

ELECTROCARDIOGRAFO PORTATIL DE 6 CANALES

JULIAN ESTEBAN GUARAMA PEÑUELA

**Electrocardiografo portatil de 6 canales presentado a la Facultad de Ingeniería y
Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia, para optar al título de
Ingeniería Electrónica**

Profesor: Juan Bernardo Gomez Mendoza

Manizales, Colombia

2023

DEDICATORIA, AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo de tesis a mi amada familia, a mi adorada pareja, a mis leales amigos y a mi asesor de trabajo de grado. Su apoyo incondicional y amor han sido fundamentales en cada paso de mi trayectoria académica. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón y ha sido una fuente inagotable de motivación para alcanzar mis metas. Gracias por ser mi roca y mi inspiración, por creer en mí y por brindarme su aliento en los momentos más desafiantes. Sin su presencia y aliento constante, este logro no habría sido posible. Esta tesis está dedicada a ustedes con todo mi amor y gratitud.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, quienes han sido mi pilar fundamental a lo largo de mi formación académica. A mis padres, quienes me han brindado su amor incondicional, su constante apoyo y han sacrificado tanto para darme la mejor educación. Gracias por ser mi ejemplo de tenacidad y perseverancