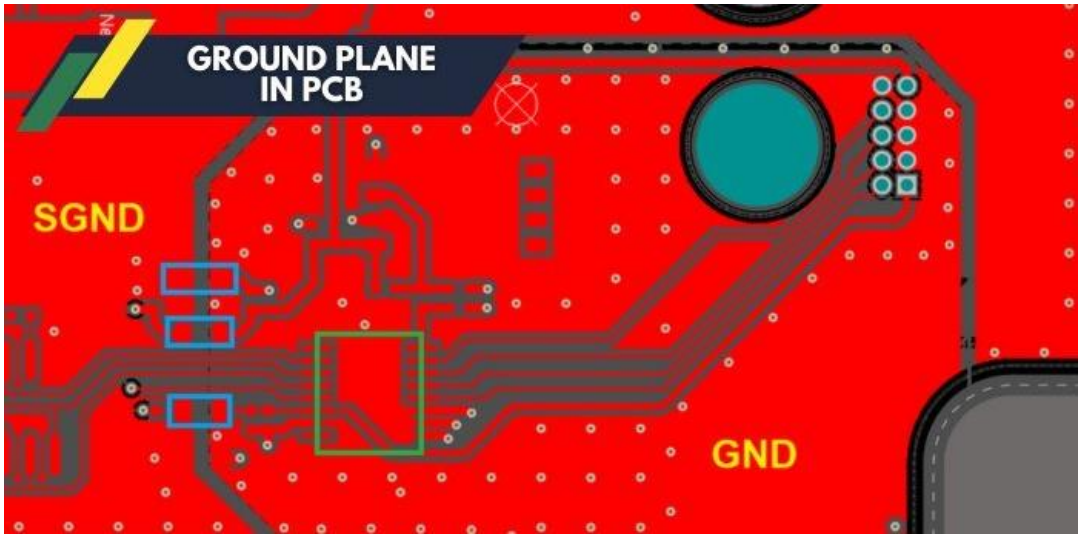


Ilustración 2:Plano a tierra

Tipos comunes de conexiones a tierra de PCB a tener en cuenta

No hay un método único para conectar a tierra una PCB. Es fundamental comprender las necesidades específicas del sistema y el flujo de corriente para determinar el tipo de conexión a tierra más adecuado. Algunos tipos de conexión a tierra para PCB son:

Tierra de alimentación: Este tipo de tierra crea una única ruta de retorno para las señales de alimentación. Normalmente, la tierra de alimentación es de CC y debe conectarse a tierra por separado de las demás señales. Tenga en cuenta que este tipo de tierra puede generar ruido.

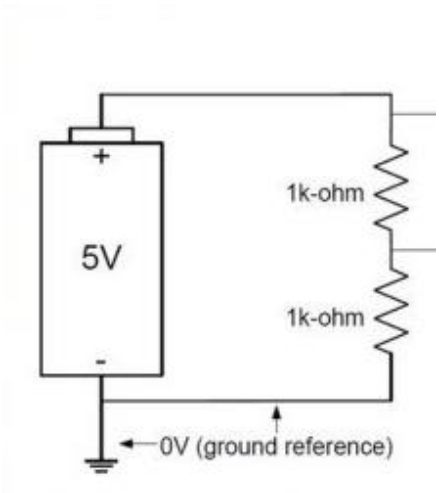


Ilustración 3: Tierra de alimentación

Tierra de señal: La tierra de señal es el punto de referencia con el que se compara el voltaje de una señal. Esta referencia se conecta a un plano de tierra interno. Este tipo de tierra está especialmente protegida y controlada, ya que mantenerla estable y precisa es fundamental para obtener señales limpias y exactas. Los sistemas con señales digitales y analógicas requieren rutas de tierra separadas para cada tipo; mezclar las tierras digitales y analógicas puede causar problemas en ambas señales.

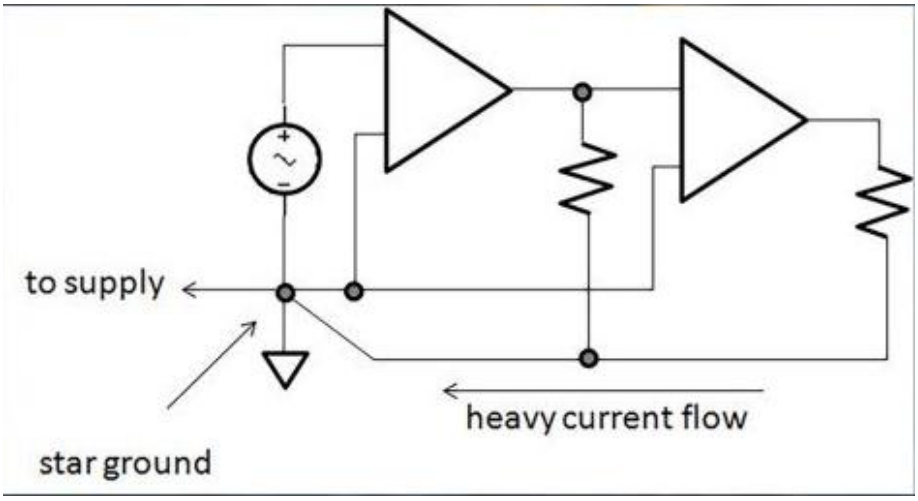


Ilustración 4: Tierra de señales

Tierra flotante: En un sistema aislado, las tierras flotantes son conductores de referencia sin conexión física a tierra ni punto de tierra común. Esta característica la diferencia de los sistemas conectados a tierra, donde la referencia de tierra está unida a la tierra, proporcionando un punto de referencia estable para las señales eléctricas. Las tierras flotantes no intencionadas pueden considerarse una falla del sistema, pero algunos diseñadores implementan este componente

por seguridad. Además, las tierras flotantes pueden ser ventajosas para reducir los bucles de tierra.

Conexión a tierra: Las conexiones físicas a tierra, conocidas como tomas de tierra, son el tipo de conexión a tierra más sencillo y seguro. Las tomas de tierra permiten el retorno seguro del exceso de corriente y proporcionan un canal para disipar la energía no deseada. Son especialmente beneficiosas para fuentes de alimentación de alto voltaje y grandes sistemas eléctricos.

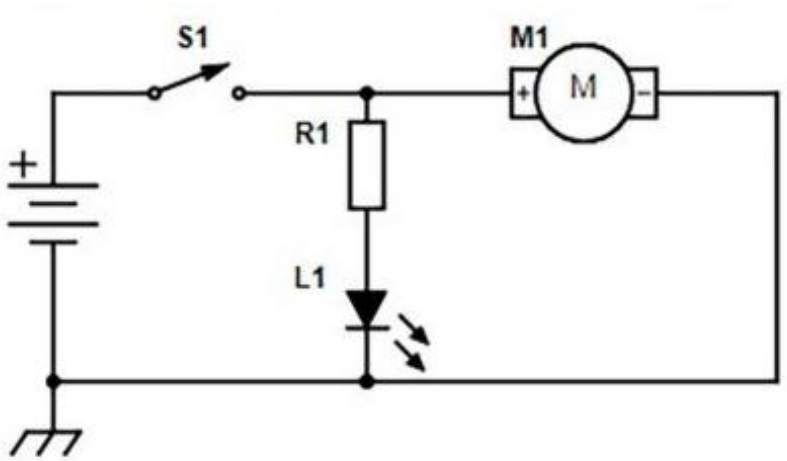


Ilustración 5: Tierra de chasis

Técnicas de conexión a tierra para PCB

1. Disponer de un plano de tierra dedicado para la placa de circuito impreso.

Un plano de tierra en una PCB es una capa de cobre que se mantiene al valor de referencia del sistema y actúa como ruta de retorno. Los planos de tierra dedicados permiten el enrutamiento de señales con impedancia controlada en configuraciones de línea de transmisión o microcinta. La mayoría de los diseñadores colocan el plano de tierra debajo del plano de señal para minimizar la ruta de retorno. Las placas de dos capas utilizan un plano de tierra en la capa inferior e implementan las pistas de señal y los componentes en la capa superior.

La implementación de planos de tierra independientes para las secciones de bajo y alto voltaje puede minimizar la diafonía y contribuir a mantener la integridad de la señal en placas de alta densidad. En estas aplicaciones, los planos de tierra requieren conexiones separadas a la fuente de alimentación para aislar las secciones y evitar la diafonía y el ruido. Los planos de tierra de gran tamaño pueden mejorar la gestión térmica, ya que actúan como disipadores de calor, distribuyendo el calor de manera uniforme a través de la PCB.

2. Evitar bucles de tierra mediante pistas o vías

Los bucles de tierra suelen producirse cuando existen múltiples trayectorias de retorno de corriente debido a una diferencia en los potenciales de tierra a través del circuito. Generalmente, se debe evitar crear un anillo de material conductor, ya que esto puede aumentar la

susceptibilidad del plano a las interferencias electromagnéticas (EMI). Un anillo conductor actúa como un inductor, y los campos magnéticos externos pueden provocar un bucle de tierra. Su diseño puede incluir un anillo conductor si coloca el plano de tierra sobre toda la capa inferior y elimina los componentes electrónicos.

Este problema se puede evitar acortando las pistas y colocando el plano de tierra debajo de ellas. Probablemente sea necesario ajustar la disposición de las pistas y los componentes para evitar la formación de estos anillos. También se puede usar más de un plano de tierra en una placa de dos capas, pero es imprescindible conectar cada plano individualmente para evitar la formación de bucles.

3. Manténgase en una sola capa de enrutamiento

Siempre que sea posible, conviene mantener el enrutamiento sensible en una sola capa. Esta estrategia ayuda a mantener rutas de retorno despejadas. Si necesita realizar una transición entre capas, utilice una conexión a tierra junto a la conexión de señal. Este método ayuda a evitar que se interrumpa la ruta de retorno despejada.

4. Proporcione siempre un punto de encuentro.

Cada placa debe tener un punto de convergencia para todas las tomas de tierra. Normalmente, este punto se encuentra en una estructura metálica o chasis del producto, aunque también puede ser una capa específica de la placa. Algunos equipos lo denominan «toma de tierra en estrella» debido a que varios conductores se extienden desde allí formando una especie de estrella. Para aplicaciones de señal mixta, es posible que se requieran fuentes de alimentación analógicas y digitales independientes con tomas de tierra separadas.

5. Minimizar el uso de vías en serie

Minimice el número de vías en las rutas de tierra y conecte los componentes directamente al plano de tierra dedicado. El uso de numerosas vías en serie genera mayor impedancia y puede provocar problemas de integridad de la señal, disminución del rendimiento y posibles reflexiones de la señal, especialmente en aplicaciones de alta velocidad. Además, un mayor uso de vías en serie complica innecesariamente el proceso de fabricación, lo que crea oportunidades para futuros problemas y aumenta los posibles puntos de fallo.

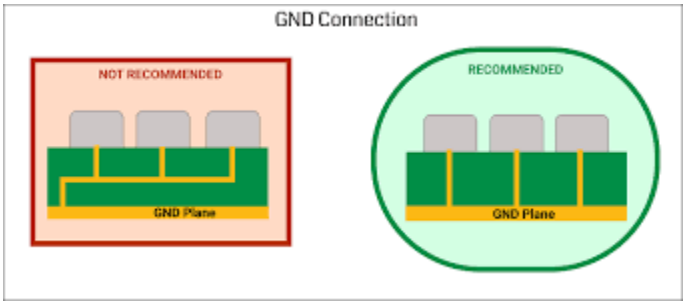


Ilustración 6:Conexion GND

6. Comprender cómo fluyen las corrientes

Un último consejo a tener en cuenta es comprender el flujo de corriente, ya que este conocimiento permite una correcta conexión a tierra. Debe considerar la dirección de la señal y la ruta de retorno que seguirá. Las rutas de envío y retorno comparten la misma señal, lo que afecta la estabilidad de la alimentación y la fluctuación de la señal a tierra. También debe diseñar la conexión a tierra antes del enrutamiento para sentar las bases del proceso y garantizar la integridad y el funcionamiento del dispositivo.

Bucle de tierra

Los bucles de tierra se producen cuando varias conexiones a tierra establecen una circulación de corriente no deseada. Estos bucles también pueden generar ruido e interferencia en los circuitos, lo cual es indispensable. La conexión a tierra de un solo punto ayuda en gran medida a evitar los bucles de tierra y tiene un efecto beneficioso en la calidad de la señal.

EMI (Interferencias electromagnéticas)

La interferencia electromagnética (EMI) se origina a partir de la radiación electromagnética y se refiere a cualquier forma de ruido o perturbación de fondo que pueda tener su origen en ella. Los dispositivos electrónicos y la maquinaria pueden experimentar una degradación de su rendimiento o un funcionamiento incorrecto como resultado de esta interferencia. Las ondas de radio, los campos electromagnéticos radiados por otros dispositivos electrónicos, las oscilaciones de las fuentes de alimentación y los campos electromagnéticos radiados por sistemas mecánicos son causas potenciales de EMI.

En PCB, describe una situación en la que los campos eléctricos y magnéticos oscilantes (ondas EM) interactúan con las señales en la PCB y las interrumpen.

Las interferencias electromagnéticas en las placas de circuitos pueden tener efectos de gran alcance. Además de distorsionar las señales, pueden provocar su pérdida total, lo que puede provocar un fallo en un dispositivo o sistema electrónico.

La interferencia electromagnética de la placa de circuito puede ser interna o externa. Por otro lado, la interferencia interna proviene de la propia placa. Sus causas incluyen componentes de alta frecuencia y señales que viajan por pistas u otros conductores como cables.

La interferencia externa emana de fuentes cercanas como motor eléctrico, comunicación por radio dispositivos o fenómenos naturales como los rayos. Las interferencias también pueden ser de varios tipos, como se explica a continuación.

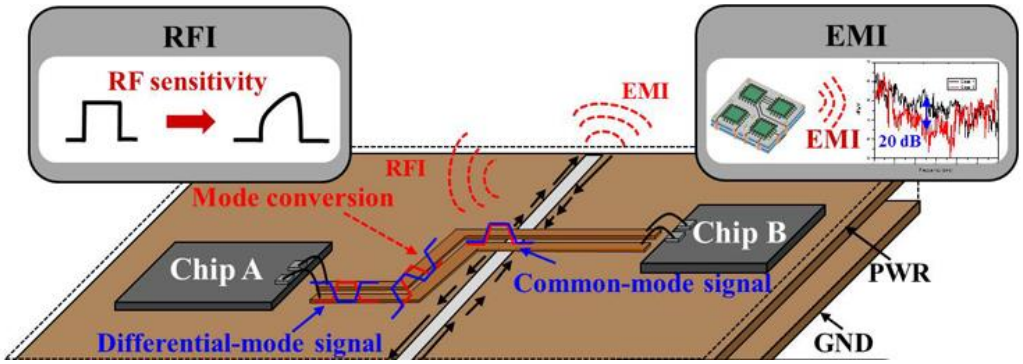


Ilustración 7: Interferencia electromagnética

Tipos de EMI de PCB

Existen dos tipos de interferencia electromagnética en una placa de circuito impreso: conducida y radiada. Tienen diferentes características de propagación y otras diferencias, como la gravedad y los métodos de reducción. Aquí encontrará más información sobre ellas, incluidos sus efectos.

EMI conducida: La interferencia conducida viaja a través de conductores y se propaga a varios circuitos y componentes. Se origina dentro de la PCB. También puede originarse en dispositivos físicos a los que se conecta la placa, como fuentes de alimentación, redes de datos, y diversos dispositivos eléctricos. Llegan al tablero a través de cables u otras conexiones.

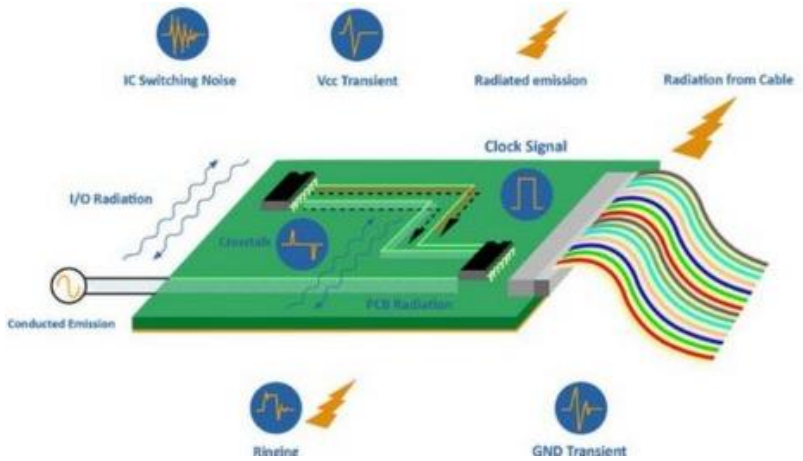


Ilustración 8: EMI conducida

EMI radiada: La interferencia radiada llega a otros componentes a través del espacio: a diferencia de la interferencia conducida, no necesita contacto físico. Esta propiedad también significa que las ondas pueden llegar a la placa de circuito desde fuentes distantes, como aparatos eléctricos colocados cerca de ella o fuentes naturales como los rayos.

¿Qué causa la EMI en PCB?

Las interferencias electromagnéticas en las placas de circuito impreso pueden tener muchas causas. A continuación, se enumeran algunas de las más importantes que los diseñadores deben tener en cuenta al crear placas de circuito impreso, especialmente las de alta frecuencia o RF.

Ruido de la fuente de alimentación: El ruido de la fuente de alimentación puede provenir de fuentes oscilantes o de componentes elevadores y reductores de voltaje, como transformadores. Por lo general, irradian la interferencia a través del espacio o provocan una ondulación en los circuitos que conectan o a los que distribuyen electricidad en la placa de circuito impreso.

Interferencia entre trazas: El pequeño espacio entre las pistas es uno de los desencadenantes más comunes. Esta interferencia suele ser una diafonía, o una señal que se acopla con otra y causa ruido eléctrico. La diafonía es más pronunciada si las rutas conductoras son demasiado largas o están demasiado cerca o si discurren principalmente paralelas entre sí.

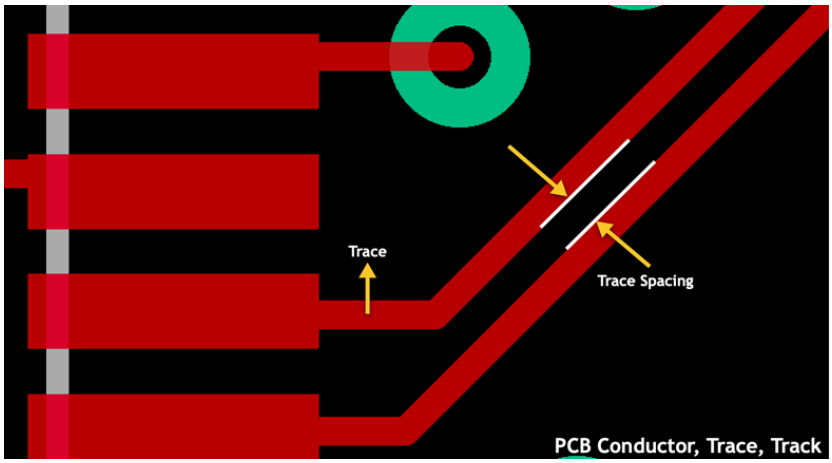


Ilustración 9: Interferencia entre Trazas

Componentes de alta frecuencia: Los componentes de alta frecuencia emiten ondas de radio cuya intensidad depende de algunos factores, como la amplitud o el rango de frecuencia. Cuanto mayor sea el rango, más destructiva será la interferencia electromagnética. Estos componentes incluyen piezas digitales como microprocesadores y dispositivos analógicos, como sensores.

Conexión a tierra inadecuada: Una conexión a tierra inadecuada aumenta acoplamiento inductivo en trazas o líneas de transmisión de señales. Este error de diseño genera interferencias y ruido, lo que afecta el rendimiento de la placa. Los planos de tierra protegen las trazas y proporcionan un recorrido de baja resistencia para las señales, lo que reduce su interrupción.

Efectos de la EMI en PCB

¿Cómo afectan las interferencias a las placas de circuito impreso en el campo? Las ondas electromagnéticas pueden tener efectos leves o devastadores, incluidas fluctuaciones de la

señal o degradación total. También pueden reducir la confiabilidad de la placa de circuito, causar ruido eléctrico o provocar fallas.

Distorsión y pérdida de señal: Las señales se distorsionan, lo que provoca errores en transmisión de datos y otras funciones, como la eficacia de las señales de control. En ocasiones, la interferencia disminuye la señal, lo que provoca su pérdida total. Estos problemas pueden ser intermitentes o sostenidos, según las condiciones predominantes.

Fiabilidad reducida de la placa: La placa no funciona como se espera, lo que a su vez reduce su integridad y calidad, lo que la hace menos útil en el dispositivo o entorno de aplicación. También significa que la PCB no puede pasar las pruebas de compatibilidad electromagnética. Los circuitos de alta velocidad y frecuencia son más susceptibles a este efecto que otros tipos.

Ruido y fallos del sistema: El ruido EMI de la placa de circuito impreso puede manifestarse de varias maneras: un zumbido audible, una vibración de la señal que se puede detectar con varios instrumentos o de forma visual y observable en una pantalla.

Pautas de diseño de PCB para reducir la interferencia electromagnética

Las ondas electromagnéticas no deseadas, ya sean radiadas o conducidas, suponen un gran desafío a la hora de diseñar placas de circuitos impresos. Por ello, los diseñadores emplean diversas estrategias para reducirlas y hacer que la placa sea más fiable, entre las que se incluyen las que se mencionan a continuación.

Diseño y distribución adecuados: El diseño adecuado de la PCB para el control de interferencias electromagnéticas en el mundo real requiere comprender los requisitos de aplicación de la placa: ¿cuál es la posible fuente de interferencias internas y qué puede reducirlas? ¿Cómo afectará el entorno de aplicación a la PCB? Responder a estas preguntas ayuda al diseñador a saber dónde colocar los componentes.

Vía Colocación y Uso: El diseño de vías es otra forma de reducir la interferencia electromagnética en las placas de circuito impreso. Los orificios de las vías crean extremos que reflejan y dispersan las señales. El ingeniero debe eliminarlos, generalmente perforando las vías hacia atrás. También ayuda el uso de vías ciegas y enterradas siempre que sea posible.

Aviones terrestres y propulsores: El plano de tierra y el plano de potencia desempeñan un papel crucial en la supresión de interferencias. Los planos de tierra son rutas de baja resistencia que los diseñadores pueden utilizar para neutralizar las perturbaciones electromagnéticas. La alternancia de las líneas de tierra y de potencia ayuda a reducir la diafonía al separar las trazas de potencia y de señal.

Blindaje y filtración: Los blindajes protegen la placa de circuitos y sus componentes de las ondas externas. Un blindaje puede ser una carcasa metálica, una película o revestimiento protector o un alambre tejido alrededor de un conductor. La filtración elimina las ondulaciones del interior de la placa de circuitos mediante filtros o Cuentas de ferrita La conexión a tierra también filtra el ruido.

Capacitores de desacoplamiento

Los capacitores de desacoplo en una PCB son componentes pasivos que estabilizan el voltaje y filtran el ruido eléctrico, actuando como una pequeña reserva de energía local para los circuitos integrados (CI). Se colocan lo más cerca posible de los pines de alimentación de los CI para suministrar corrientes transitorias durante picos de demanda y absorber el ruido de alta frecuencia. Esto es crucial para garantizar un funcionamiento estable y proteger los componentes sensibles, como en circuitos lógicos de alta velocidad.

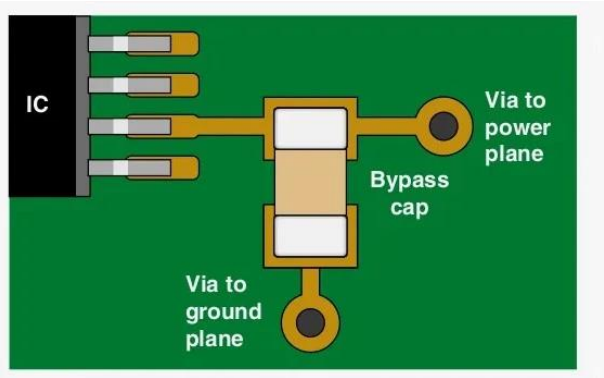


Ilustración 10: Capacitor de desacoplo

Estabilización de voltaje: Los condensadores de desacoplamiento son como pequeños depósitos de energía que almacenan y liberan carga para estabilizar los niveles de voltaje.

Cuando un circuito experimenta una demanda repentina de energía, el condensador de desacoplamiento puede liberar rápidamente la energía almacenada, lo que evita caídas de tensión que, de otro modo, podrían afectar a los componentes sensibles. Es como un tanque de agua de reserva que entra en funcionamiento durante los picos de uso, lo que garantiza un suministro constante.

Filtrado de ruido: Además de estabilizar el voltaje, los condensadores de desacoplamiento también filtrar el ruido de alta frecuencia. Actúan como un amortiguador, suavizando las fluctuaciones de potencia que podrían causar interferencias. Esta capacidad de filtrado de ruido es crucial para circuitos con componentes sensibles, ya que ayuda a mantener señales claras y un rendimiento constante.

Los condensadores de desacoplamiento también actúan como un amortiguador protector contra sobrecargas repentinas. picos de voltaje. En circuitos de alta velocidad. La conmutación rápida puede generar picos inesperados que pueden dañar los componentes. Los condensadores de desacoplamiento absorben estos picos, lo que reduce el riesgo de mal funcionamiento o daño del circuito integrado.

Fundamentales para las PCB

Protección contra picos de tensión: Los condensadores de desacoplamiento también actúan como un amortiguador protector contra sobrecargas repentinas. picos de voltaje. En circuitos de alta velocidad. La conmutación rápida puede generar picos inesperados que pueden dañar

los componentes. Los condensadores de desacoplamiento absorben estos picos, lo que reduce el riesgo de mal funcionamiento o daño del circuito integrado.

Minimizar la interferencia electromagnética (EMI): Interferencia electromagnética (EMI) Puede alterar el rendimiento del circuito, especialmente en aplicaciones de alta frecuencia. Los condensadores de desacoplamiento ayudan a suavizar el flujo de corriente, minimizar la EMI y garantizar que el circuito funcione sin interferencias. Esto es especialmente importante en telecomunicaciones, dispositivos médicos y otros entornos de alta frecuencia.

Además

Los chips de circuitos integrados en las placas de circuito impreso (PCB) requieren alimentación para funcionar. Estos chips tienen pines conectados al plano de tierra y a una fuente de alimentación externa. Coloque un condensador de desacoplamiento entre los pines de alimentación y tierra, con el otro extremo del condensador conectado al plano de tierra. Esta estrategia ayuda a suavizar las oscilaciones en la tensión de alimentación.

El condensador de desacoplamiento puede proporcionar corriente adicional a los circuitos integrados a través de una ruta de baja inductancia. También puede utilizar este componente para reducir el ruido y las interferencias electromagnéticas (EMI).

Seleccione los condensadores de desacoplamiento según su número, ubicación y tamaño. Generalmente, conviene distribuirlos por toda la placa, colocando algunos cerca de las patillas de tierra y alimentación del circuito integrado. Utilice condensadores de características similares en todas las ubicaciones. En algunos casos, puede ser conveniente usar una combinación de condensadores con resistencias en serie equivalentes normales y altas.

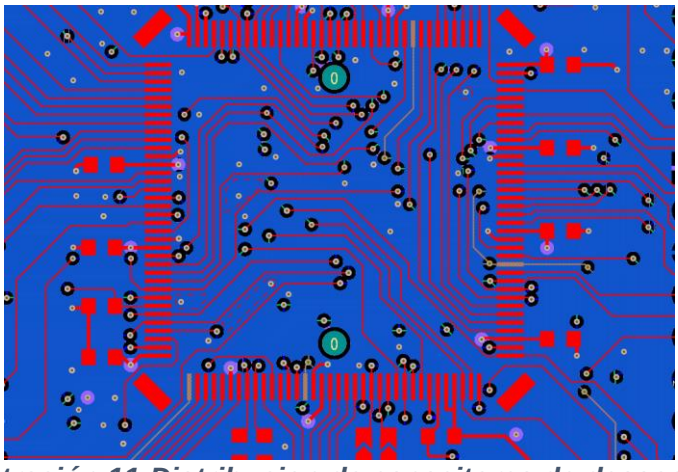


Ilustración 11:Distribucion de capacitores de desacoplo

NOTA: Al diseñar placas de circuito impreso (PCBs) teniendo en mente un control efectivo de la Interferencia Electromagnética (EMI), contar con las herramientas adecuadas es esencial. El software avanzado de diseño de PCB te permite gestionar diversos parámetros de diseño y asegura que tus placas estén elaboradas con una precisión y eficiencia excepcionales.

CAPITULO III

Desarrollo de Hardware

A continuación, se hablará de todos los procedimientos que se tuvieron que realizar para poder llevar a cabo el desarrollo del proyecto “Tarjeta de Escalamiento Wi-SUN”, basándonos en las actividades realizadas como parte del cronograma de actividades que se planteó para su realización, donde se hizo mediante una secuencia metodológica que involucro análisis, diseño electrónico, selección de componentes electrónicos, realización del esquematización en software EDA (Altium Designer), diseño de PCB, pruebas de cero errores y validación del sistema de comunicación el módulo de comunicación WISUN WS7300. Todo este proceso se ejecutó dentro del área de desarrollo e investigación de la empresa Delevsis S.A. de C.V., alineado con los estándares de comunicación inalámbrica utilizados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en sus medidores.

Análisis de Requerimientos Técnicos

El primer paso consistió en identificar las necesidades específicas del proyecto. Dado que la tarjeta tiene como propósito garantizar la correcta comunicación tanto el RA2E1 y el WS7300 con los servidores de la CFE, se analizaron los datasheets de ambos dispositivos (los más importantes), prestando especial atención las características que nos importan, ejemplo:

El proyecto por desarrollar funcionara por medio de 2 circuitos integrados muy importantes, que, aunque tengan ciertas características menores diferentes, estos pueden funcionar en conjunto, ya que se ha investigado anteriormente que si pueden comunicarse y trabajar los 2 en conjunto. Para ello, el proyecto debe cumplir con los siguientes requerimientos funcionales:

- Para una comunicación estable en tiempo real entre el microcontrolador y el módulo de comunicación WS7300.
- Tener que asegurar la integridad de los datos transmitidos hacia el módulo Wi-SUN, evitando que haya distorsiones y pérdidas.
- Tener en cuenta que este proyecto deberá ser compatible con entornos de prueba y prototipado, permitiendo conexiones externas y pruebas de laboratorio.

Los niveles de voltaje, consumo, estabilidad de señal y tolerancia al ruido determinan la posibilidad de comunicación entre los dos módulos. Durante el análisis se identificaron las siguientes exigencias:

- Niveles de Voltaje
    - El microcontrolador R7FA2L1AB3CFL#AA0 para su funcionamiento optimo, necesita cierto rango alimentación, esto basado en el datasheet

- El módulo de comunicación WS7300 para su funcionamiento optimo, necesita de cierto rango de alimentación, esto basado en el datasheet.

Nota: hay señales un tanto sensibles que requieren adaptación o técnicas de trazado para prevenir daños por fluctuaciones o ruido.

- También cabe decir que los 2 dispositivos requieren una alimentación libre de ruido y oscilaciones, debido a la sensibilidad de los circuitos de comunicación digital y RF.
- Por ello se definió que la tarjeta debe incluir: Capacitores de desacoplo en puntos críticos

El proyecto podría requerir compatibilidad con la interfaz UART

- UART: ya que está interfaz cumple con los requisitos que se necesitan.
- El cual, para garantizar su correcto funcionamiento, se determinaron:
- Líneas dedicadas con ruteo controlado
- Capacitores de desacoplamiento cerca de cada circuito integrado
- Evitar acoplamientos o crosstalk mediante separación física

También hay que tomar en cuenta que el WS7300 puede manejar velocidades significativas en SPI, por lo que el ruteo de estas señales debe mantener:

- Longitudes similares (en señales de reloj y datos)
- Impedancias equilibradas
- Trazos sin cambios bruscos de capa

Esto nos puede asegurar que los datos enviados desde el microcontrolador R7FA2L1AB3CFL#AA0 lleguen sin ninguna perdida o perturbación al módulo de comunicación WISUN WS7300.

Adicionalmente, como la tarjeta se realizará para que funciones junto con la tarjeta colectora para los medidores del tipo gabinete de la CFE que hay actualmente, se deberán cumplir con ciertas características específicas para llegar a este objetivo en específico:

- Dimensiones que se hayan determinado por parte de la misma CFE para los medidores del tipo gabinete.
- Tener el espacio suficiente para los conectores de programación.
- Ubicación estratégica de pads de prueba (test points).
- Separación adecuada entre señales.

Estos son algunos de los requerimientos que sirven como la base para todas las decisiones de diseño, el cual unos requerimientos se tomaron en cuenta de parte de la CFE (especificar que funciones tendrá la PCB y que características físicas tendrá para su aplicación en el entorno real) y otras se tuvieron que tomar en cuenta para que funciones las comunicaciones entre estos 2 circuitos integrados (microcontrolador y módulo de comunicación) y que toda la información que se transmita, fluya sin que tenga perdidas o perturbaciones y que las señales sean del todo claras, eficaces y precisas. Donde para lograr eso, se tendrá que buscar las características necesarias dentro de cada hoja de datos (datasheet) de los 2 circuitos integrados

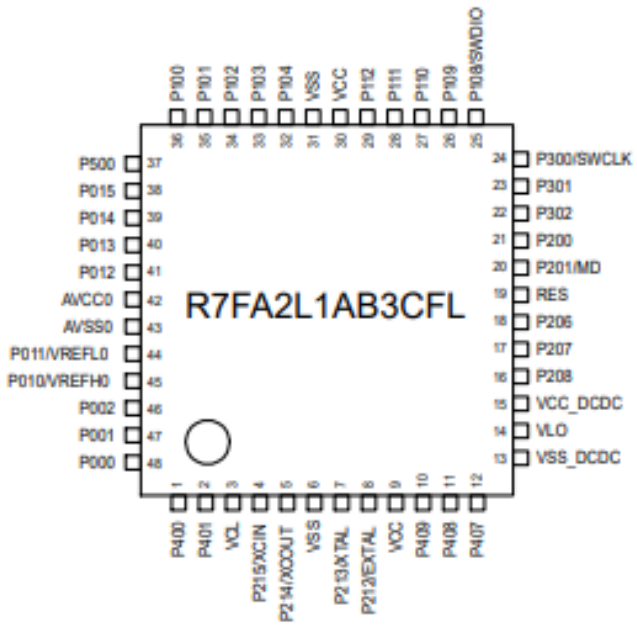


Ilustración 12: Asignación de pines para R7FA2L1AB3CFL

Nota: la ilustración 10 proviene de la hoja de datos del microcontrolador R7FA2L1AB3CFL#AA0 y para conocer más sobre este es recomendable entrar directamente al datasheet

Module pinout indication

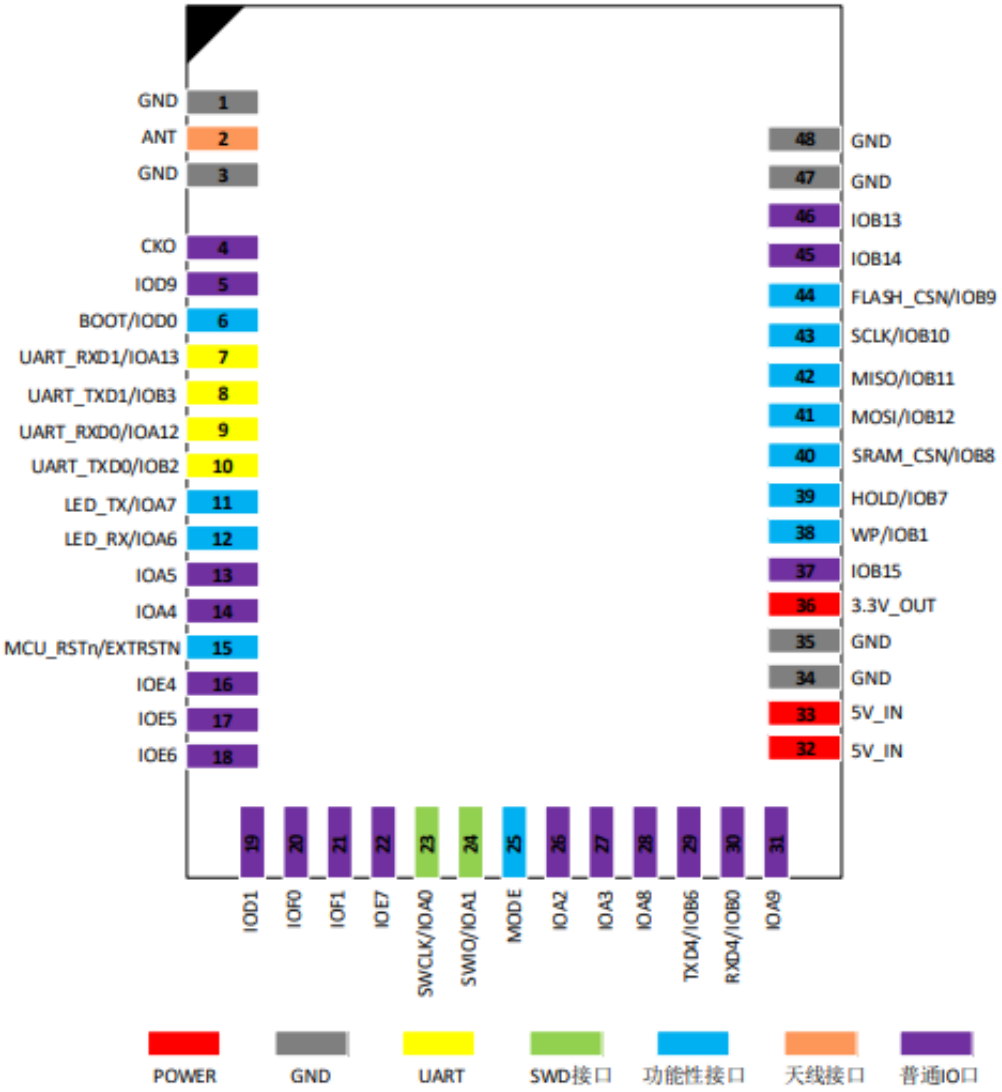


Ilustración 13: Asignación de pines WISUN WS7300

Nota: la ilustración 11 proviene de la hoja de datos del módulo de comunicación WISUN WS7300 y para conocer más sobre este es recomendable entrar directamente al datasheet.

Análisis de diagrama esquemático

A continuación, se mostrará el diagrama esquemático de la tarjeta de escalamiento WISUN, que usa un módulo de comunicación inalámbrica usado en aplicaciones como medición inteligente (smart metering) en servicio público, como en este proyecto se desarrollará la automatización de redes eléctricas (medidores de la CFE). Cabe decir que se empezó a realizar un análisis de cómo está estructurado el diagrama esquemático y que componentes conlleva el mismo, para poder entender un poco mejor su estructuración.

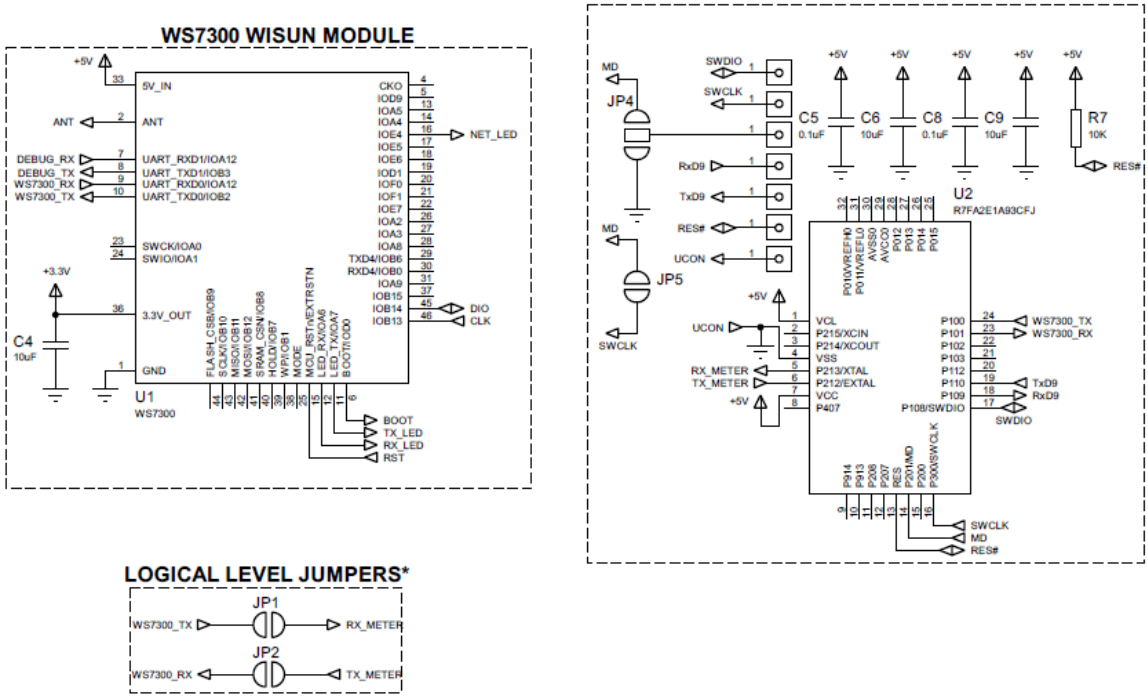


Ilustración 14: Esquemático de tarjeta WISUN part1

Nota: el diagrama esquemático que es mostrado para entender su estructuración fue proporcionado por el asesor externo, en el cual este ya estaba realizado, pero eso no quita de utilidad del punto de desarrollo que se habló anteriormente.

Para empezar, se hablará de cómo está visualizado su realización. De manera resumida para comprender de manera rápida.

WS7300 Wi-SUN Module

- Es el módulo principal de comunicación (U1).
- Maneja UART (RX/TX), SWD (debug), señales de control (BOOT, RESET), reloj (CLK), LEDs de estado.
- Se alimenta con cierto Voltaje y tiene acoplamiento de antena para RF.

Microcontrolador R7FA2L1AB3CFL#AA0 (Renesas RA2E1, U2)

- Controla la comunicación con el módulo WS7300.
- Conexión mediante UART (TX/RX), SWD (programación y debug), y pines GPIO.
- Se alimenta con +5V, regulado internamente. Aunque dependerá como uno lo quiera tomar
- Incluye resistencias de pull-up, filtros de desacoplo (capacitores) y reset.

Logical Level Jumpers (JP1, JP2)

Los cuales permiten en estructurar los niveles lógicos de transmisión de datos (la interfaz entre el WS7300 y el microcontrolador con el medidor).

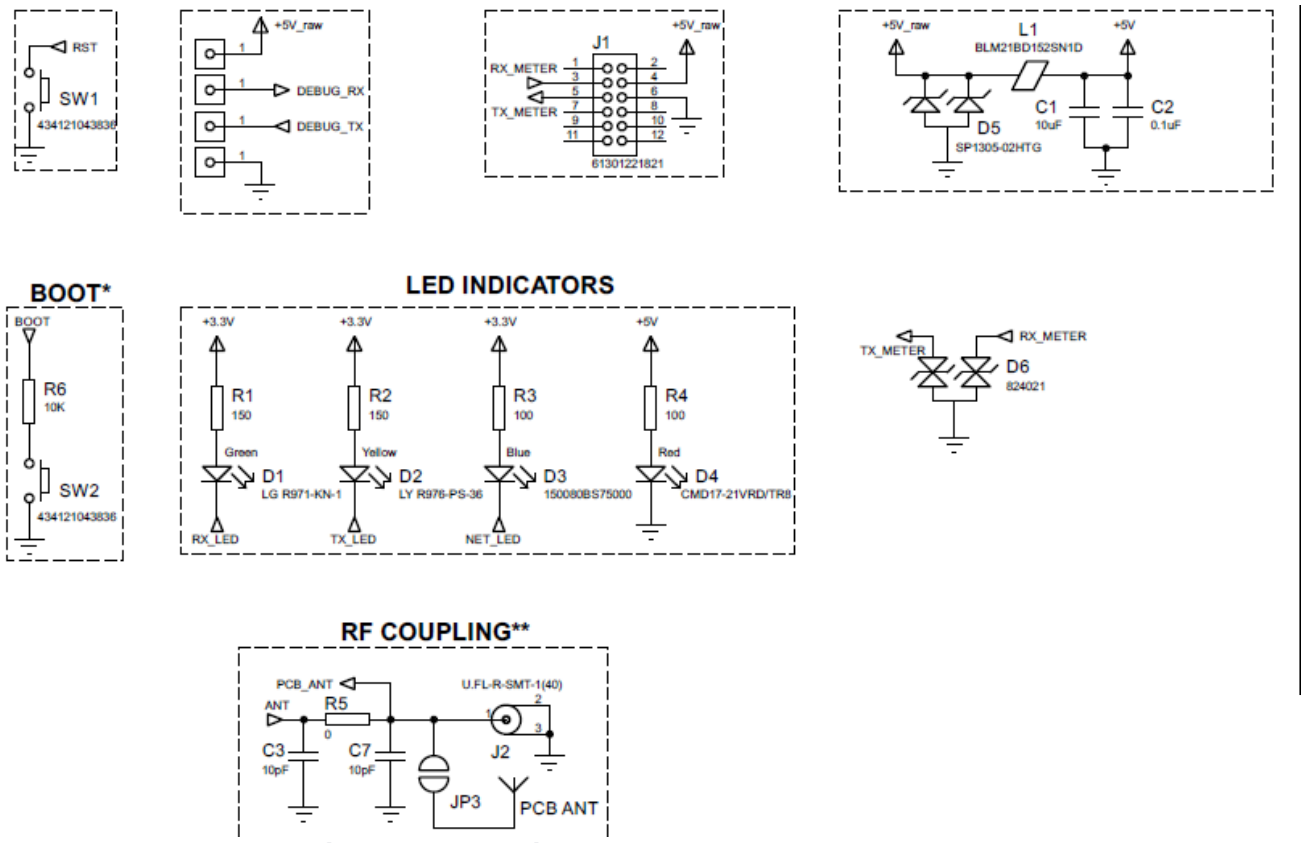


Ilustración 15: Esquemático de tarjeta WISUN part2

Nota: el diagrama esquemático que es mostrado para entender su estructuración fue proporcionado por el asesor externo, en el cual este ya estaba realizado, pero eso no quita de utilidad del punto de desarrollo que se habló anteriormente.

Reset y Boot

- SW1 (RESET): reinicia el sistema.

- SW2 (BOOT): fuerza al módulo a entrar en modo de programación o arranque especial.

UARTs

- Debug UART: puerto de depuración (consola).
- Meter Port (J1): puerto UART dedicado para comunicación con un medidor eléctrico.

LED Indicators

- RX_LED (verde): recepción de datos.
- TX_LED (amarillo): transmisión de datos.
- NET_LED (azul): estado de red.
- PWR/Status (rojo): alimentación/estado.

EMI Filter

- Bobina + capacitores para reducir interferencia electromagnética en la entrada de alimentación.

RF Coupling

- Acoplamiento de antena (PCB o externa mediante conector U.FL).
- Capacitores y resistencias de acoplamiento para la señal de RF.

Una vez que hayamos entendido de cómo está el diagrama esquemático. Se observa tanto por parte del asesor externo como del residente, que se pueden hacer ciertas modificaciones, ya que al parecer puede haber puntos que no se utilizaran respecto a cómo estará empleado en el entorno real o también puede ser por qué no serán del todo necesarios para la aplicación a la que se le definió desde un principio, también puede haber que haya puntos que no estarán del todo completo por el mismo hecho de que no tendrán una importancia tan relevante o serán remplazados por alternativas mejores y podrá ser perfectamente funcional a la hora de ponerlo aprueba en el campo.

Mapeo de pines (microcontrolador *R7FA2L1AB3CFL#AA0*)

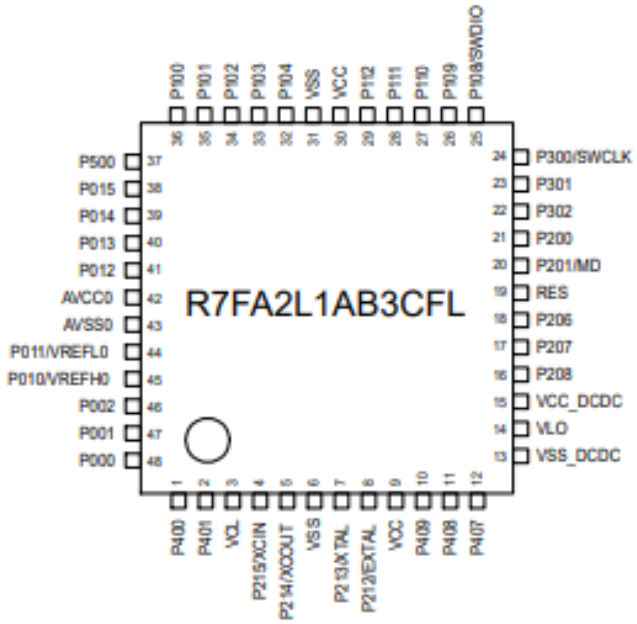


Ilustración 16: Mapeo de pines del microcontrolador

Antes de realizar el esquemático del proyecto en el software de altium designer, tenemos que saber las funcionalidades de los pines que tiene el microcontrolador R7FA2L1AB3CFL#AA0, sacando toda la información de este datasheet, donde en una hoja de Excel realizaremos el dibujo del mismo microcontrolador junto sus respectivos pines señalando con un color diferente las funcionalidades que estos pueden tener

#PIN	Descripción	uC Asignación
1	P400	SCL_MKP
2	P401	SDA_MKP
3	VCL	3.3VDC
4	P215/XCIN	
5	P214/XCOUT	
6	VSS_1	GND
7	P213/XTAL	TX_MKP
8	P212/EXTAL	RX_MKP
9	VCC_1	3.3VDC
10	P409	
11	P408	
12	P407	
13	VSS_DCDC	

14	VLO	
15	VCC_DCDC	
16	P208	
17	P207	
18	P206	
19	RES	RES#_PP/RST_MKP
20	P201/MD	SWCLK_PP
21	P200	
22	P302	
23	P301	
24	P300/SWCLK	SWCLK_PP
25	P108/SWDIO	SWDIO_PP
26	P109	RX_UC_DBUG
27	P110	TX_UC_DBUG
28	P111	
29	P112	
30	VCC	3.3VDC
31	VSS	GND
32	P104	
33	P103	PWM_MKP
34	P102	RST_W
35	P101	RX_CEL
36	P100	TX_CEL
37	P500	
38	P015	
39	P014	
40	P013	
41	P012	
42	AVCC0	3.3VDC
43	AVSS0	GND
44	P011/REFL0	
45	P010/REFH0	
46	P002	INT_MKP
47	P001	RST_MKP
48	P000	AN_MKP

Ilustración 17: Mapeo de pines en tabla de Excel

El mapeo de pines en un microcontrolador es el proceso para definir y configurar que función específica tendrá cada pin físico del microcontrolador en una aplicación especifica.

Lo cual su propósito es permitir al diseñador del mismo sistema asignar la función correcta a cada pin según los requisitos del circuito, esto con el objetivo de optimizar el diseño del

hardware. Ya que como sabemos los microcontroladores tienen varios pines, pero cada uno de ellos puede tener múltiples funciones o ciertas funciones específicas.

Sabiendo esto, se tuvo que realizar una tabla en Excel del mapeo de los pines del microcontrolador para tener certeza de lo que vamos a utilizar.

Selección de los componentes a utilizar

A continuación, la selección de componentes es un punto muy importante y el cual no se puede ignorar ya que este influenciará de como estará diseñado la PCB. En este apartado se verá cómo conseguir los componentes a utilizar, que tipo de componentes comprar (tamaño, montaje, rango de temperatura, régimen de voltaje, fabricante que los realiza, disponibilidad entre otros)

Sitios donde comprar los componentes

Mouser Electronics: Es un distribuidor autorizado de fabricantes globales de semiconductores y componentes electrónicos. El cual se especializa en la rápida introducción de los productos y tecnologías más nuevos de sus fabricantes autorizados, respaldando los diseños más nuevos, así como la cadena de suministro de fabricación.

Mouser Electronics se asocia con más de 1200 fabricantes líderes en la industria para presentar sus nuevas tecnologías. Su centro de distribución global contiene más de un millón de componentes electrónicos únicos en stock, todos recibidos directamente de fábrica y luego enviados directamente al cliente.

Mouser Electronics es una de tantas fuentes más confiables de semiconductores y componentes electrónicos. Cuando el cliente compra directamente de Mouser, se asegura que estará recibiendo productos recién fabricados directamente de la fábrica.

Además de que cumple con los más altos estándares globales de calidad, incluida la norma ISO 9001:2015. La Empresa cuenta con Certificación Aeroespacial según AS6496A, AS9120B y AS9100D en renovación de Nivel de Sensibilidad a la Humedad (MSL) de componentes electrónicos. Mouser también es un proveedor calificado como MIL. Sus productos admiten aplicaciones en las profundidades oceánicas, en el espacio exterior y en todos los lugares intermedios.



Ilustración 18: Sitio de Mouser Electronic

DIGIKEY: Es líder mundial en distribución de componentes electrónicos y productos de automatización, en el que confían la mayoría de los ingenieros, diseñadores y profesionales de compras de todo el mundo. El cual este ofrece una de las selecciones más amplias del sector de componentes autorizados, todo ello respaldado por sólidos recursos en línea, herramientas de diseño y asistencia al cliente para ayudar a hacer realidad las ideas con mayor rapidez. Desde su moderno centro de distribución de Thief River Falls (Minnesota), garantizan una entrega rápida y fiable, una calidad constante y un servicio ininterrumpido a clientes de todo el mundo.



Ilustración 19: Sitio de DigiKey

Como pueden ver, se ha mostrado los 2 principales sitios donde nosotros hemos realizado la compra de los componentes que queremos utilizar, pero esto no quiere decir que sean los únicos sitios donde uno puede conseguir los componentes para realizar sus proyectos de manera profesional. Existen otros sitios para comprar componentes electrónicos, los cuales son: TEM(electronic components), Newark, verical, Arrow Electronics, Future electronics, entre otros.

Una vez sabiendo los sitios donde uno puede conseguir los componentes para su PCB procederemos a realizar la búsqueda de ellos, dependiendo de las características que tengan y que características específicas se tomaron en cuenta para el diseño de nuestra PCB.

El tamaño de encapsulado: el tamaño de encapsulado de cada componente se identifica por un código numérico de 4 dígitos, que representa su largo y ancho del componente, donde usualmente es en milésimas de pulgada o en milímetros, a continuación, se mostrara los diferentes tamaños que hay:

Imperial	Métrico
0201	0603
0402	1005
0603	1608
0804	2012
1206	3216
1210	3225

Ilustración 20: Tamaños de los encapsulados de componentes

Para el proyecto que se está realizando se escogió el tamaño adecuado del encapsulado, un tamaño medio donde no está ni tan grande ni tan pequeño, y encajaría perfectamente con nuestra PCB.

Además, se buscó un tipo especifico de encapsulado para anexarlo al PCB. El cuál es el encapsulado tipo SMD/SMT, en otra palabra, es la forma física de un componente de montaje superficial (SMD) que se coloca directamente sobre la superficie de una placa de circuito impreso (PCB) utilizando la tecnología de montaje superficial (SMT).



Ilustración 21: Encapsulado tipo de terminación "SMD/SMT"



Ilustración 22: Conector con tipo de montaje “Through Hole”

Rango de temperatura: hay que tomar en cuenta que tipo de temperatura mínima y máxima del componente aguanta, ya esto influenciara en su aplicación en el campo, ya que dependiendo del área donde este estará la temperatura puede provocar que deje de funcionar, si los componentes no soportan esa temperatura .

En nuestro caso todos los componentes soportan una temperatura de -55° a 85° grados. Que también ser considerado de grado automotriz o industrial.

Temperatura de trabajo mínima:	- 55 C
Temperatura de trabajo máxima:	+ 85 C

Ilustración 23: Rango de temperatura.

Régimen de voltaje: en este apartado el régimen de voltaje es importante, ya que nos ayudara a conocer en que rangos de alimentación los componentes pueden funcionar óptimamente sin que tengan una perjudicarían. Esta característica se ve en todos los componentes electrónicos.

RoHS:	RoHS Detalles
Capacitancia:	10 uF
Régimen de voltaje de CC:	10 VDC

Ilustración 24: Régimen de voltaje en componentes

Fabricante que realiza los componentes: ahora, hay que tomar en cuenta a que tipo de fabricante le compraras los componentes electrónicos ya que este tiene mucha influencia a la disponibilidad de los componentes. Y si le compran un componente a un fabricante no muy conocido, puede que el stock del producto se vea perjudicado.

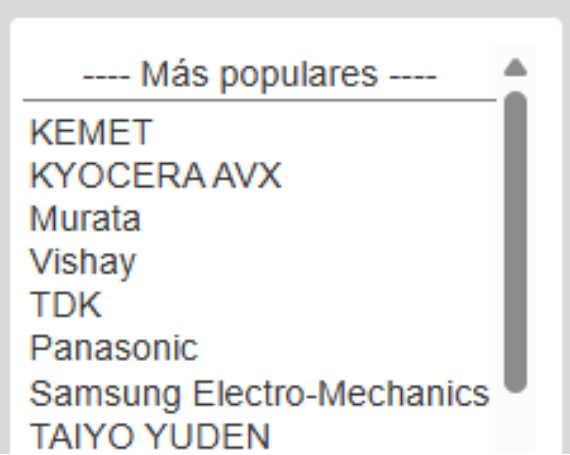


Ilustración 25: Fabricantes de componentes más reconocidos

Nota: el tamaño de encapsulado nomas influye en los capacitores, resistencias y diodos. Y en otros componentes su encapsulado es diferente pero no en circuitos integrados y transistores.

La disponibilidad de los componentes es muy importante de tomar en cuenta y para ello hay que tomar en cuenta los fabricantes que ofrecen los componentes ya que si estos fabricantes son muy populares y reconocidos nos asegura de que los productos ofrecidos por estos fabricantes tendrán disponibilidad por bastante tiempo. En cambio, si encontramos un componente fabricado por una empresa nueva y no muy buena conocida habrá una gran probabilidad de que no haya disponibilidad en poco tiempo. Cabe decir que hay sitios web que

nos pueden facilitar saber la disponibilidad de los componentes de distintos sitios web, el cual es “octopart”.

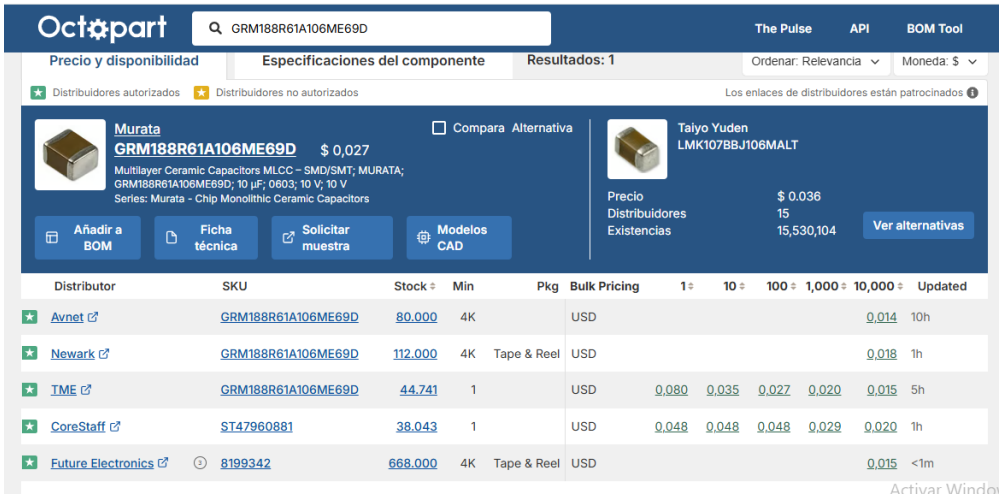


Ilustración 26: Sitio para verificación de disponibilidad

Registro en tabla de EXCEL

Una vez teniendo claro todos los puntos anteriores, se realizó una búsqueda exhaustiva de los componentes que necesitaremos y registraremos cada uno de ellos en una tabla de Excel para tener un control de que componentes ya tenemos disponibles en las librerías, también estos se registraran de manera ordenada con toda su información para así tener la información clara de que asignación de parte, nombre del componente, fabricante, numero de parte, descripción del componente, valor, tamaño del empaquetado, fecha en la que se agregó, donde poder conseguirlo. A continuación, se mostrará una tabla de cómo se tendrá que hacer el registro.

01-Invertek PartNumber	03-Name	04-Manufacturer	05-MfgPartNumber	06-PartNumberDescription	07-Value	08-Package	09-Date	10-Link
PC-C-0001	Capacitor	KYOCERA AVX	1206ZC226KAT2A	22 µF ±10% 10V Capacitores cerámicos X7R 1206 (3216 métrico)	22 µF	1206	02-08-2025	https://www.mouser.mx/
PC-C-0002	Capacitor	KYOCERA AVX	KGM15BR71H104KT	0.1 µF ±10% 50V Capacitores cerámicos X7R	0.1 µF	0603	02-08-2025	https://www.mouser.mx/
PC-C-0003	Capacitor	Johanson Dielectrics Inc.	EMCT250W104M1GV001E	0.1 µF ±20% 25V Capacitores cerámicos X7R 0805 (2012 métrico)	0.1 µF	0805	02-08-2025	https://www.digikey.com
PC-C-0004	Capacitor	Samsung Electro-Mechanics	CL31A107MQHNNWE	CAP CER 100UF 6.3V X5R 1206	100 µF	1206	02-08-2025	https://www.mouser.mx/
PC-C-0005	Capacitor	Samsung Electro-Mechanics	CL10C060DB8NNNC	6 pF ±0.5pF 50V Capacitores cerámicos C0G, NP0 0603 (1608 métrico)	6pF	0603	02-08-2025	https://www.digikey.com
PC-C-0006	Capacitor	Samsung Electro-Mechanics	CL10B105KP8NNNC	1 µF ±10% 10V Capacitores cerámicos X7R 0603 (1608 métrico)	1 µF	0603	02-08-2025	https://www.digikey.com
PC-C-0007	Capacitor	Murata Electronics	GRM188R61A106ME69D	10 µF ±20% 10V Ceramic Capacitor X5R 0603 (1608 Metric)	10 µF	0603	02-08-2025	https://www.digikey.com
PC-C-0008	Capacitor	Murata Electronics	GCM1885C2A101JA16D	100 pF ±5% 100V Capacitores cerámicos C0G, NP0 0603 (1608 métrico)	100 pF	0603 (1608 metric)	19-08-2025	https://www.digikey.com
PC-C-0009	Capacitor	KEMET	EEV107M010S9GAA	Capacitores electrolíticos de aluminio 100 µF 10 V Radial, encapsulado - terminales SMD 2000 h a 105°C	100 µF	0.248" (6.30mm) D	19-08-2025	https://www.digikey.com
PC-C-0010	Capacitor	KEMET	C0603C103K8RACTU	10000 pF ±10% 10V Capacitores cerámicos X7R 0603 (1608 métrico)	0.01 uF	0603 (1608 métrico)	23-08-2025	https://www.mouser.mx/
PC-C-0011	Capacitor	Murata Electronics	GRM035D70E475ME18D	4.7 µF ±20% 2.5V Capacitores cerámicos X7T 0201 (0603 métrico)	4.7 µF	0201 (0603 métrico)	27-08-2025	https://www.digikey.com

Ilustración 27: Registro de los componentes a utilizar.

Dar de alta librerías en altium designer

A continuación, La realización de librerías de componentes en Altium Designer es una etapa fundamental dentro del desarrollo del proyecto, ya que garantiza que los símbolos esquemáticos y los encapsulados físicos utilizados en el diseño del circuito sean completamente compatibles con los componentes reales que serán utilizados en la fabricación de la tarjeta. Este proceso es especialmente importante cuando se trabaja con dispositivos especializados, como el módulo Wi-SUN WS7300, cuyos encapsulados no siempre se encuentran disponibles en las librerías estándar del software.

Posteriormente a lo dicho, en este apartado se verá todo el proceso de cómo se agregarán las librerías correspondientes al software de Altium Designer.

Para empezar, nosotros tenemos que crear nuestra propia librería, donde esta abarca la librería del esquemático y la librería del Footprint, las cuales son muy importantes ya que una sirve para hacer el diagrama esquemático y el segundo sirve para hacer el diseño de la PCB en 2D y 3D.

Donde la siguiente ilustración muestra cómo crear las 2 librerías necesarias.

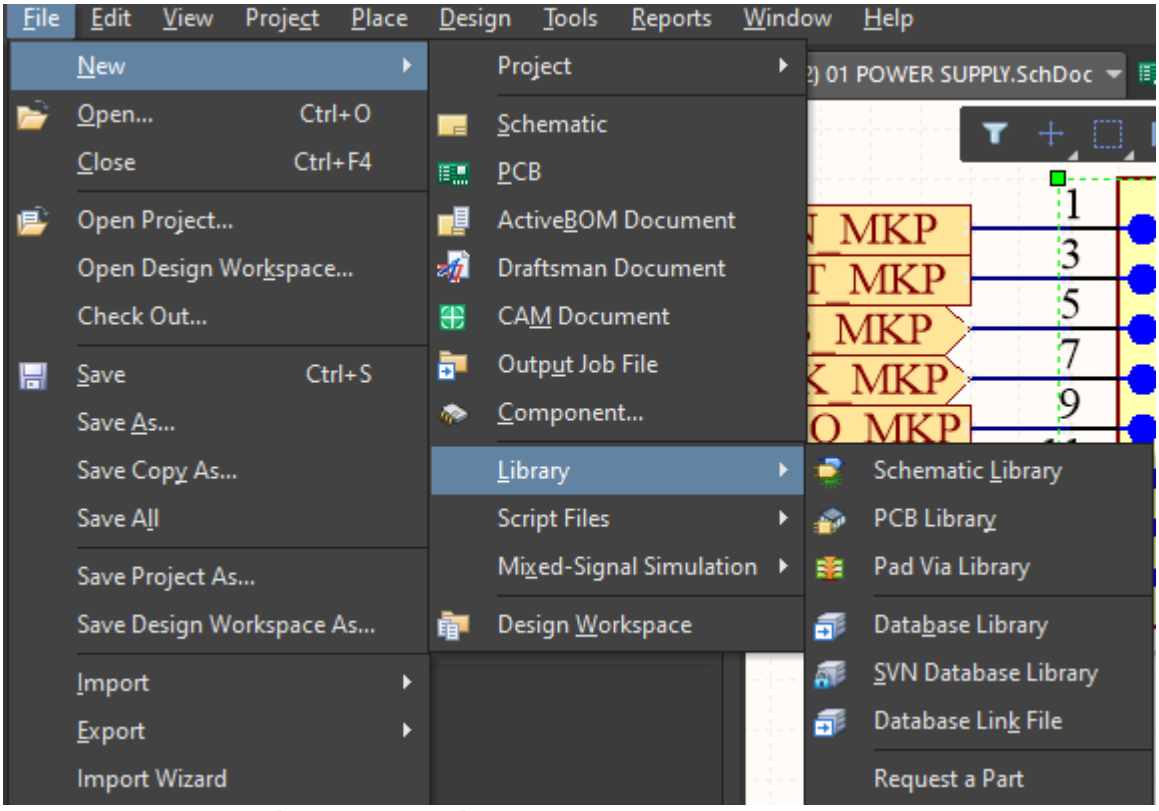


Ilustración 28: Creación del Schematic Library y PCB Library.

Los nombres que se les dará a las librerías tanto para el esquemático como el PCB serán las que uno desea, como pueden ver en la siguiente ilustración.



Ilustración 29: Nombramiento de las librerías.

Una vez realizado lo anterior, nos adentramos a la página donde está a la venta el componente, en esta página podremos encontrar el datasheet del respectivo componente, pero eso no es todo ya que también nos muestra una visualización preliminar de su diseño del mismo modo se encontrarán los datasheet de los diversos componentes que ocuparemos en el diseño de PCB, entre otras variedades de componentes. Así, se puede decir que es una página muy completa donde podremos encontrar bastante información del componente a comprar y hasta su mismo datasheet donde podremos encontrar información más detallada.

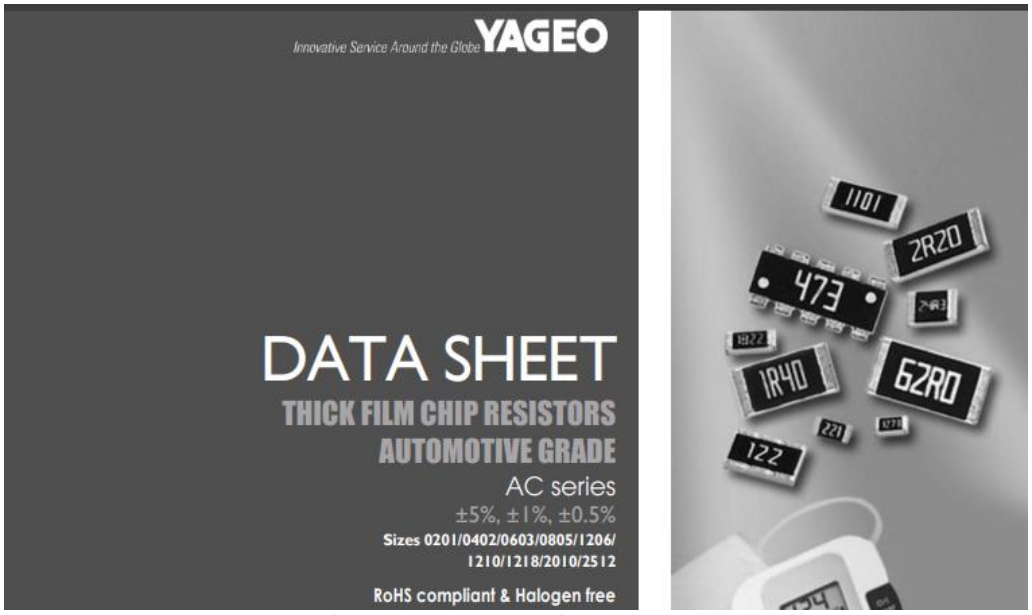


Ilustración 30: Información para las librerías

Nota: cabe decir que la página del datasheet, tiene información indispensable donde uno puede encontrar todo respecto a su funcionamiento, parámetros, dimensiones, entre otras cosas. Es por ello, por el cual lo necesitaremos para realizar las librerías de forma que no hay error en su diseño final a la PCB.

Una vez sabiendo esto, se redirigirá a la pestaña de SCH LIBRARY, la cual está en la parte inferior izquierda, donde nosotros podremos saber que librerías de los componentes hay

disponibles, y también donde nosotros podremos agregar librerías nuevas para los componentes que vamos a utilizar, esto dibujándolos trazo por trazo.



Ilustración 31: Pestaña de SCH Library

Una vez dado clic en la pestaña indicada, nos aparecerá una ventana nueva en la parte izquierda del software, donde podremos observar una pestaña donde nosotros podremos agregar el símbolo del componente de manera manual y también asignarle el nombre y sus respectivos parámetros. Para mayor claridad observe la siguiente ilustración.

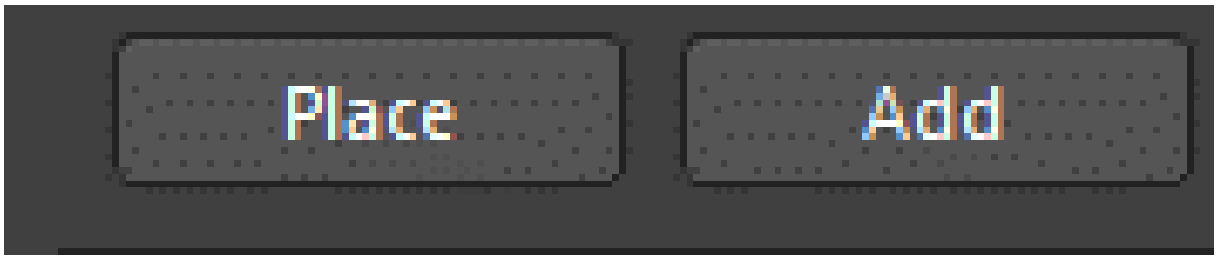


Ilustración 32: ADD squematic library.

Así también, al momento de crear la librería, se tendrá asignar el siguiente nombre, donde primero ira el nombre especifico asignado y luego el número de componente el cual se muestra en la página en la que está en venta.



Ilustración 33: Nombramiento de la librería.

Una vez creada la librería, nosotros podremos visualizarlo dentro de la pestaña de SCH Library donde podemos ver que ya está asignada de manera correcta sin problemas, lo cual nos lleva a realizar los trazos para la realización del símbolo del componente.

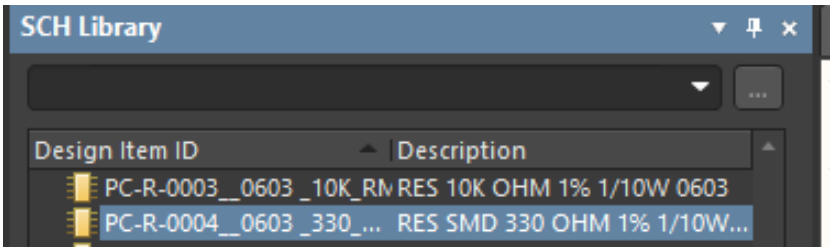


Ilustración 34: Librería guardada correctamente.

Una vez teniendo todo lo anterior, nos adentraremos a realizar los trazos requeridos para la simbología del componente, para ello usaremos la barra de herramientas que está en la parte superior del área de dibujo.

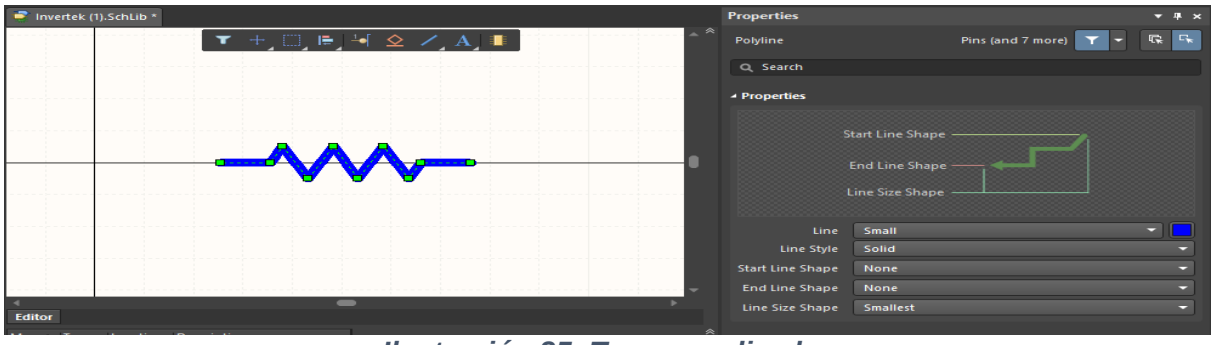


Ilustración 35: Trazos realizados

La siguiente ilustración que se puede visualizar. Veremos que en la barra de herramientas tiene disponible las líneas necesarias para hacer los trazos correspondientes y también tiene las líneas para los pads, donde estos son obligatorios usar para que se conecte el componente al momento de realizar el diagrama eléctrico en altium designer.

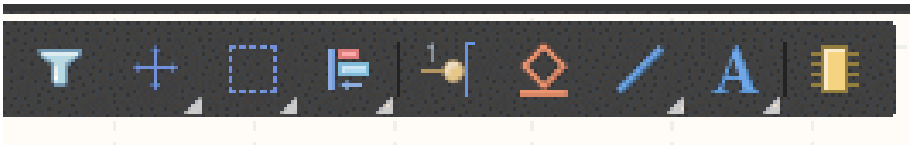


Ilustración 36: Barra de herramientas a utilizar.

En la siguiente imagen podemos ver el símbolo del componente realizado, pero eso no es todo, ya que ahora falta agregar información a sus propiedades y parámetros, esto con el fin de tener un control más preciso de que componente se está agregando.

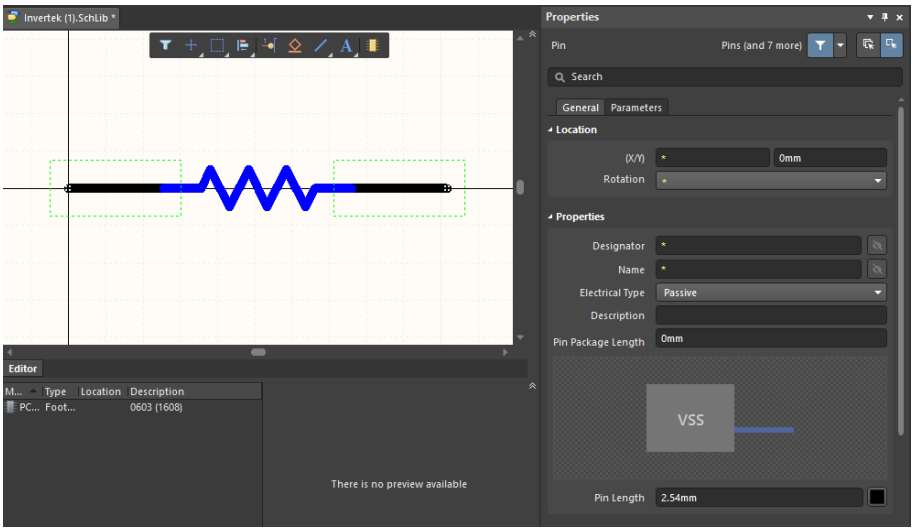


Ilustración 37: Dibujo del componente

Una vez realizado dibujo del componente, procedemos a agregar el Designator, comentario, y descripción del componente, el cual lo podremos encontrar en la página en la que está en venta el componente, esto con el fin de facilitar su búsqueda y diseño.

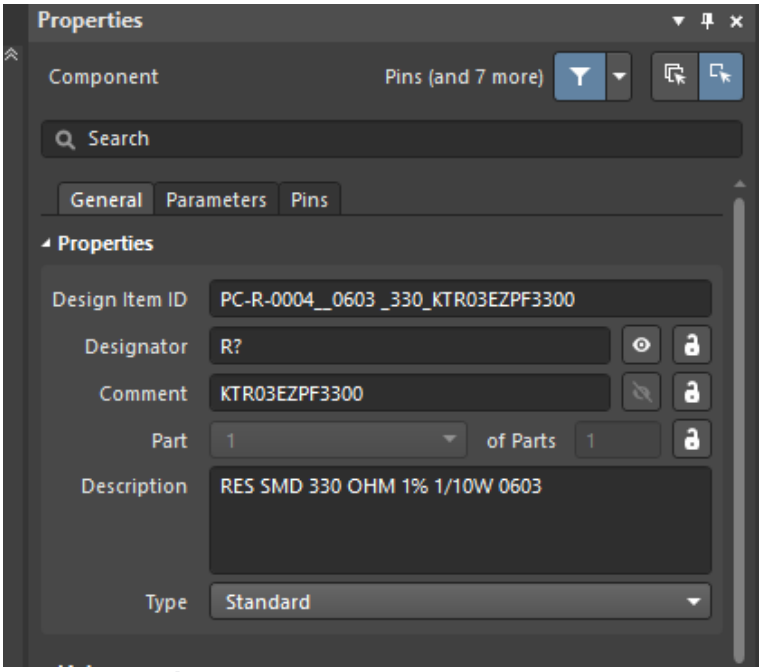


Ilustración 38: propiedades generales a utilizar.

Ahora nos dirigiremos al apartado de parámetros donde nosotros tendremos que agregar toda la información necesaria y ordenada, esto con el fin de que nos servirá para la realización del documento de materiales (BOOM).

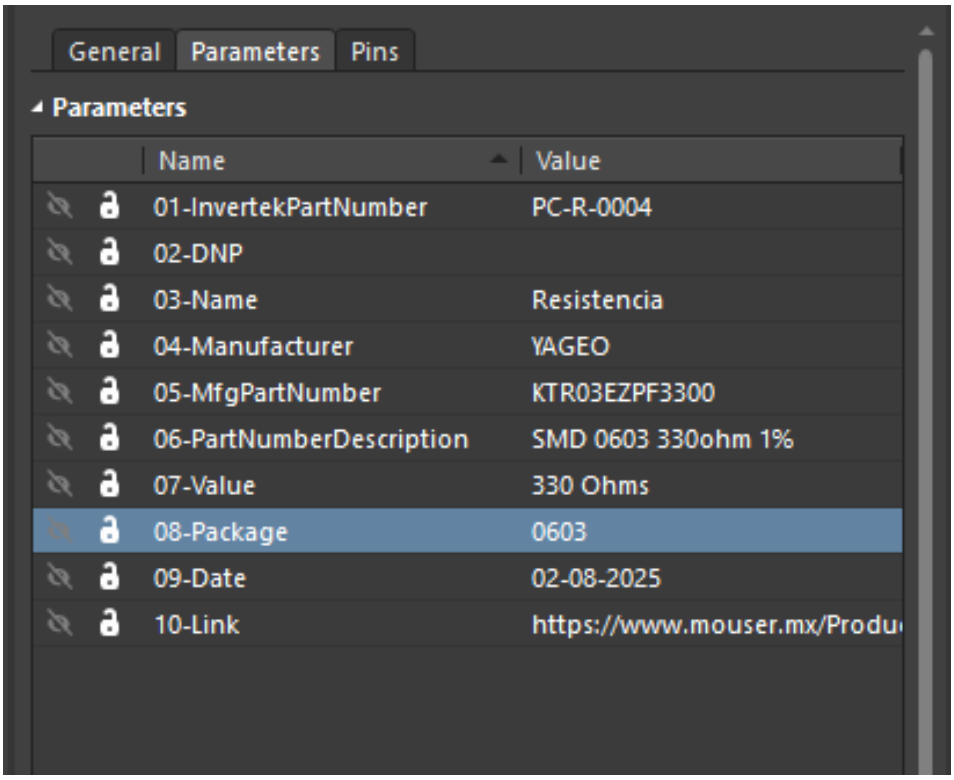


Ilustración 39: Parámetros del componente.

A continuación, en la siguiente ilustración se mostrará el diseño final de la librería correspondiente, él quiere decir que así se visualizar en nuestro diagrama esquemático.

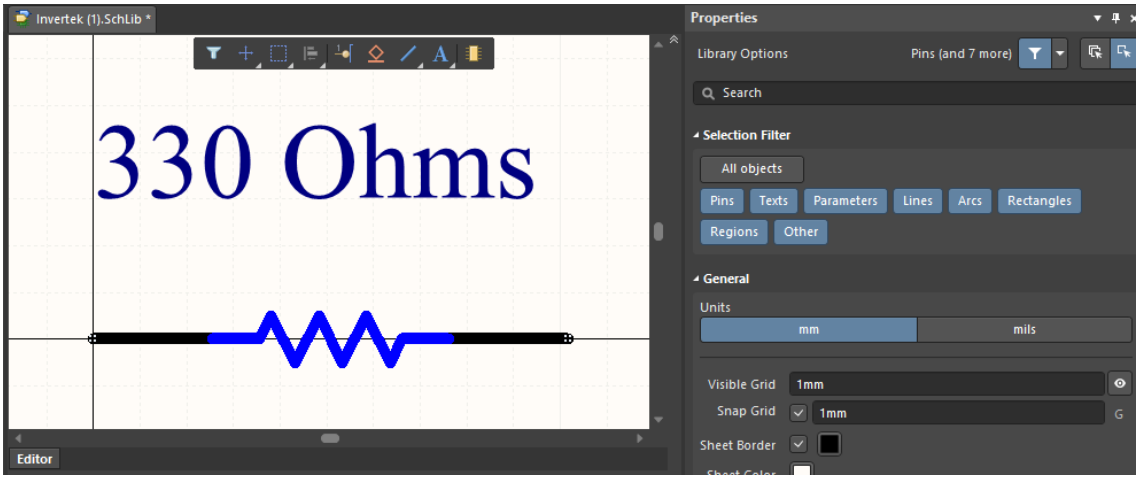


Ilustración 40: Visualización final del esquemático.

Teniendo la librería del esquemático listo, procedemos a realizar la librería del PCB, para ello seguiremos los mismos pasos donde primero daremos clic en la opción de PCB Library.

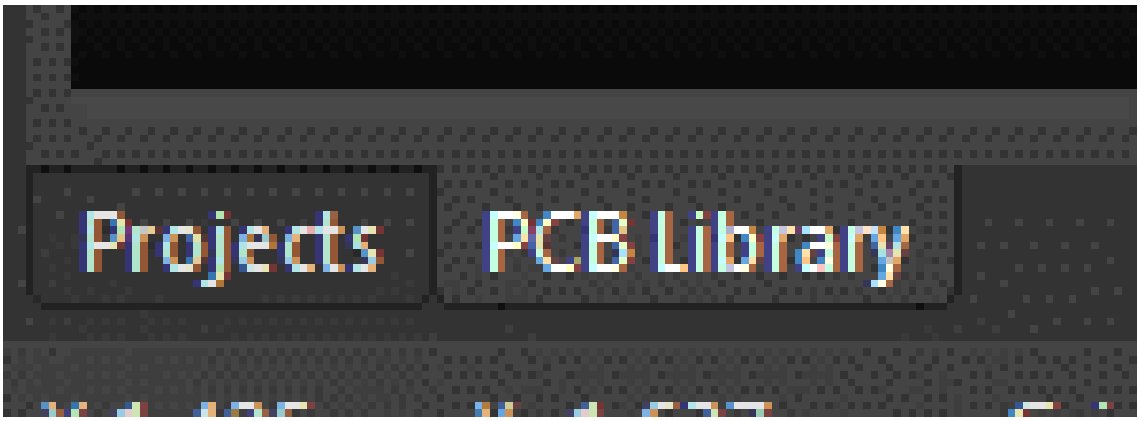


Ilustración 41: Pestaña de visualización.

Luego tenemos que crear el nombre de la librería, para ello tenemos que dar clic en la opción de ADD, también hay que tomar en cuenta que las 2 librerías a realizar tendrán que tener el mismo nombre para una mejor identificación de cada una de ellas y así poder vincularlas.

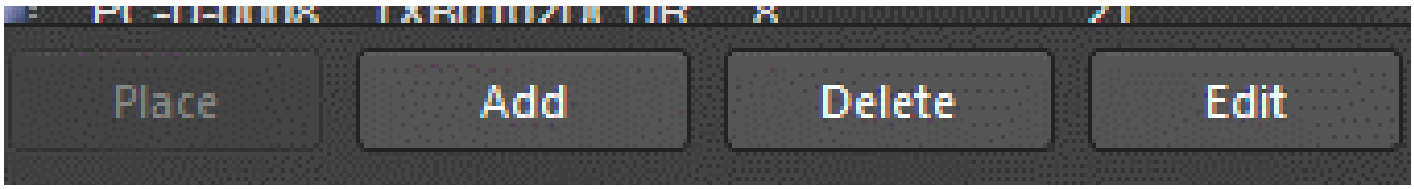


Ilustración 42: ADD PCB Library.

Así también nos aparece una venta de PCB Library, el cual podemos identificar que la librería creada esta guardad correctamente y por ello podemos proseguir a realizar el diseño del componente.

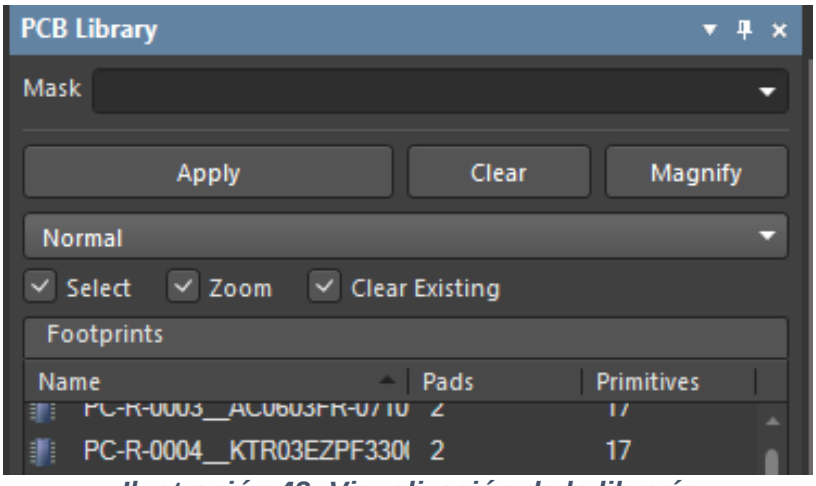


Ilustración 43: Visualización de la librería

Una vez creado la librería con su respectivo nombre se procederá a realizar el diseño de este mediante la barra de herramientas, el cual nos da todo lo necesario para su realización.

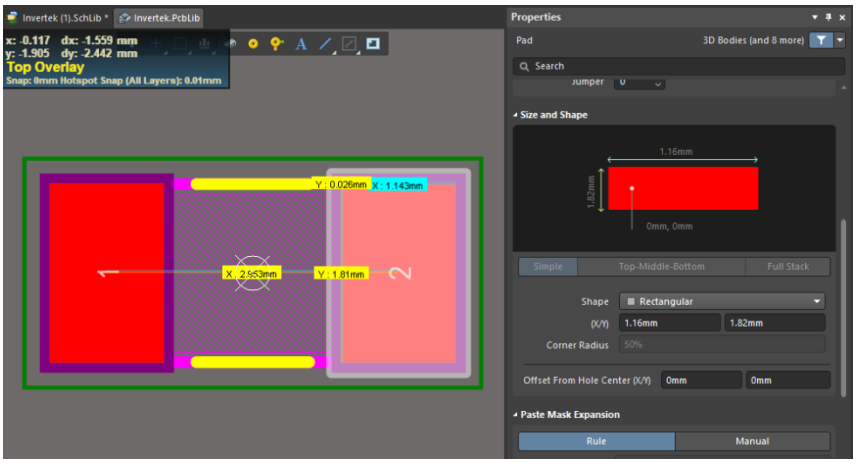


Ilustración 44: Diseño 2D de PCB

para empezar a realizarla tenemos que basarnos en el datasheet del componente ya que en este se muestra las medidas requeridas que tiene el componente. Y si ignoramos esta parte, este mismo footprint no servirá de nada, porque al momento de tenerlo en físico la PCB los pads del componente no coincidirán con el footprint impreso en la PCB, lo que hace que se cometa un error técnico y económico, y no habrá forma de realizar las pruebas correspondientes para verificar y validar el correcto funcionamiento de la PCB.

Table 1 For outlines, please refer to Fig. 9

TYPE	L (mm)	W (mm)	H (mm)	l_1 (mm)	l_2 (mm)
AC0201	0.60 ±0.03	0.30 ±0.03	0.23 ±0.03	0.12 ±0.05	0.15 ±0.05
AC0402	1.00 ±0.05	0.50 ±0.05	0.32 ±0.05	0.20 ±0.10	0.25 ±0.10
AC0603	1.60 ±0.10	0.80 ±0.10	0.45 ±0.10	0.25 ±0.15	0.25 ±0.15
AC0805	2.00 ±0.10	1.25 ±0.10	0.50 ±0.10	0.35 ±0.20	0.35 ±0.20
AC1206	3.10 ±0.10	1.60 ±0.10	0.55 ±0.10	0.45 ±0.20	0.45 ±0.20
AC1210	3.10 ±0.10	2.60 ±0.15	0.55 ±0.10	0.45 ±0.15	0.50 ±0.20
AC1218	3.10 ±0.10	4.60 ±0.10	0.55 ±0.10	0.45 ±0.20	0.40 ±0.20
AC2010	5.00 ±0.10	2.50 ±0.15	0.55 ±0.10	0.55 ±0.15	0.55 ±0.20
AC2512	6.35 ±0.10	3.10 ±0.15	0.55 ±0.10	0.60 ±0.20	0.60 ±0.20

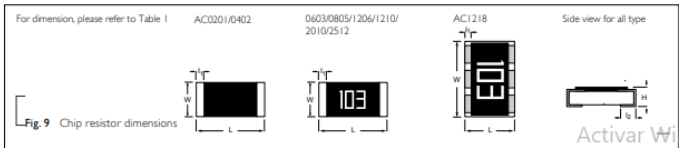


Ilustración 45: Medidas en el datasheet

Una vez teniendo todo listo y todas las medidas rectificadas se procederá a vincular estas 2 librerías para que se pueda utilizar tanto en el diagrama esquemático como en el diseño de PCB.

Donde para ello será el último detalle que vamos a realizar para tener completo la librería del componente.

Para vincular la librería de PCB al esquemático nos dirigiremos al apartado de footprint, donde tenemos la opción de add, el cual hacer esto nos ayuda mucho al momento de hacer el diseño de PCB ya que agrega los componentes utilizados en los esquemáticos hechos de manera automática, y no tendremos a hacer todo desde 0.

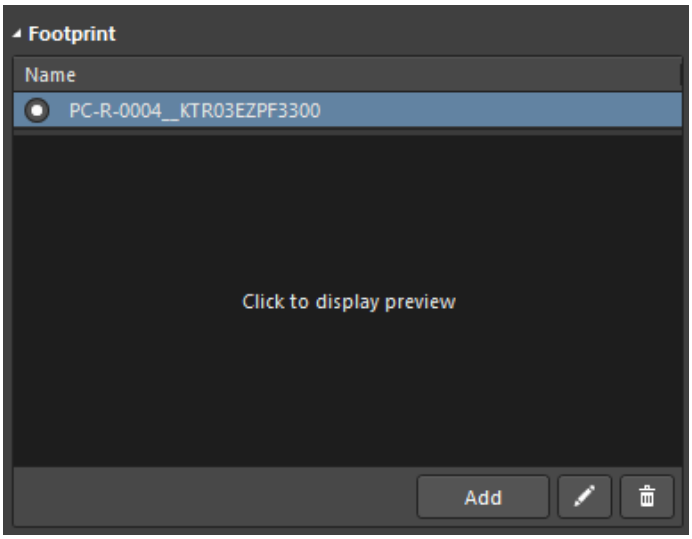


Ilustración 46: add Footprint

Para escoger la librería del respectivo componente tendremos que buscarla dentro de la misma carpeta de la librería hecha desde un principio.

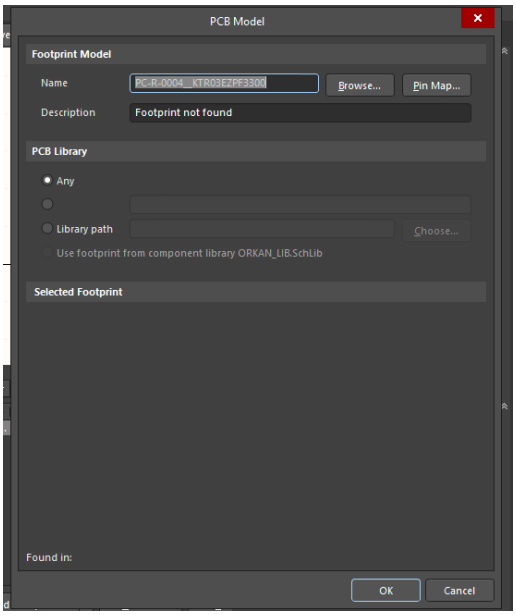


Ilustración 47: Ventana de búsqueda

Ya hecho todo lo anterior, ahora podremos visualizar los resultados de todo nuestro trabajo, ya que estos se reflejarán en la siguiente ilustración. Y se puede ver que esta todo correcto.

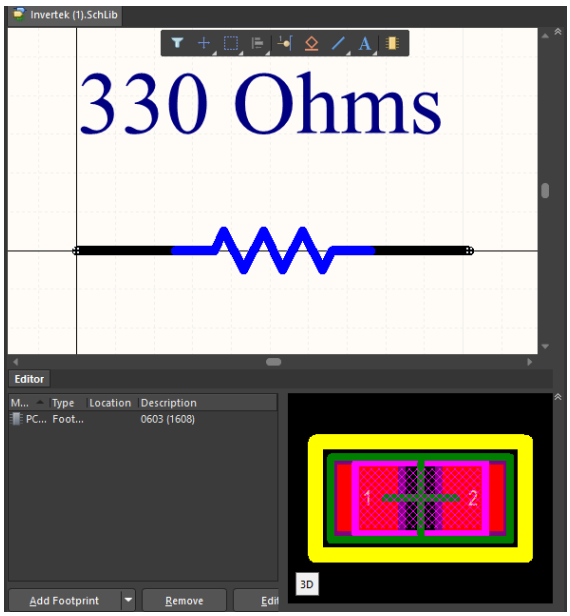


Ilustración 48: Visualización final 2D

A continuación, se mostrará una visualización en 3D del componente, donde este nos dará una idea de cómo nuestro diseño queda.

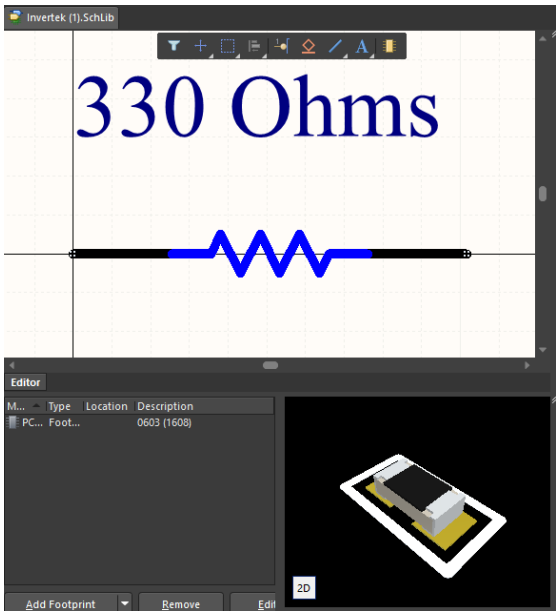


Ilustración 49: Visualización final 3D

Ahora que tenemos claro todas las actividades que se tienen que hacer para que librerías de los componentes estén disponibles, estos mismos se tienen que repetir con todos y cada uno de los componentes que nosotros requeríamos.

Nota: la vinculación de las librerías es obligatoria, el modelo 3D se tiene que buscar por separado o bien dejarlo sin él, ya que no influye en nada en el desarrollo de diseño de la PCB.

Diseño del esquemático en software de Altium Designer

Teniendo los puntos anteriores listos, pudimos realizar el diseño del esquemático en Altium Designer, tomando como referencia los diagramas proporcionados previamente por la empresa, los cuales describen la interconexión entre los 2 circuitos integrados, y los componentes adicionales necesarios para la correcta adaptación de alimentación y control de señales. Esta etapa representa uno de los pasos más importantes del proyecto, ya que permitió transformar la arquitectura conceptual del sistema en un diagrama eléctrico formal, preciso y listo para ser traducido al diseño físico de la PCB.

Para empezar esto primero tenemos que crear un proyecto en altium designer

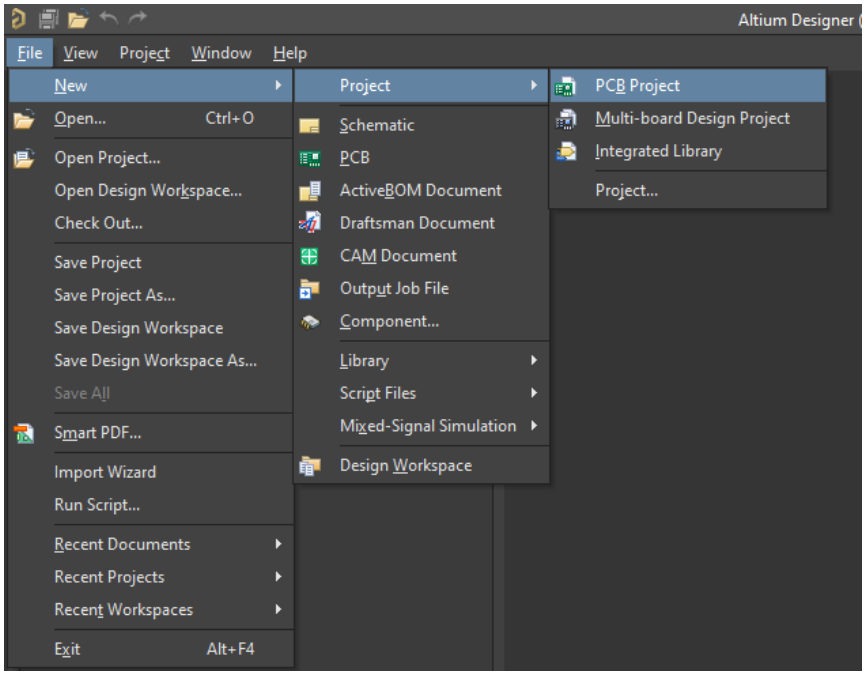


Ilustración 50: Creación del proyecto

Para tener una buena organización, control y una fácil identificación del proyecto que estamos haciendo le tendremos que dar el nombre que uno desee otorgar para reconocer mejor el proyecto que estamos trabajando. Como se puede ver en la siguiente ilustración.

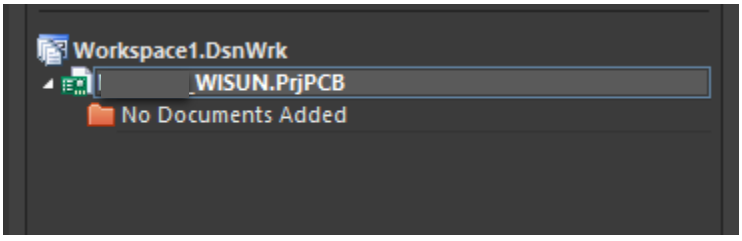


Ilustración 51: Nombramiento del proyecto.

Nota: para renombrar el proyecto le tenemos que dar clic izquierdo para luego en guardar como, y así renombrar el proyecto

Ahora, dentro del proyecto creado, crearemos el archivo donde realizaremos el esquemático.

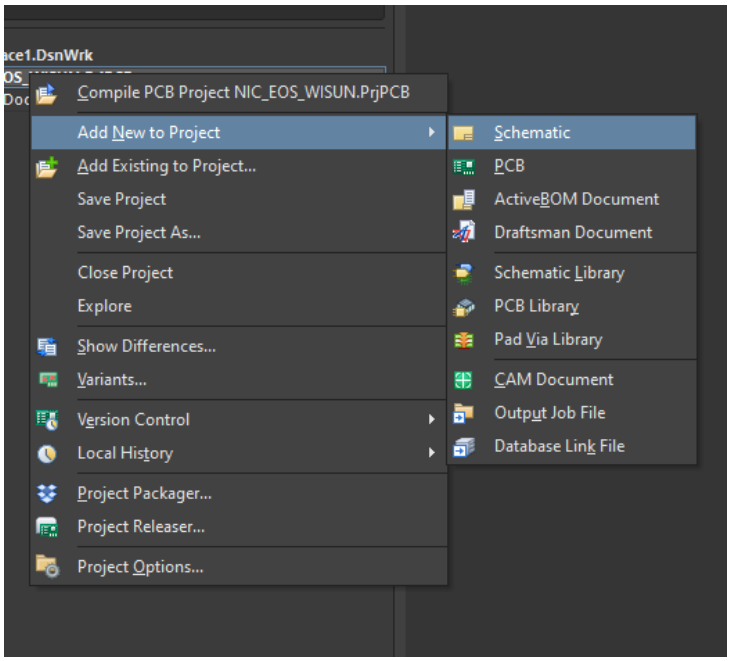


Ilustración 52: Archivo para el esquemático

Una vez creado el archivo, lo podremos visualizar abajo del proyecto, los cual nos indica que este archivo está dentro del mismo proyecto. Y quiere decir que estos trabajan de manera conjunta.

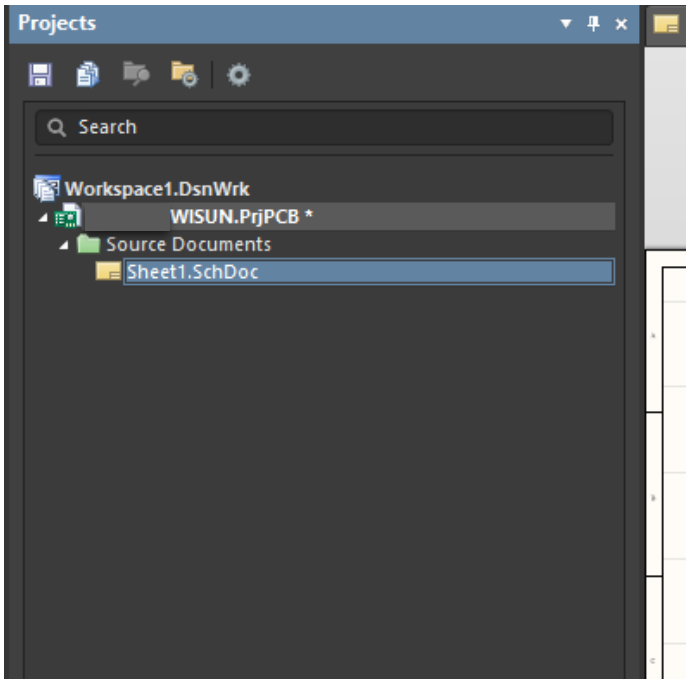


Ilustración 53: Visualización del archivo para el esquemático

Ahora una vez hecho esto tendremos que repetirlo 5 veces, para realizar el esquemático en general por secciones para una visualización más fácil.

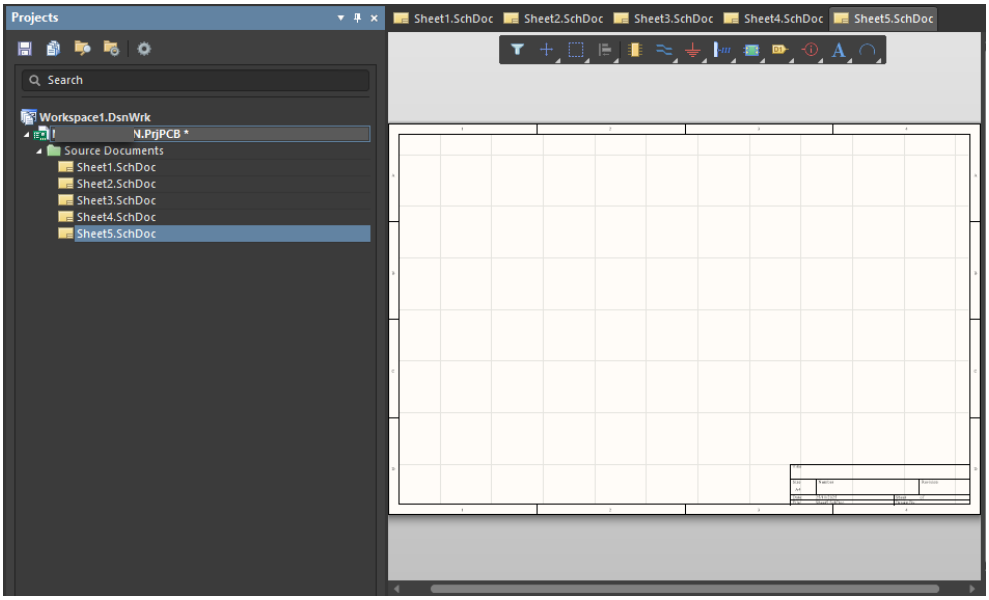


Ilustración 54: Visualización de los 5 esquemáticos

Luego de haber creado los 5 archivos esquemáticos, procederemos a renombrarlos de la siguiente manera: *POWER SUPPLY, MICROCONTROLLER, USER INTERFACE, PERIPHERALS, COMM TYPE*. Para tener una mejor distribución de la función que tiene cada bloque que fue realizado. Para mayor entendimiento vea la siguiente ilustración.

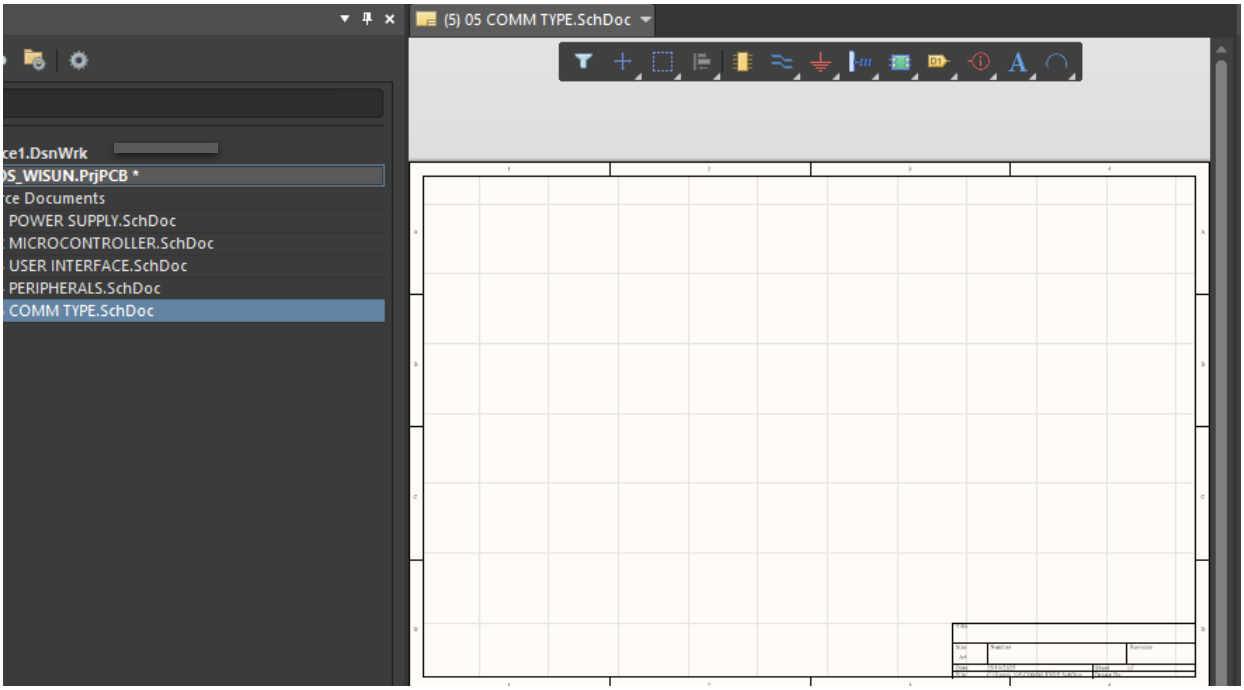


Ilustración 55: Renombramiento de los esquemáticos.

Para el nombramiento de los esquemático, se hace de la misma manera donde primero tenemos que dar opción de guardar como a cada archivo y luego ponerles el nombre a reemplazar. Para mayor claridad vea la siguiente ilustración.

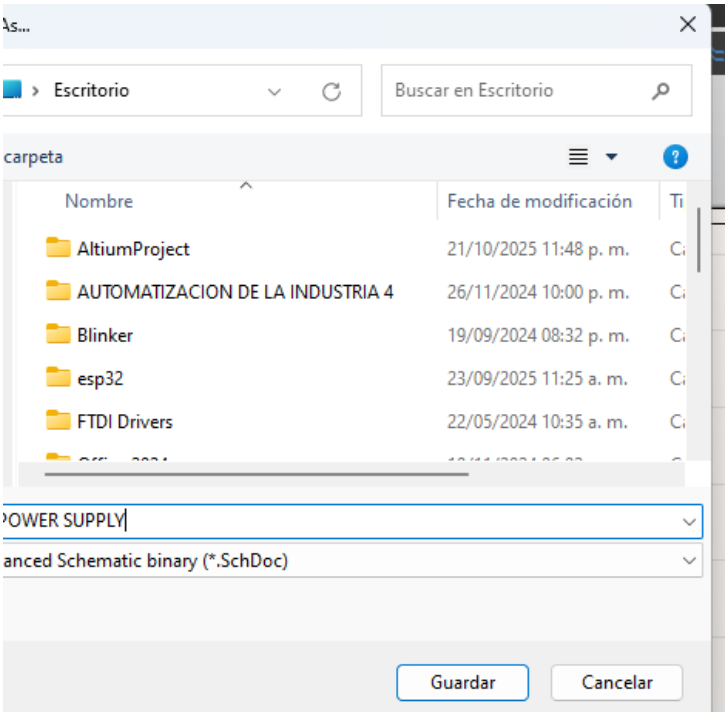


Ilustración 56: Manera para asignar nombre.

Por último, paso, crearemos el archivo para la PCB, para tener de manera anticipada el archivo para realizar el diseño de la PCB.

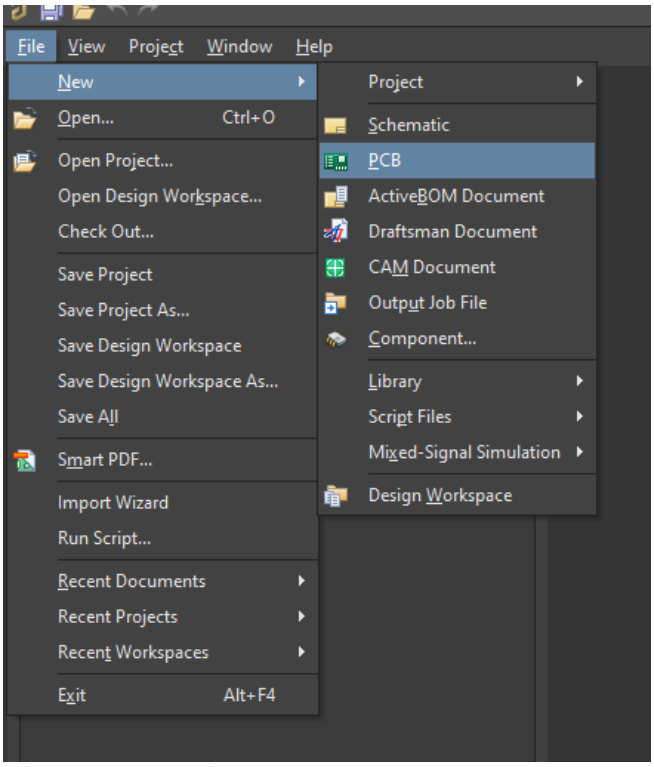


Ilustración 57: Creación del archivo para el diseño de la PCB.

Repitiendo el paso del renombramiento, se tiene que hacer lo mismo con el archivo PCB creado. Para una mejor visualización. Teniendo una vista final de todos los archivos creados necesarios para el proyecto junto con las librerías a utilizar.

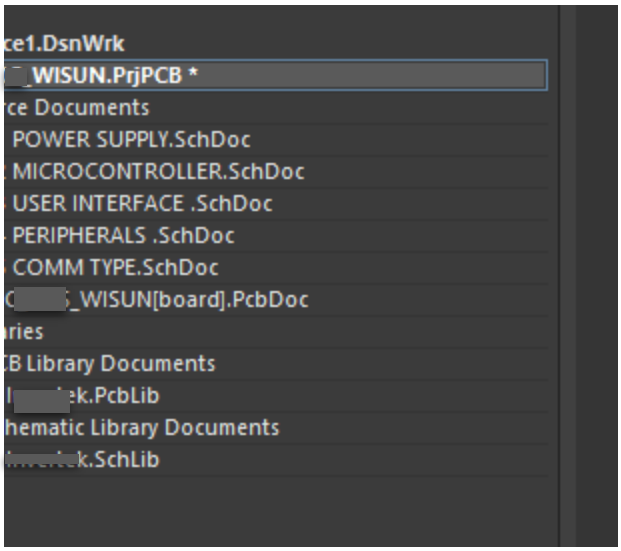


Ilustración 58: Visualización final

En la siguiente ilustración se verá la barra de herramientas que vamos a utilizar, la cual consiste en los componentes a ocupar, trazos, alimentación, GND, etiquetas, cuadros de texto, etc.



Ilustración 59: Barra de herramientas.

Para utilizar un componente tenemos que seleccionar la librería que creamos, ya que dentro de ella están todos los componentes que necesitamos, y una vez localizado solo arrastramos el componente al plano de diseño.

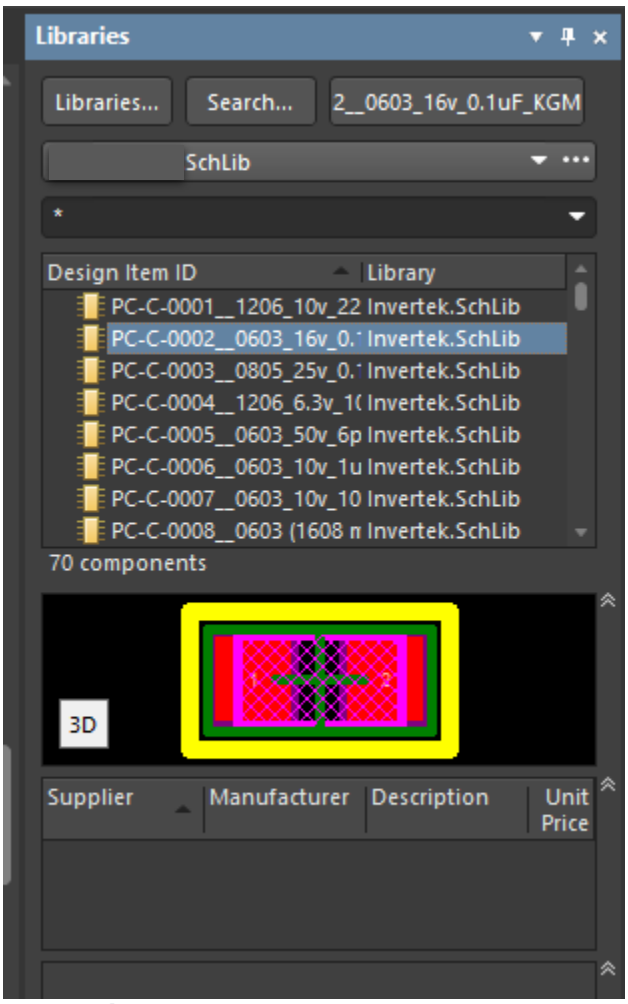


Ilustración 60: Selección de los componentes a utilizar dentro de la librería.

Una vez, teniendo claro de cómo se utilizará la barra de herramientas y como usar los componentes dentro la librería creada por nosotros. Procederemos a realizar la primera sección, donde en este apartado solo tiene que haber circuitos de alimentación o fuentes de voltaje. En caso del proyecto no usaremos una fuente de voltaje interno, sino que la placa se alimentara de manera externa por parte del Medidor, así como la comunicación de la placa con el medidor. Como se puede ver en la siguiente ilustración, solo llevara un conector.

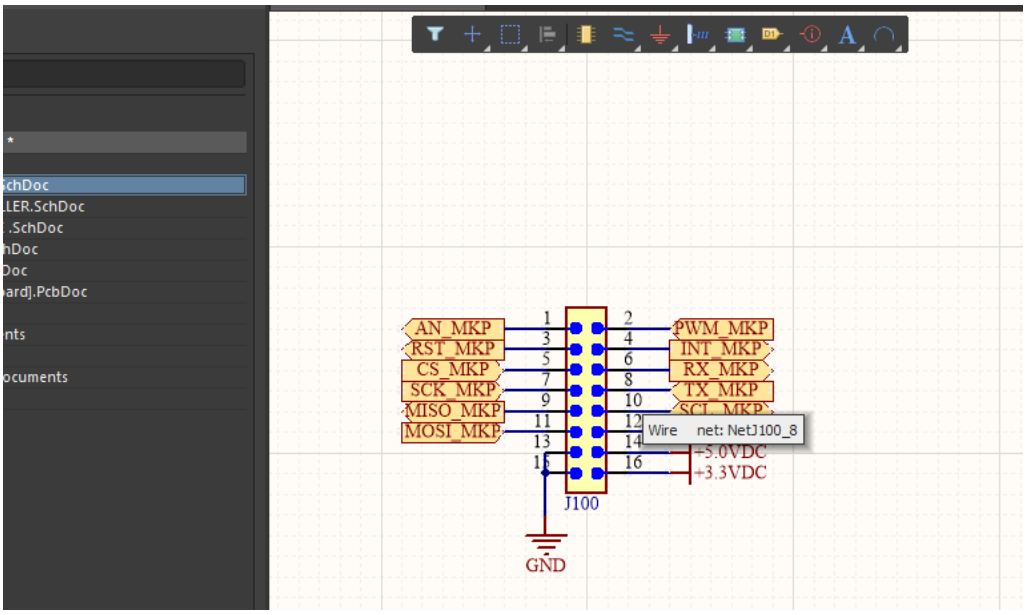


Ilustración 61:POWER.

Ahora realizaremos la segunda sección, donde en este apartado realizaremos el circuito de conexión del microcontrolador R7FA2L1AB3CFL#AA0, tanto con los demás componentes en conjunto con otros conectores

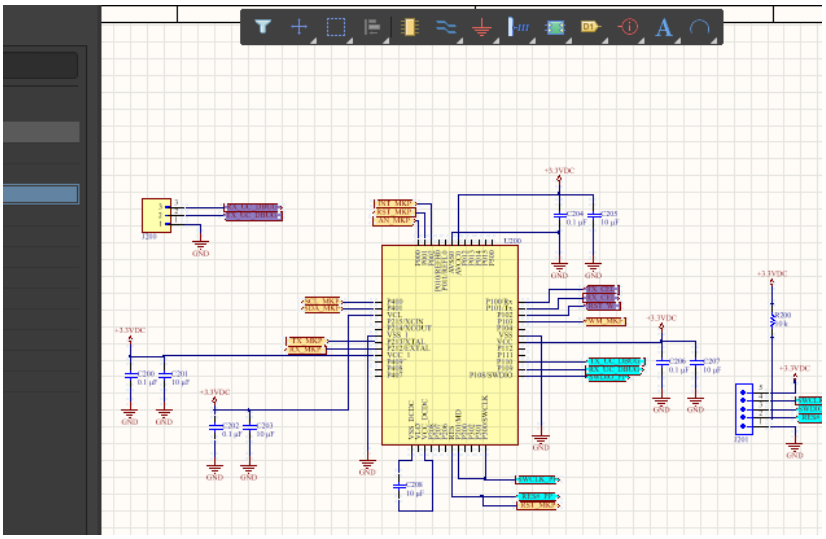


Ilustración 62: MICROCONTROLLER.

A continuación, realizaremos la tercera sección, donde en este apartado realizaremos el circuito de comunicación de la placa con el usuario, indicando con luces led el estado de funcionamiento de la tarjeta.

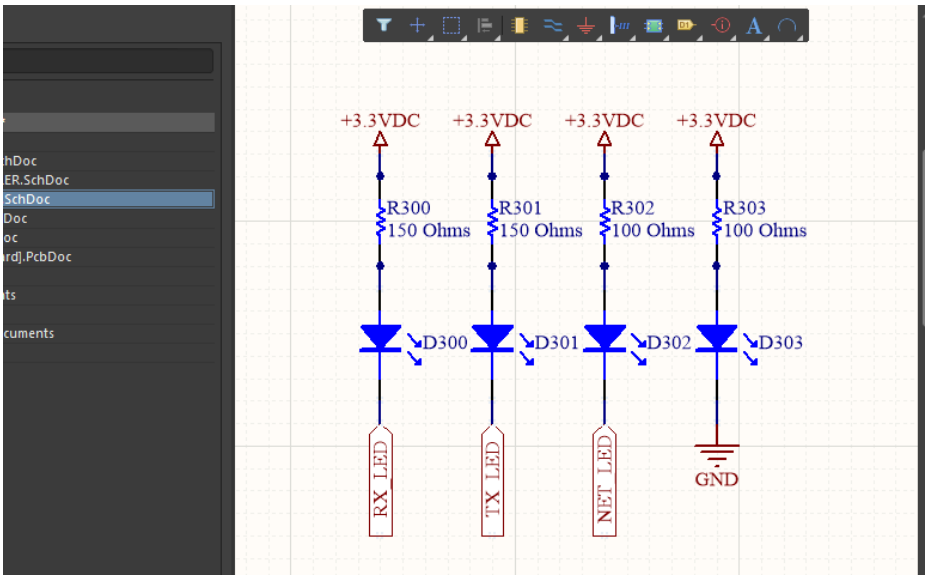


Ilustración 63: INTERFACE.

Luego, realizaremos el siguiente bloque (05 COMMTYPE), donde en esta sección estará el circuito del módulo de comunicación WISUN WS7300 con sus respectivos componentes que lo acompañaran, su comunicación con el microcontrolador y la antena que le ayudara al envío y recepción de datos.

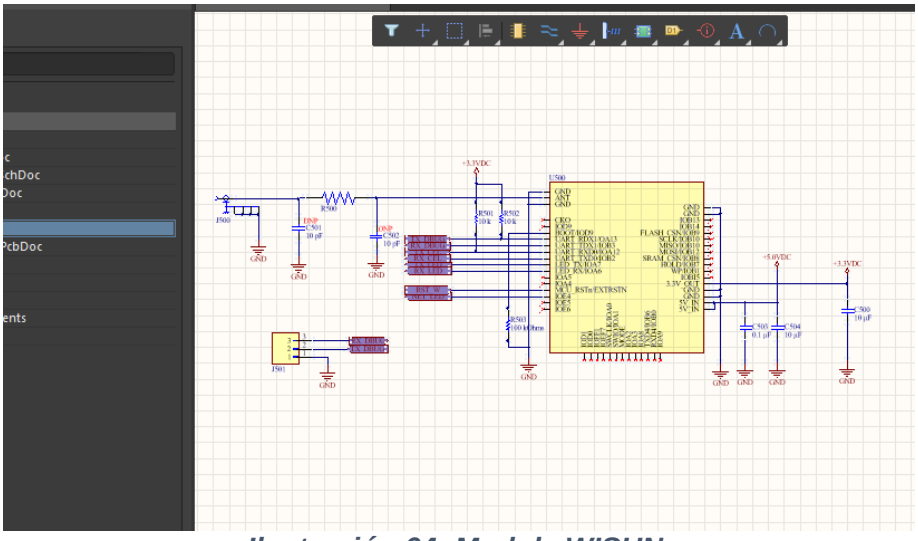


Ilustración 64: Module WISUN.

Nota: aunque los circuitos están siendo separados por bloques diferentes, no quiere decir que no estén conectados entre sí, sino que, si lo están, pero su conexión se hace mediante etiquetas las cuales esta indica en que pines están entrelazados.

Una vez acabado de hacer todo el diseño de los esquemáticos en los distintos bloques establecidos, se procederá a compilar el proyecto, para ver que no tenga no tenga ningún error y no vaya a generar problemas al momento de diseñar nuestra PCB.

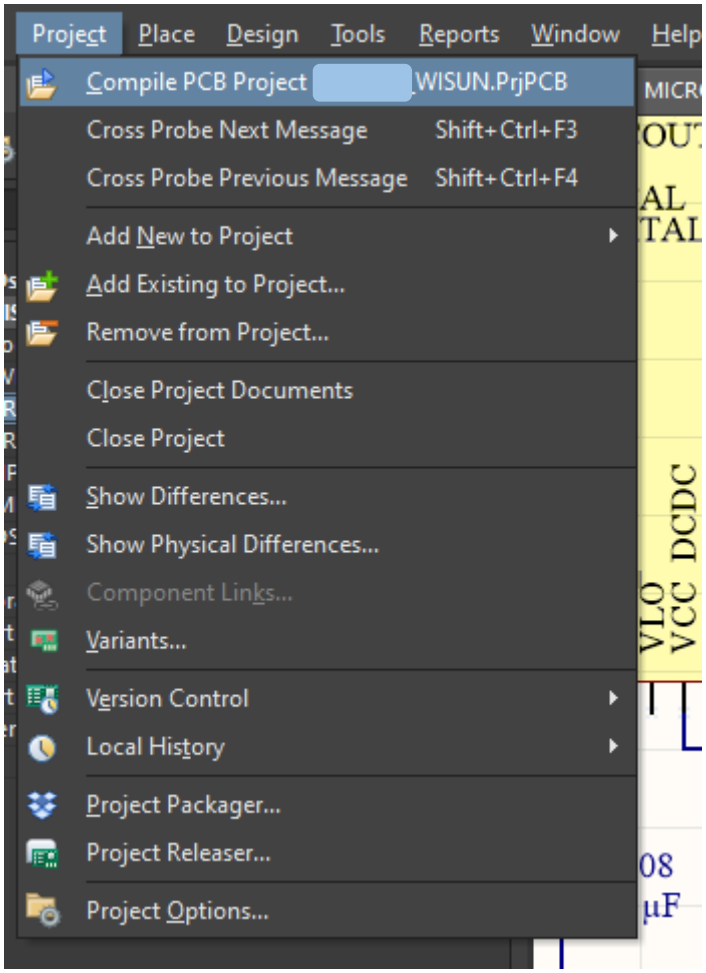


Ilustración 65: Compilación del Proyecto.

Nota: en caso de que tengas error, te aparecerá una ventana con todos los errores que te genere el programa, y solo se podrá iniciar a diseñar cuando todo este correcto y no aparezca ningún error.

Diseño de PCB y ruteo de pistas

A continuación, en este apartado mostraremos como se fue realizando el diseño de la PCB y el ruteo de las pistas que interconectaran cada componente que se ha establecido en los archivos de los esquematicos antes generados. Para ello empezaremos a dirigirnos en la sesión de “Design”, donde nos aparecerá la acción de “Update PCB Document”, donde le tendremos que dar click. El cual vinculara el esquemático con el PCB.

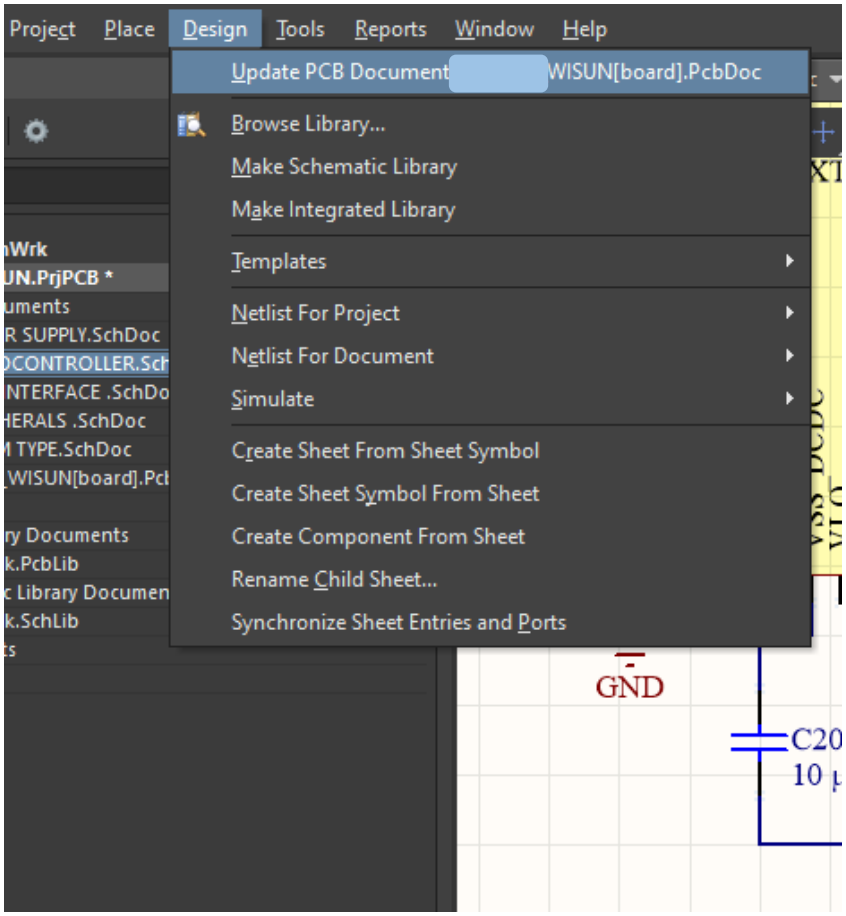


Ilustración 66: Inicialización del diseño de PCB.

Una vez hecho el anterior paso, nos abrirá una ventana nueva donde nosotros tendremos que validar los cambios, y ejecutarlos en el archivo de diseño de PCB, donde estos cambios toman como referencia los esquemáticos, ya que estos son los principales archivos que se toma para el diseño de PCB.

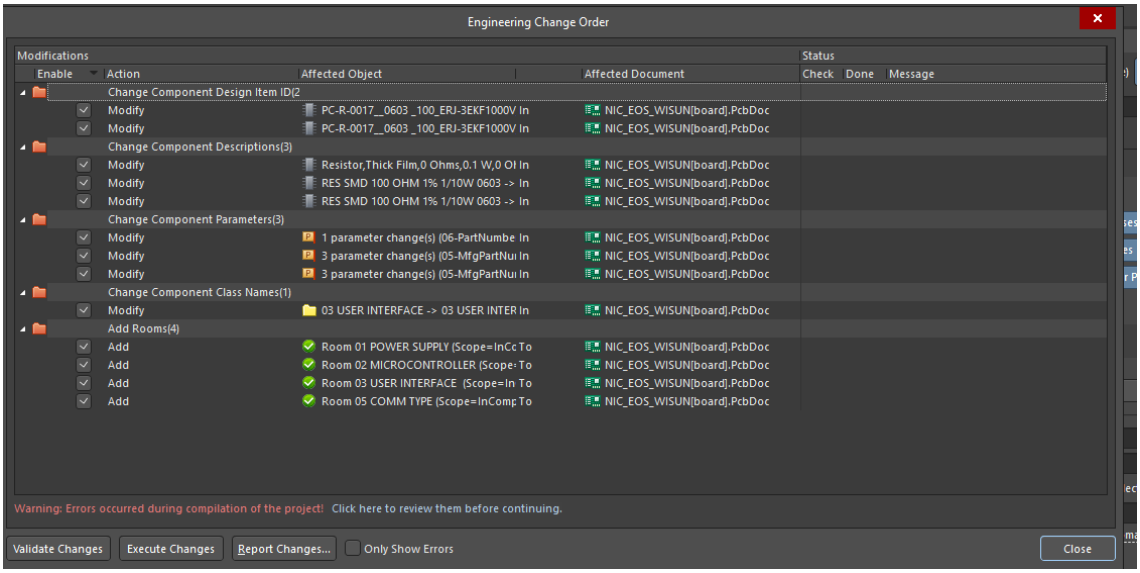


Ilustración 67: Validación y ejecución de cambios.

Ahora, ya validado los cambios y ejecutado estos mismos, el programa hará los cambios necesarios dentro del mismo archivo de diseño de PCB, esto es posible ya que cada símbolo de un componente está vinculado con su respectivo diseño 2D (Footprint) y también su diseño 3D, que en conjunto nos es posible hacer el diseño de nuestra PCB y que sin ello no es posible.

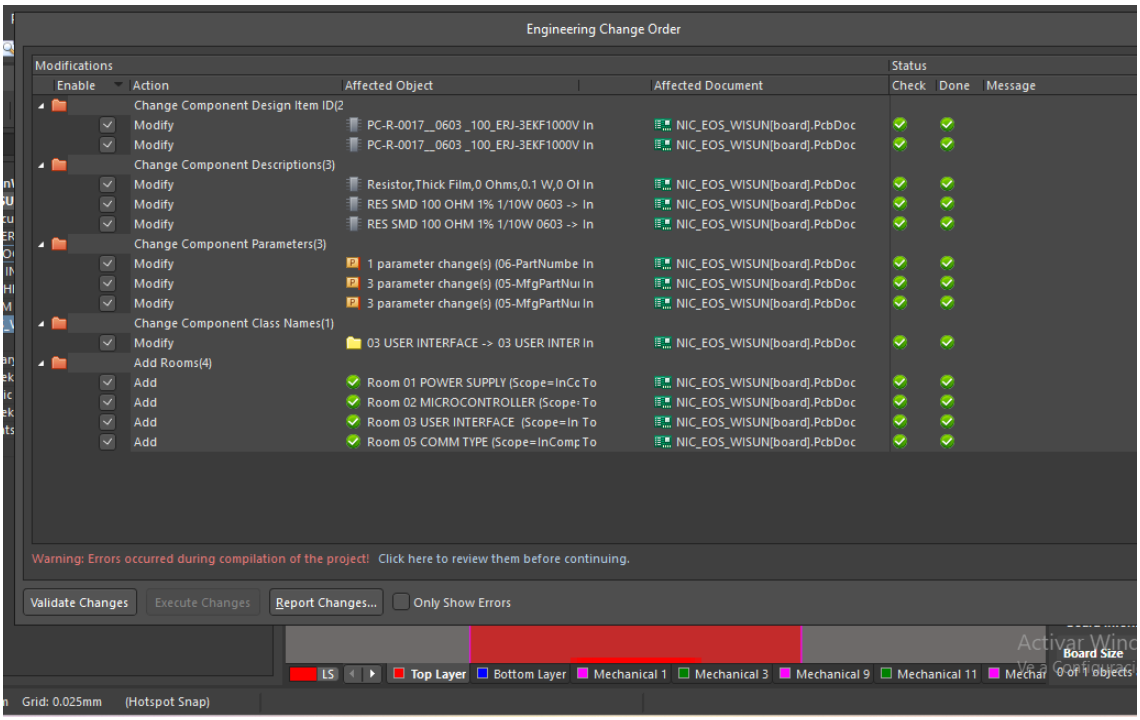


Ilustración 68: Cambios realizados correctamente.

Hecho todo correctamente el software de Altium Designer nos redirigirá de manera automática al entorno donde nosotros desarrollaremos el diseño de nuestra PCB, así como también nos muestra todos los componentes que vamos a ocupar de manera automática, los cual nos facilita ese apartado de agregarlos de manera manual, por ello solo nos queda reorganizar todos y cada uno de ellos, de manera que se puedan conectar y hacer que ya tome forma nuestra PCB.

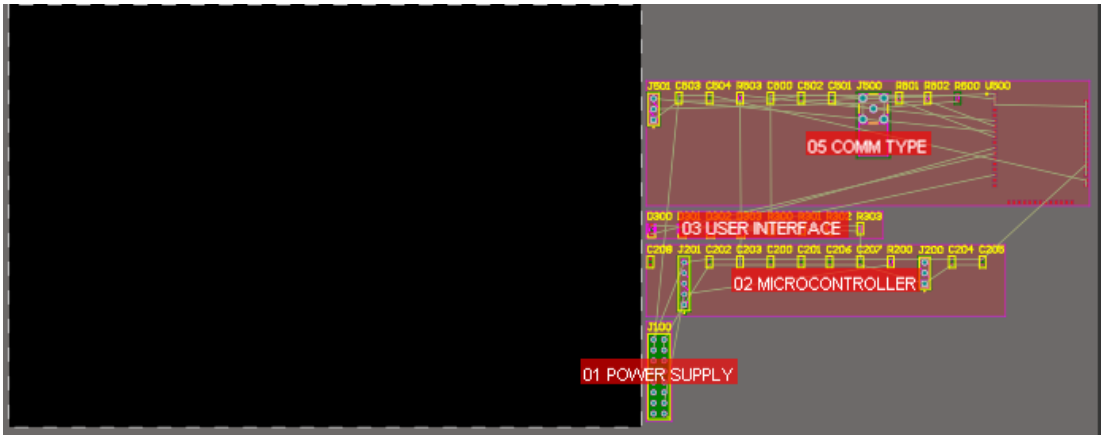


Ilustración 69: Visualización de los componentes

Nota: antes de organizar la ubicación de cada componente y primero tenemos que establecer la medida que llevara la tarjeta donde se ha establecido que sea de 4.5cm x 6.5cm.

Teniendo todo lo anterior listo, empezamos a ordenar nuestros componentes de manera correcta tomando en cuenta las reglas establecidas para un buen ruteo de componentes y evitara los problemas de EMI y mala puesta a tierra. Ya que estos problemas afectan demasiado al correcto funcionamiento de la tarjeta.

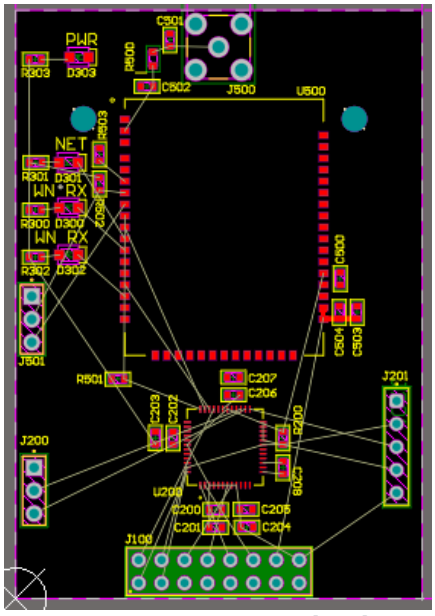


Ilustración 70: Componentes organizados correctamente.

Tomando en cuenta los conocimientos para hacer el ruteo de pistas, vamos a dar información adicional, ya que para el diseño de PCB hay que saber que funciona por capas en las cuales nosotros usaremos 2 (superior e inferior), la primera se llama top layer (superior) que se identifica de color rojo y la segunda se llama Botton Layer (inferior) que se identifica de color rojo, y para interconectarlas tenemos que colocar una vía para que esta dos se unan. Para mayor claridad vea la siguiente ilustración.

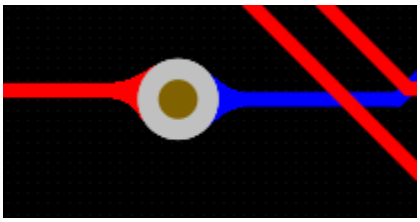


Ilustración 71: Conexión entre capas por medio de vías.

Otro punto que hay que tomar en cuenta es que hay que saber ningún trazado de pista puede terminar en 90° ya esto puede provocar falla de funcionamiento en la PCB, y que todo trazado de pista de manera estricta debe tener una terminación de 45°, esto para ayudar a reducir las fallas de la placa que pueden ser ocasionados por choque entre señales.

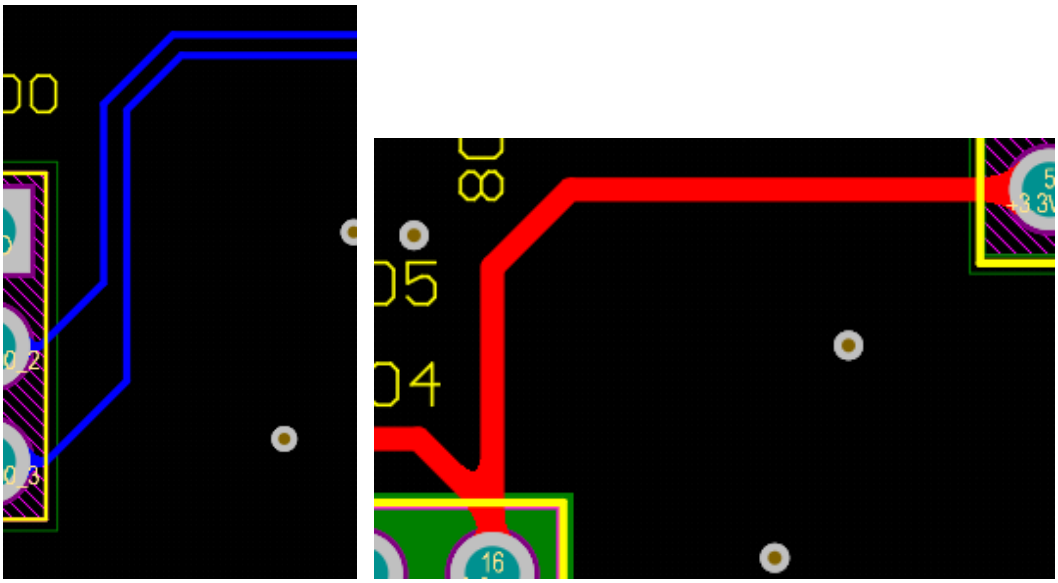


Ilustración 72: Trazado de 45°

Nota: en el trazado de la pista, habrá conexiones entre diferentes capas y para poder conectarlas, hay que conectar vías entre las 2 capas de trazado para que estén conectado de manera correcta.

Una vez hecho el trazado de las pistas en todos y cada uno de los componentes, tomando en cuenta la información proporcionada anteriormente, podemos decir que casi estamos terminando. Pero además del trazado de pistas tenemos que agregar varias vías alrededor de

la PCB para la última conexión de planos a tierra que se realizara posteriormente. Así estas mismas vías dispersas podrán funcionar como distribuir por completo la temperatura generada

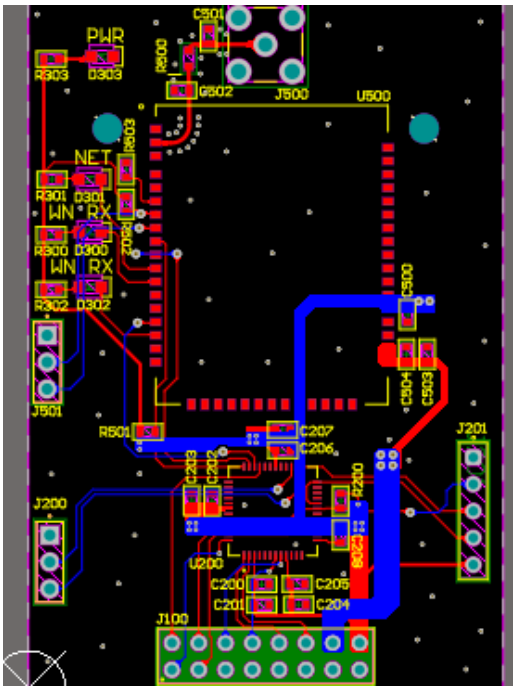


Ilustración 73: Ruteo de pistas y colocación de vías a GND.

Teniendo ya todos los trazos y las conexiones para cada componente, además de las vías necesarias para el plano a tierra, procederemos a realizar un plano que abarque toda la tarjeta en la capa superior, en la cual esta conectara todas las GND's para luego unirlas.

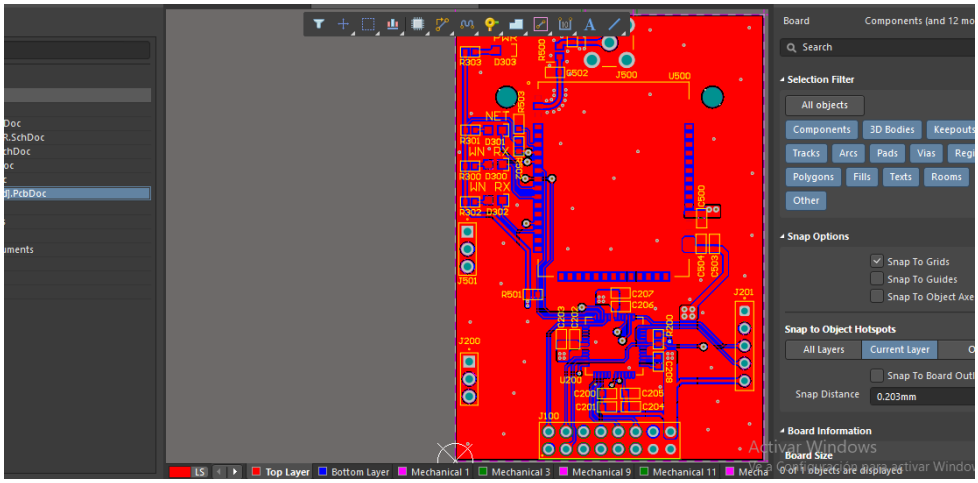


Ilustración 74: Plano a GND en la capa superior.

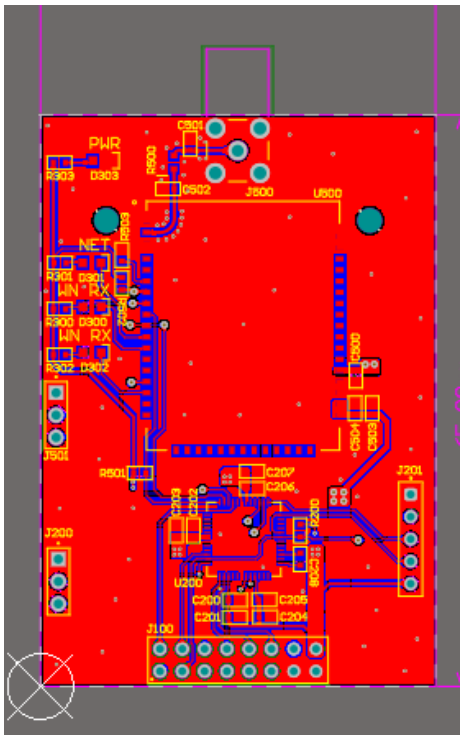


Ilustración 75: Plano a GND en la capa superior.

Así también se tendrá que crear un plano a GND para la capa inferior de la PCB donde tanto la capa superior como la capa inferior estarán conectadas por medio de las vías puestas alrededor de la PCB. El cual todas estas vías ayudaran a distribuir una buena conexión a GND.

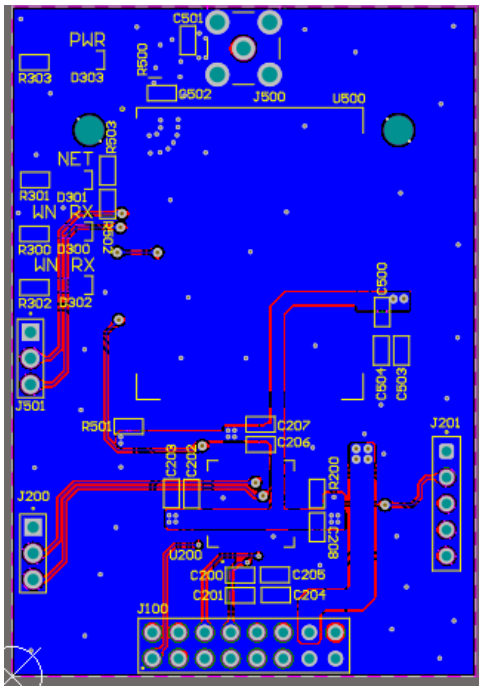


Ilustración 76: Plano a GND en la capa inferior.

Nota: esto también puede ayudar para disipar el calor generado, ya que esta puede distribuir el calor a toda la placa y que este no se genere en un solo punto de calor alta.

Además, cabe decir que, al momento de realizar el trazado de pistas, es necesario modificar ciertas reglas, las cuales son necesarias para cambiar el grosor de las pistas y la colocación de los componentes. Ya que este nos limitara mucho sino hacemos estas modificaciones.

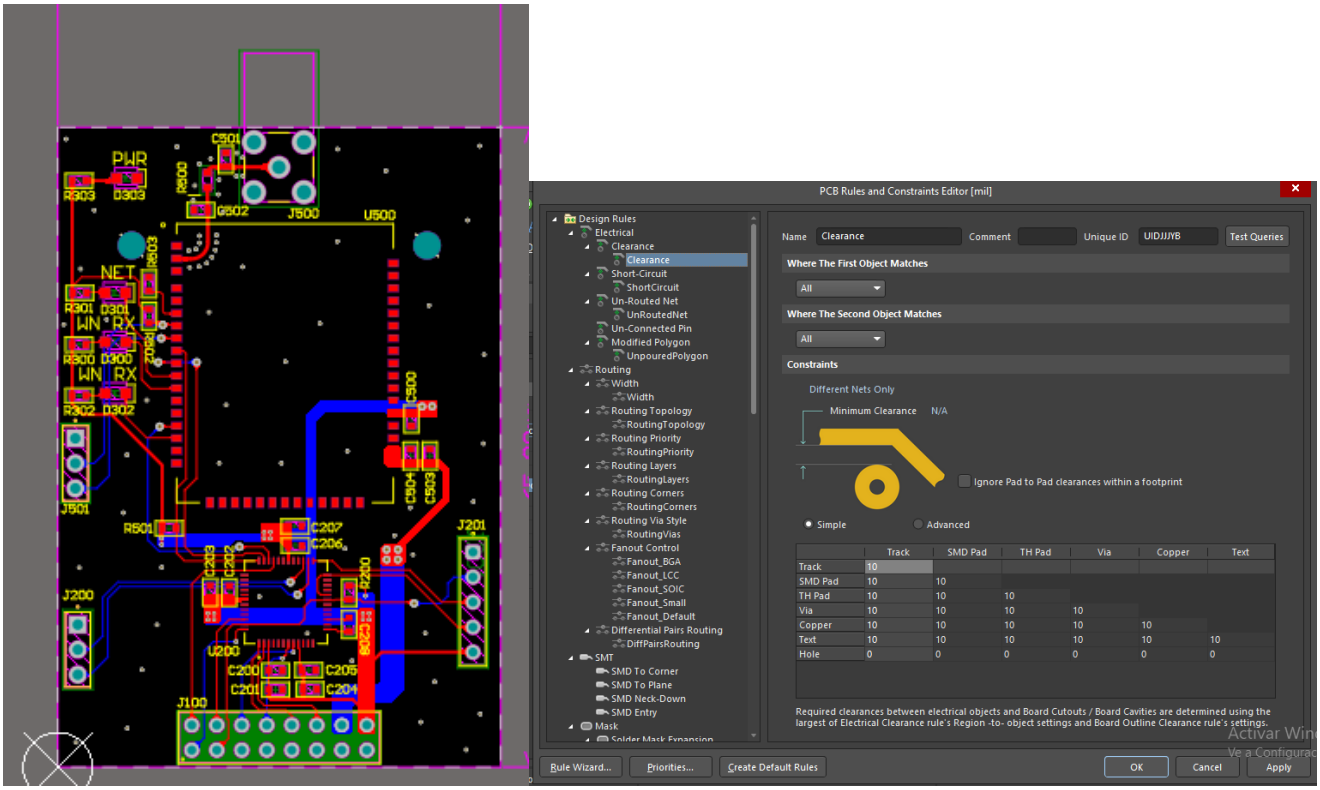


Ilustración 77: Reglas del diseño de PCB.

Y para terminar se tendrá que hacer una pequeña verificación de errores para haber si nuestro diseño no está violando las reglas establecidas por el software. Y así darnos una idea de que no habrá problemas.

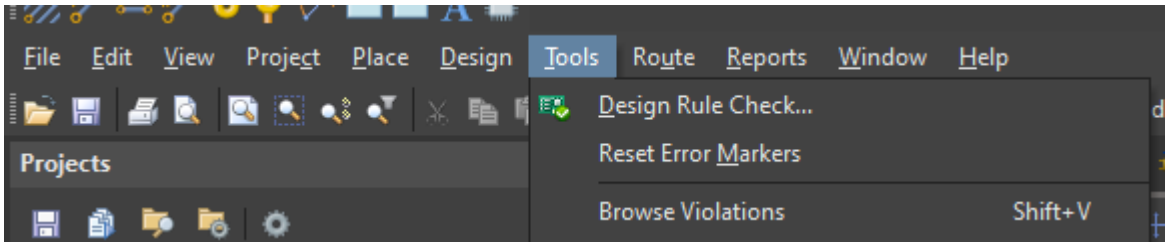


Ilustración 78: Chequeo de las reglas de diseño.

Resultados de diseño en 3D

Posteriormente, acabando el proceso de diseño y verificando que no haya violaciones de las reglas. Ahora procederemos a mostrar el diseño final de como quedara nuestra PCB.

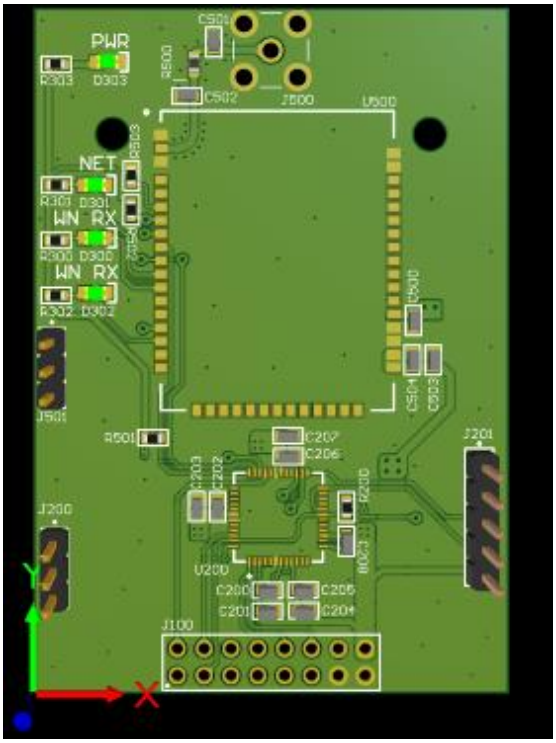


Ilustración 79: Visualización 3D de la PCB

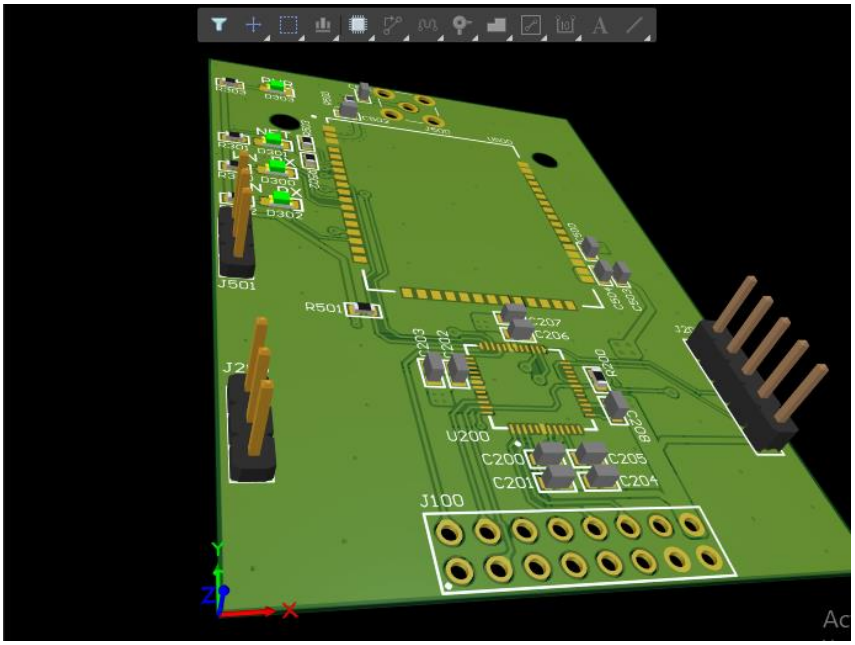


Ilustración 80: Visualización 3D de la PCB otro Angulo.

Generación de los archivos gerber y NCDrills

Una vez concluido el diseño de la PCB y tras haber realizado todas las verificaciones eléctricas (ERC) y de reglas de diseño (DRC), se procedió a la siguiente etapa de documentación para manufactura: la generación de los archivos Gerber y NC Drill. Estos archivos constan el estándar internacional para la fabricación de placas de circuito impreso y permiten que cualquier empresa especializada pueda producir la tarjeta sin equivocaciones ni interpretaciones adicionales que puedan llevar a defectos al momento de realizar la fabricación.

La generación de los archivos de producción se realizó utilizando la herramienta por defecto de Altium Designer, dando seguridad de que cada capa, máscara, serigrafía y perforación estuviera correctamente configurada y reflejara con una máxima precisión al diseño final.

Para realizar estos archivos importantes para su fabricación, nos redijéremos a la parte de FILE, y posterior a la opción de Fabrication Outputs, en la cual nos aparecerá las opciones de Gerber Files y NC Drills.

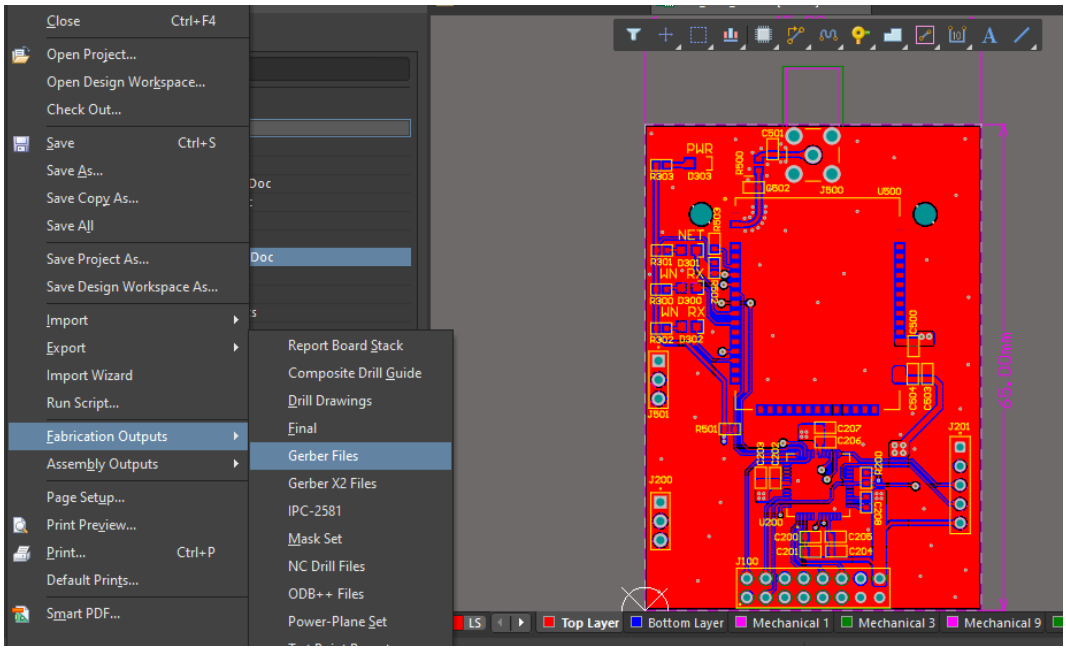


Ilustración 81: Gerber Files

Una vez escogido la opción de Gerber files, el software nos abrirá una ventana de configuración, en la cual nosotros tendremos que seleccionar las opciones correctas dependiendo de cómo se desee hacer la PCB en físico. A continuación, se mostrará las opciones correctas de como generar los archivos Gerber.

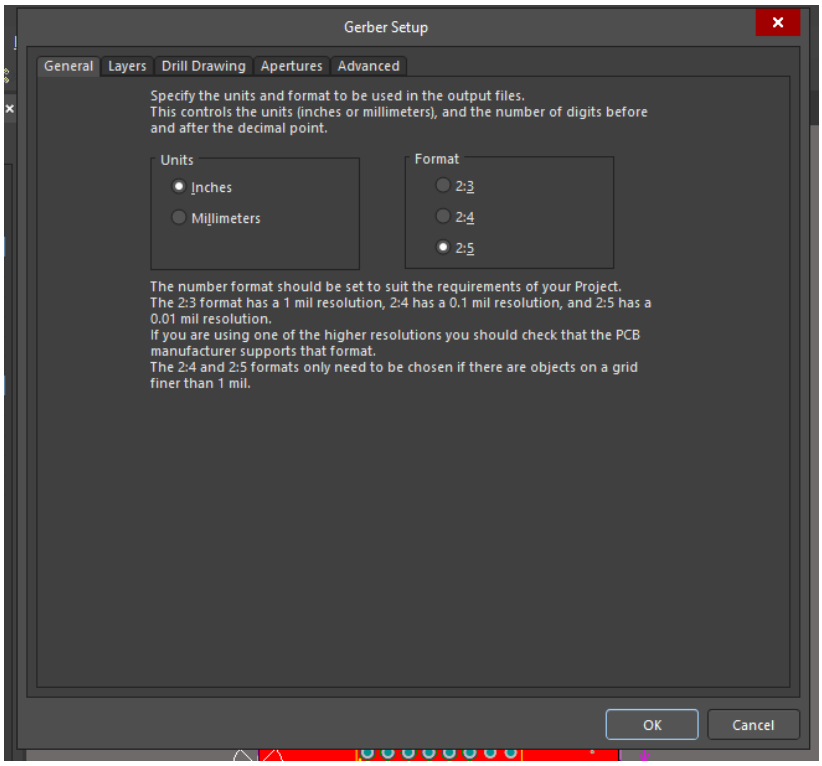


Ilustración 82: Configuración "General"

Ahora en la siguiente opción tendremos que seleccionar las capas que nosotros vamos a utilizar o que son necesarias para el fabricado de la PCB.

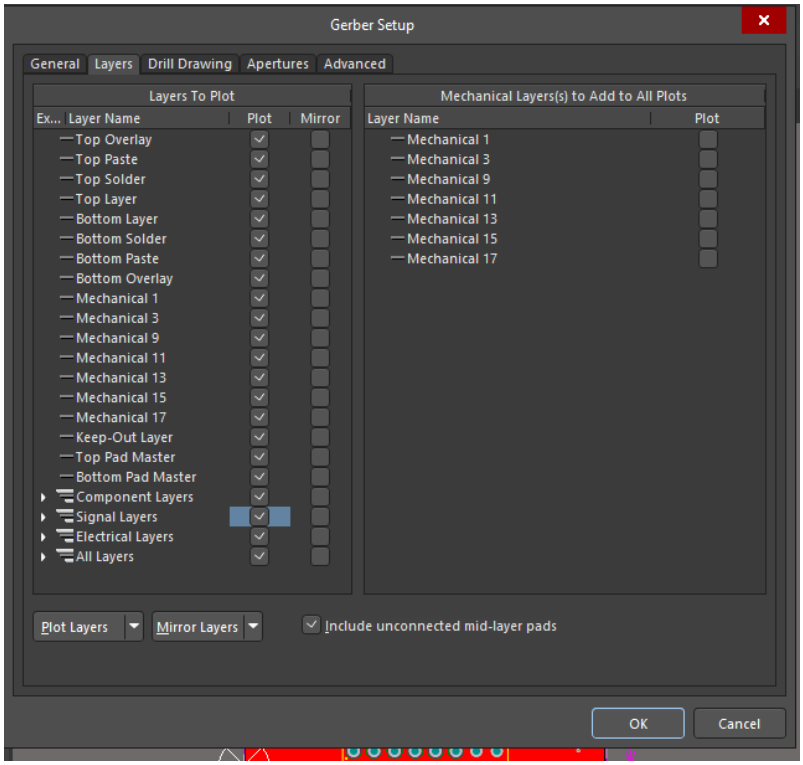


Ilustración 83: Configuración de "Capas"

A continuación, se redirigirá en el apartado de Drill Drawing, donde realmente todo tiene que estar des enmarcado. Mayor claridad vea la siguiente imagen.

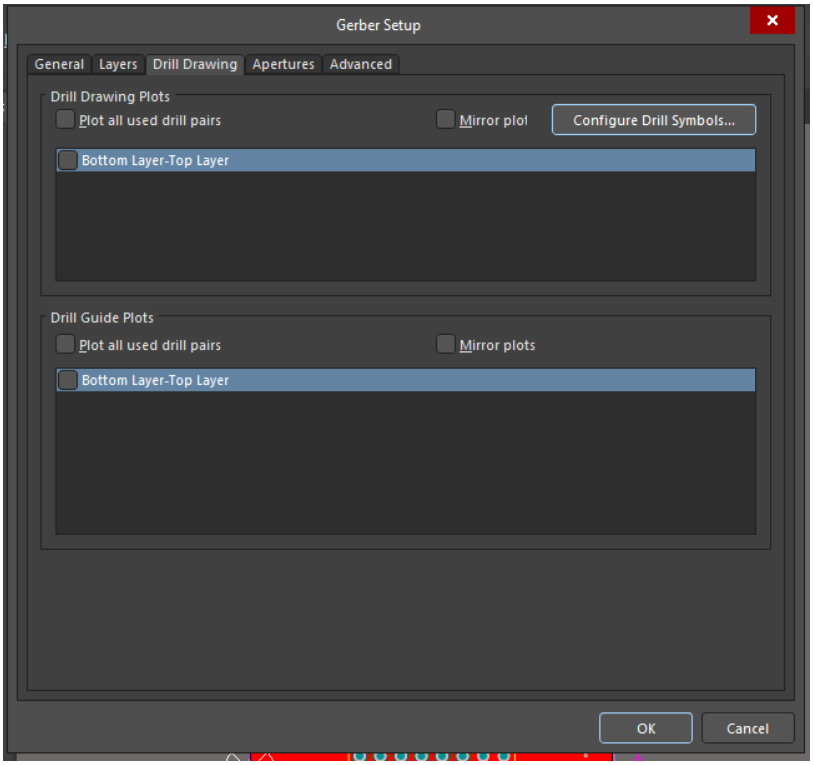


Ilustración 84: Configuración de "Dibujo de perforación".

Posteriormente, en la pestaña de aperturas se tendrá que dar clic en la primera opción del lado superior izquierdo. Como puede ver en la siguiente imagen.

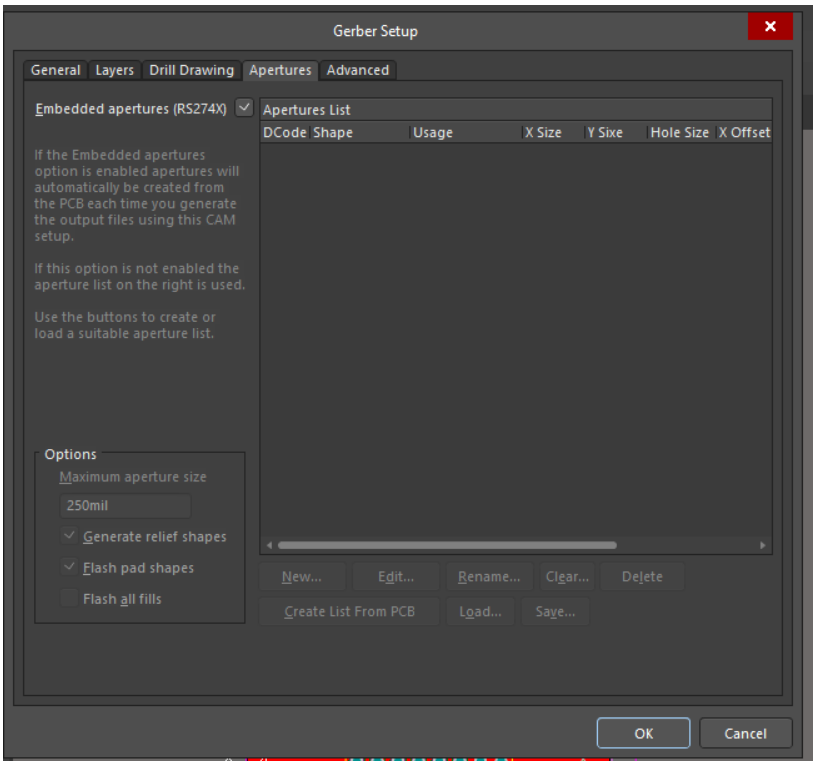


Ilustración 85: Ajuste de "Aperturas".

Y, para terminar, en apartado de avanzados, tendremos que dar de alta las siguientes opciones que se muestran en la siguiente ilustración, sin cambiar nada más.

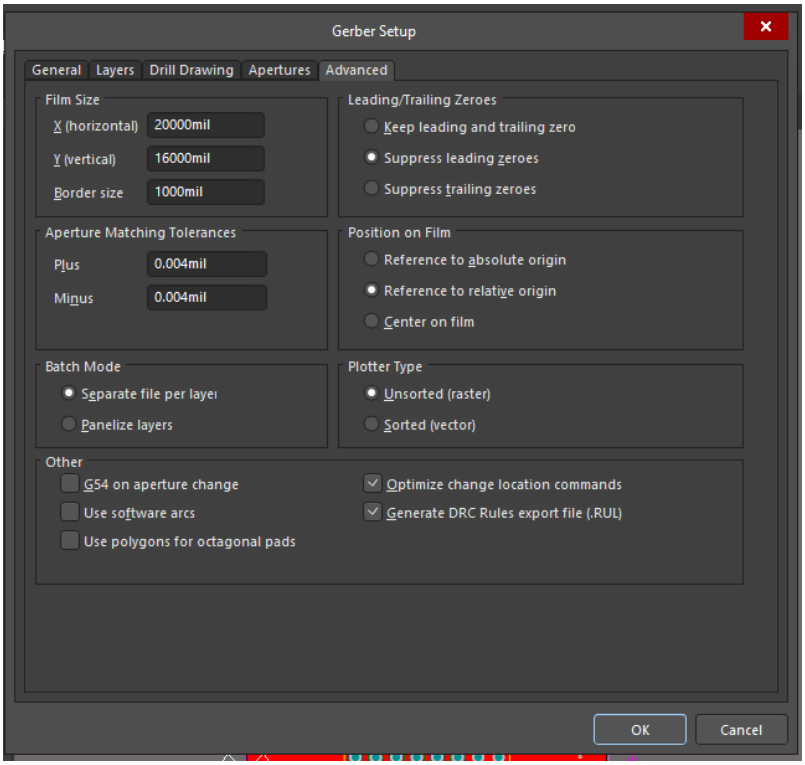


Ilustración 86: Configuración de "Avanzados."

Visualización final para fabricación

Una vez realizado lo anterior, en automático nos aparecerá un archivo tipo CAMtastic1.cam, el cual este archivo nos muestra la visualización final de como se ve nuestra PCB al momento de mandar a realizarla en físico.

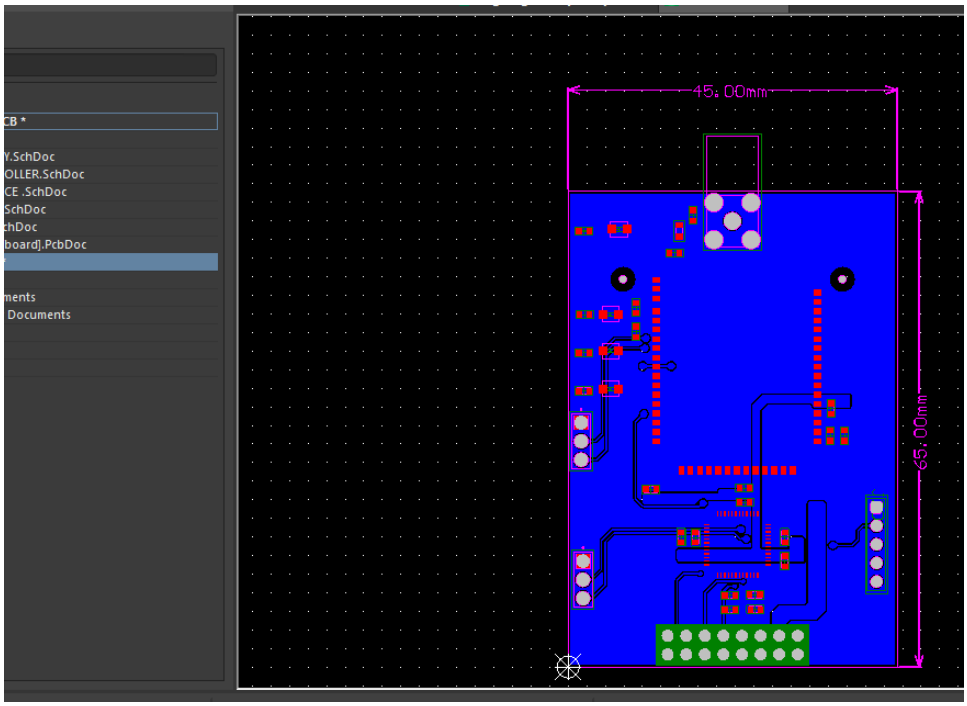


Ilustración 87: Archivo. cam.

Nota: el archivo Gerber generado anteriormente solo muestra el cómo estará el trazado de pistas y la ubicación precisa de los componentes y sus pads, pero no muestra las perforaciones necesarias que se necesitas para colocar los conectores correspondientes. Es por ello por lo que se tendrá que generar el NCDrills.

Luego de haber generado los archivos Gerber tendremos que generar también los archivos NCDrills, ya que sin estos la PCB no tendrá las perforaciones correspondientes. Para ello nos dirigiremos de la misma manera en el apartado donde se generaba los Gerber Files.

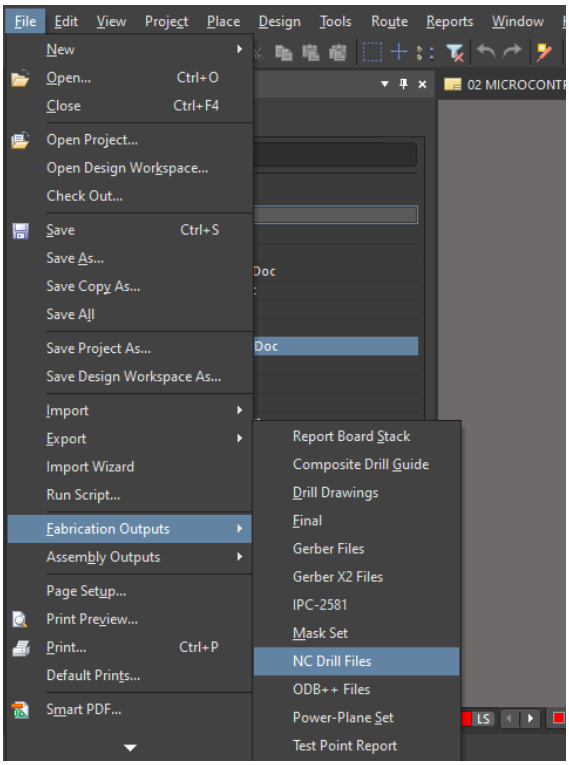


Ilustración 88: NCDrill files.

Dentro de la configuración de NC Drill solo tendremos que asegurarnos que tengamos las siguientes opciones escogidas, como se muestran en la siguiente ilustración.

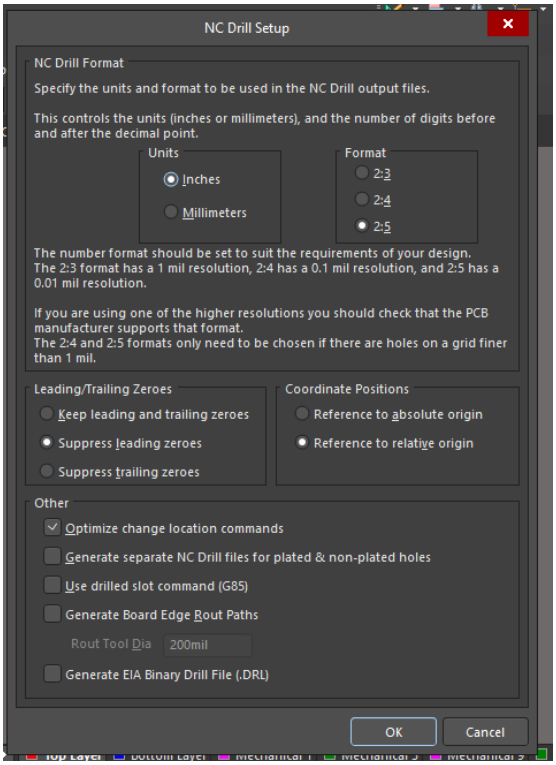


Ilustración 89: configuración NC Drill

Para terminar, tendremos que importar todos los archivos del NCDrill en nuestra PC.

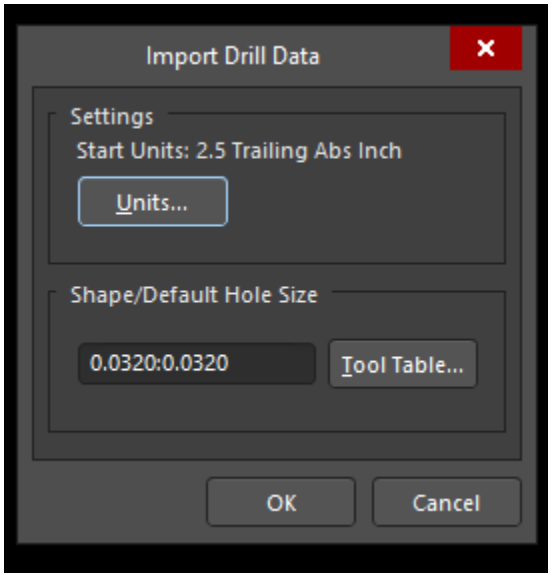


Ilustración 90: Importación de datos de perforación.

Resultado de las perforaciones de la PCB

A continuación, se visualizará otro archivo ".cam", el cual este nos mostrara todas las perforaciones que realzaran en nuestra PCB para la colocación de los conectores o unión de capas. Para mayor claridad vea la siguiente ilustración.

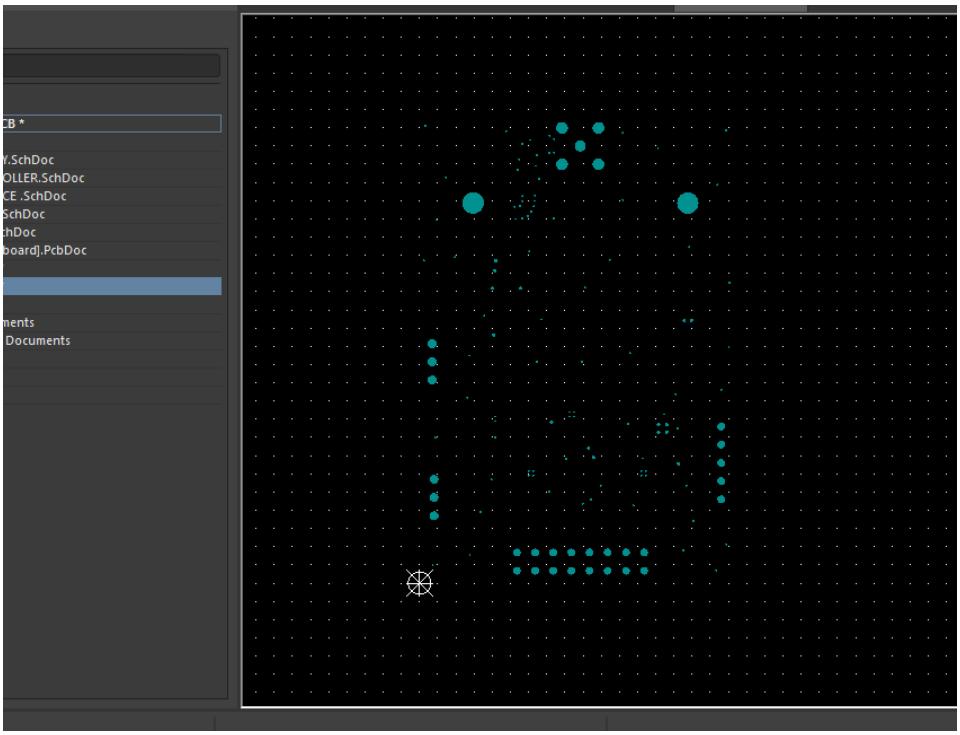


Ilustración 91: Perforaciones de la PCB

Generación del boom

Para terminar todo el diseño de la PCB tendremos que generar el BOOM (Bill of materials), que en otras palabras quiere decir lista de materiales, el cual es muy importantes ya que de esta lista depende de los materiales que vamos a comprar y la cantidad que necesitaremos de los materiales para la realización del montaje de una tarjeta.

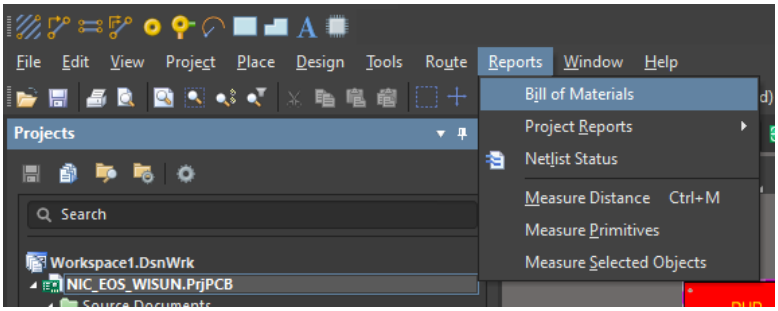


Ilustración 92: Bill of Materials.

A continuación, tenemos que asignar y ordenar toda la información necesaria para generar la lista de materiales, también para que no haya problemas de como identificar cada componente de forma rápida y fácil.

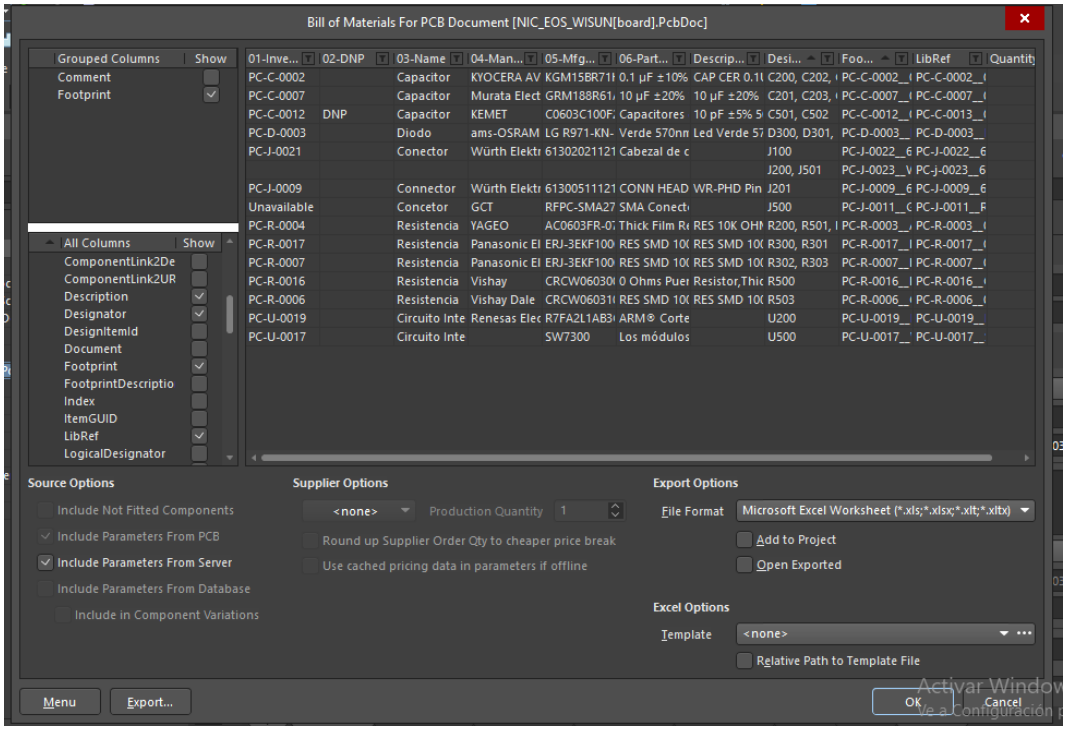


Ilustración 93: Bill of Materials setup.

Nota: toda la información que aparezca en la configuración de la lista de materiales depende de los parámetros antes hechos, ya que ahí está toda la información necesaria.

Ya estableciendo toda la información necesaria, tendremos que exportar nuestra tabla en Excel, en la carpeta llamada Outputs.

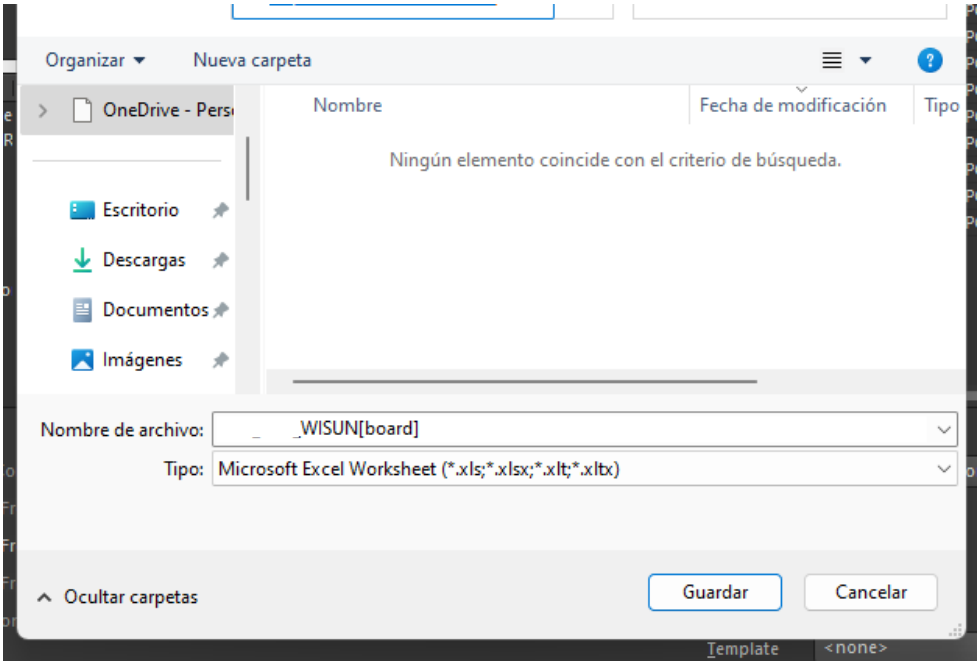
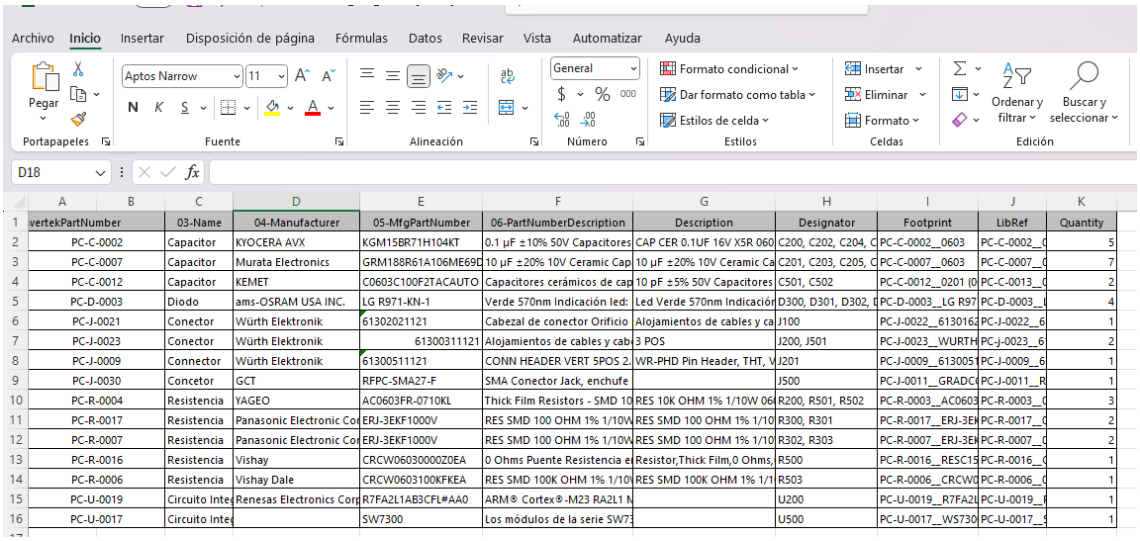


Ilustración 94: Ubicación donde guardar.

Una vez hecho lo anterior abrimos la tabla de Excel donde visualizaremos toda la información necesaria de cada componente tanto su descripción como la cantidad necesaria para su ensamble en físico.



vertekPartNumber	03-Name	04-Manufacturer	05-MfgPartNumber	06-PartNumberDescription	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
PC-C-0002	Capacitor	KYOCERA AVX	KGM15BR71H104KT	0.1 µF ±10% 50V Capacitores	CAP CER 0.1UF 16V X5R 060	C200, C202, C204, C	PC-C-0002__0603	PC-C-0002__0	5
PC-C-0007	Capacitor	Murata Electronics	GRM188R61A106ME69D	10 µF ±20% 10V Ceramic Cap	10 µF ±20% 10V Ceramic Ca	C201, C203, C205, C	PC-C-0007__0603	PC-C-0007__0	7
PC-C-0012	Capacitor	KEMET	C0603C100F2TACAUTO	Capacitores cerámicos de cap	10 pF ±5% 50V Capacitores	C501, C502	PC-C-0012__0201 (0	PC-C-0013__0	2
PC-D-0003	Diodo	ams-OSRAM USA INC.	LG R971-KN-1	Verde 570nm Indicación led:	Led Verde 570nm Indicación	D300, D301, D302, D	PC-D-0003__LG R97	PC-D-0003__L	4
PC-J-0021	Conector	Würth Elektronik	61302021121	Cabezal de conector Orificio	Alojamientos de cables y ca	J100	PC-J-0022__6130162	PC-J-0022__6	1
PC-J-0023	Conector	Würth Elektronik	61300311121	Alojamientos de cables y cab	3 POS	J200, J501	PC-J-0023__WURTH	PC-j-0023__6	2
PC-J-0009	Connector	Würth Elektronik	61300511121	CONN HEADER VERT 5POS 2.	WR-PHD Pin Header, THT, V	J201	PC-J-0009__6130051	PC-J-0009__6	1
PC-J-0030	Concetor	GCT	RFPC-SMA27-F	SMA Conector Jack, enchufe		J500	PC-J-0011__GRADC	PC-J-0011__R	1
PC-R-0004	Resistencia	YAGEO	AC0603FR-0710KL	Thick Film Resistors - SMD 10	RES 10K OHM 1% 1/10W 06	R200, R501, R502	PC-R-0003__AC0603	PC-R-0003__0	3
PC-R-0017	Resistencia	Panasonic Electronic Cor	ERJ-3EKF1000V	RES SMD 100 OHM 1% 1/10W	RES SMD 100 OHM 1% 1/10	R300, R301	PC-R-0017__ERJ-3E	PC-R-0017__0	2
PC-R-0007	Resistencia	Panasonic Electronic Cor	ERJ-3EKF1000V	RES SMD 100 OHM 1% 1/10W	RES SMD 100 OHM 1% 1/10	R302, R303	PC-R-0007__ERJ-3E	PC-R-0007__0	2
PC-R-0016	Resistencia	Vishay	CRCW06030000Z0EA	0 Ohms Puente Resistencia e	Resistor,Thick Film,0 Ohms,	R500	PC-R-0016__RESC15	PC-R-0016__0	1
PC-R-0006	Resistencia	Vishay Dale	CRCW0603100KFKEA	RES SMD 100K OHM 1% 1/10	RES SMD 100K OHM 1% 1/1	R503	PC-R-0006__CRCW0	PC-R-0006__0	1
PC-U-0019	Circuito Inte	Renesas Electronics Cor	R7FA2L1AB3CFL#AA0	ARM® Cortex®-M23 RA2L1 M		U200	PC-U-0019__R7FA2L	PC-U-0019__M	1
PC-U-0017	Circuito Inte		SW7300	Los módulos de la serie SW73		U500	PC-U-0017__WS730	PC-U-0017__S	1

Ilustración 95: Visualización final de los materiales.

Verificar que todos los archivos generados (Gerber files, NCDrills y La lista de materiales) estén dentro de la misma carpeta ya que con estos 3 archivos, se mandara a fabricar la PCB en físico y mandar a comprar los materiales a ocupar.

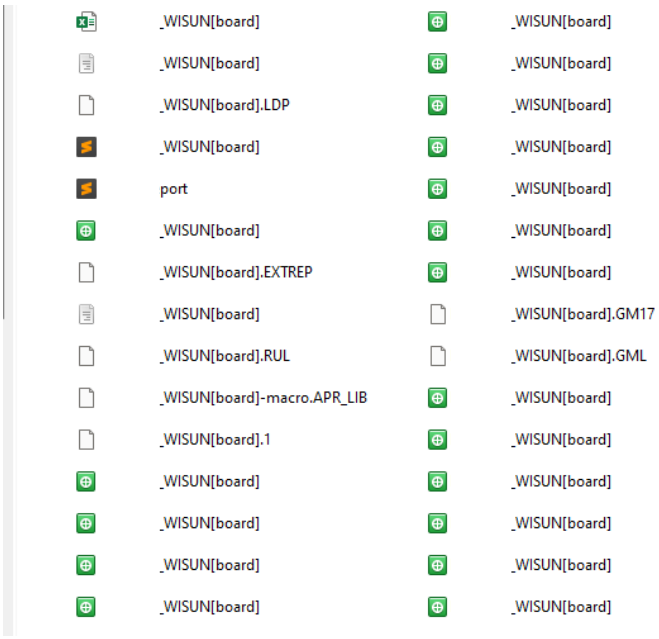


Ilustración 96: verificación de archivos en un solo lugar.

La fabricación de la PCB se mandará a fabricar en la página de PCBWay donde ellos se encargar de realizar la fabricación de PCB mediante los Gerber y NCDrills. Y la compra de los componentes se pedirán en la página de MOUSER, donde lo haremos mediante la lista de materiales para que ser más rápido.

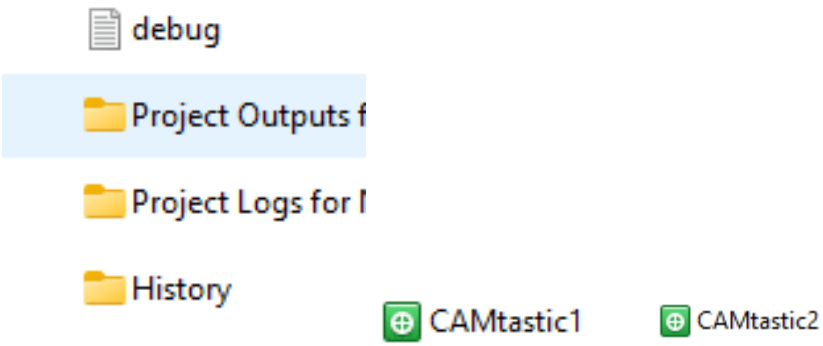


Ilustración 97: verificación de archivos.

Nota: los archivos Gerber y de NCDrill deben ser realizados de manera atenta, en caso de que tenga un error afectara mucho al diseño de la PCB. Y tendrá un costo económico mucho mayor

Resultados del desarrollo de hardware (3D y físico)

A continuación, en el siguiente apartado se mostrará los resultados esperados del todo el proceso que se llevó realizar el diseño y desarrollo de hardware del proyecto de tarjeta de escalamiento WISUN, en el cual se mostraran las siguientes imágenes de la tarjeta de escalamiento WISUN.

En cuanto al diseño del circuito impreso, se logró desarrollar el Diseño de la tarjeta considerando buenas prácticas antes enseñadas, tales como el tamaño adecuado de pistas de alimentación, la implementación de planos de tierra y la separación funcional de las secciones digitales y de radiofrecuencia. Asimismo, se incorporaron consideraciones de impedancia controlada para las líneas RF, asegurando que el diseño sea compatible con la transmisión inalámbrica bajo el protocolo Wi-SUN. Y también ajustar el tamaño de la Tarjeta, al propuesto inicialmente.

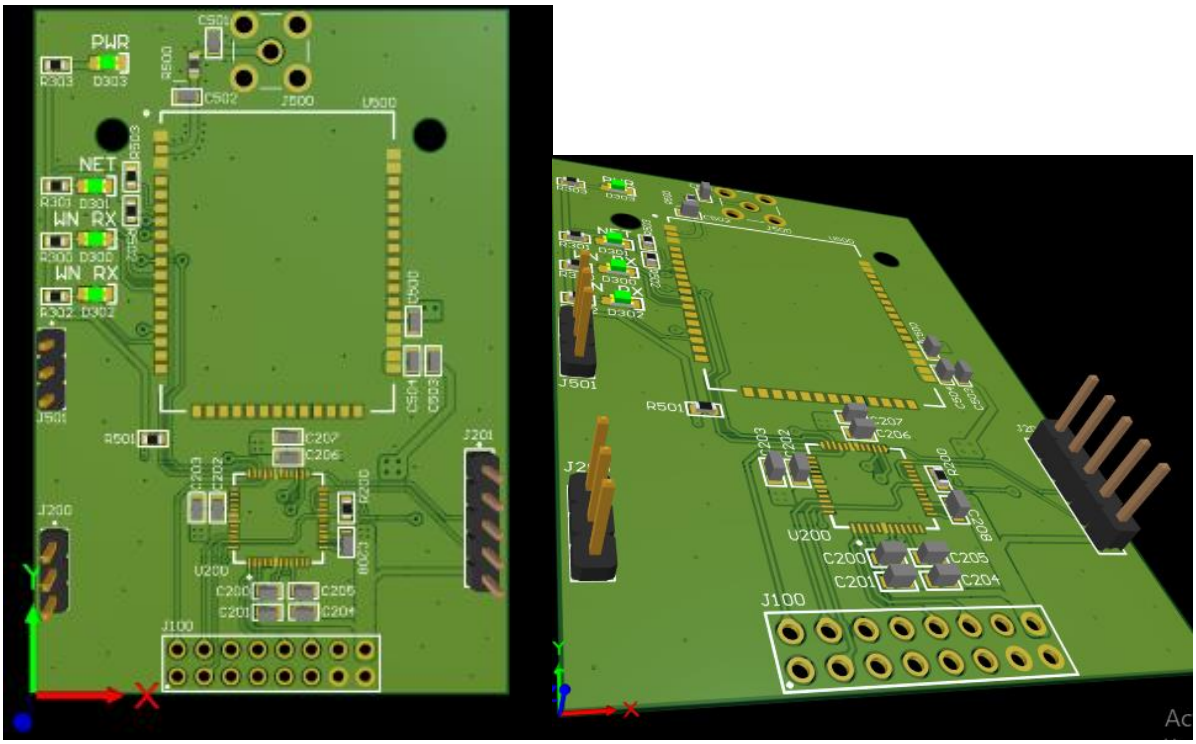


Ilustración 98: Resultados finales (1)

Finalmente, como parte de los resultados del proyecto, se generaron los archivos de manufactura necesarios para la producción de la tarjeta, incluyendo archivos Gerber y NCDrill, los cuales cumplen con los estándares industriales requeridos por fabricantes de PCB. Estos

archivos representan la culminación del proceso de diseño y permiten que la Tarjeta de Escalamiento Wi-SUN pueda ser fabricada.

Una vez hecho todo el proceso de diseño de PCB y generacion de todos los documentos correspondientes para su optima fabricacion, podremos tener nuestra tarjeta de escalamiento WISUN de manera fisica para posteriormente emsamblarla, probarla y validarla, para que finalmente sea utilizada en el entorno inicialmentes especificado por la misma empresa. Para una mejor visualizacion de la PCB fisica vea la siguiente imagen.

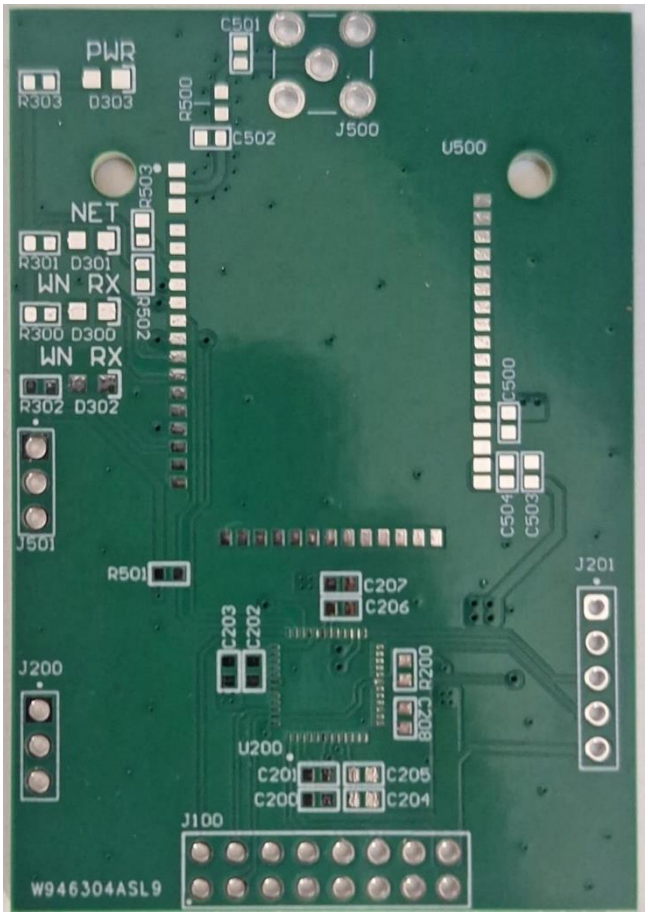


Ilustración 99: Resultados finales (2)

Nota: cabe decir que el desarrollo del proyecto fue complejo pero al final se logro . El cual dio resultados muy favorables para su realizacion ya que se hizo con todos los puntos establecidos desde un principio.

Conclusiones

El desarrollo de la Tarjeta de Escalamiento WI-SUN nos permito fortalecer una solucion electronica orientada a la gestion y transmision de informacion proveniente del gabiente de medidores los cuales son utilizados por la CFE para monitoreo de suministro de energia a los hogares. Durante el proyecto se pudo comprender y aplicar de manera integra los principios de diseño electronico, la comunicación serial y la transmision inalambrica, integrando una arquitectura funcional que actua como enlace confiable entre medidor-trajeta colectora de informacion y los servidores centrales o la nube de la CFE.

Se cumplio eficazmente con el objetivo de diseñar y desarrollar un dispositivo capas de recibir datos estructurados mediante una comunicación UART, procesarlos y transmitirlos de forma inalambrica, empleando de por medio el modulo de comunicación WISUN WS7300. La integracion de este modulo, permite garantizar una comunicación de largo alcance, bajo consumo y con un sistema de cifrado integrado, asegurando la confidencialidad, integridad y confiabilidad de la informacion transmitida. Los cuales son importantes para aplicaciones de infrastructura critica como son los sistemas de medicion avanzada de la CFE.

En el momento que se desarrollo el proyecto, se aplicaron criterios tecnicos muy estrictos en la selección de los componentes electronicos, considerando compatibilidad electrica, eficiencia energetica y disponibilidad comercial. Ademas, la creacion de las librerias correspondientes en Altium Designer, el desarrollo del esquematico y el diseño de PCB con consideraciones de impedancia controlada y dimensiones especificadas y tamaño de Pads y Pistas para un control termico, permitiendo fotalecer las competencias de diseño electronico profesional, asegurando que la tarjeta cumpla con la buena manufactura y operación a la que estara operando.

El proyecto mostro la importancia de una buena planeacion y documentacion tecnica, ya que la generacion de los archivos Gerber y NCDrill representan una etapa muy importante para la fabricacion. Este proceso permitio comprender los estadares o requisitos industriales utilizados en la produccion de las tarjetas electronicas (PCB), asi como la necesidad de validar cada detalle antes de su liberacion para manufactura y evitar futuros errores posibles, tanto tecnicos como economicos.

Por ultimo, la tarjeta desarrollada constituye una solucion escalable y adaptable, capaz de integrarse en sistemas de medicion existentes y futuros. Su implementacion contribuye a mejorar la administracion, monitoreo y analisis de informacion electrica, apoyando los procesos de modernizacion de la red electrica

Competencias desarrolladas

Durante el desarrollo del proyecto de la tarjeta de Escalamiento WISUN se fortalecieron diversas compentencias tecnicas, analiticas y profesionales relacionadas con el area de desarrollo e investigacion. En el ambito tecnico, se fortalecio conocimientos en diseño electronico, particularmente en la selección y evaluacion de componentes para sistemas de comunicación, considerando criterios electricos, funcionales y de compatibilidad con estandares industriales, asimismo, se desarrollo la capacidad de interpretar diagramas y transformarlos en esquematicos funcionales dentro de un software de diseño.

Se obtuvieron y reforzaron competencias en el uso avanzado de Altium Designer, incluyendo la creacion de las librerias de los coponentes que se van a utilizar, la correcta asignacion de encapsulados, el diseño del esquematico electronico y la elaboracion del diseño de PCB bajo buenas practicas. Especificamente, se desarrolla habilidades en las dimensiones de las pistas de alimentacion, el manejo de planos de tierra, la consideracion de impedancia controlada para la lineas de rediofrecuencia y la preparacion de diseños orientados a la manufactura.

En el area de comunicación, se fortalecio la comprencion de protocolos de comunicación, en este caso en particular es la interfaz UART, asi como la comprension de la tecnologia de comunicación inalambrica que tiene el modulo WISUN, basada en la topologia de RED DE MALLA. Esto nos permitio comprender la importancia de una transmision de datos seguro, haciedo el uso de cifrado.

Para terminar, se fortalecio la capacidad de analisis y resolucion de problemas, al identificar restricciones tecnicas y proponer soluciones viables dentro del contexto del proyecto.se fortalecio la la comunicación con el equipo de trabajo y el cumplimiento de lineamientos empresariales y academicos. Todo esto contribuye de manera directa a la formacion integral de uno como residente y nos prepara para adentrarse en el sector industrial y tecnologico.

Referencias

1. Sheldon, R. (2024, 28 febrero). *printed circuit board (PCB)*. WhatIs. https://www.techtarget.com/whatis/definition/printed-circuit-board-PCB
2. Mcl. (2025, 24 junio). PCB Grounding Techniques | A Guide to PCB Grounding. Mcl. https://www.mclpcb.com/blog/guide-to-pcb-grounding-techniques/
3. Wang, M. (2025, 20 enero). GND in Circuits: Understanding Grounding Made Simple. PCBMay. https://www.pcbmay.com/es/tierra-en-circuitos/
4. Travis. (2024, 29 noviembre). EMI de PCB: causas, efectos y estrategias de mitigación. Venture. https://www.venture-mfg.com/es/circuito-impreso-emisor-de-luz/
5. Lee, A. (2025, 7 febrero). Decoupling Capacitors: Functions, Types, and Best Practices - GlobalWellPCBA. GlobalWellPCBA. https://www.globalwellpcba.com/es/condensadores-de-desacoplamiento/
6. Fresu, D. (2024, 23 diciembre). Dominando el control de EMI en el diseño de PCB: Cómo diseñar PCBs para baja EMI. Altium. https://resources.altium.com/es/p/how-to-design-pcbs-for-low-emi
7. Peterson, Z. (2024, 1 julio). Para una comunicación clara, utilice el mejor software de diseño de PCB de RF. Altium. https://resources.altium.com/es/p/rf-pcb-design-software
8. Altium Designer. (2024, 1 julio). Guía de diseño para cambiar el tamaño de las tarjetas en Altium Designer. Altium. https://resources.altium.com/es/p/layout-guide-changing-board-sizes-altium-designer
9. RENESAS. (s. f.). DATASHEET. https://www.renesas.com/en/document/dst/ra2e1-group-datasheet
10. WS7300 SERIES MODULES. (s. f.). Lierda. https://fcc.report/FCC-ID/2AOFDWS7300-P915/5562901.pdf
11. Desconocido. (s. f.). Electromagnetic Interference & Radio-Frequency Interference (EMI & RFI) Suppression on PCB and Package Level. Electro Magnetic Compatibility Lab. https://www.ntuemc.tw/index.php?node=emc&content_id=3
12. Mouser. (s. f.). Mouser Electronics. https://www.mouser.mx/?utm_id=194752696&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_marketing_tactic=amercorp&gad_source=1&gad_campaignid=194752696&gbraid=0AAAADn_wf34o7_d5I92n8xARz0lU3QIU&gclid=CjwKCAiAlrXJBhBAEiwA-5pgwlQvZnL9Mt-upGxtABcn_9pr1M4tx04bmnVcewFIqxFcXklSdvYjFhoCEIUQAvD_BwE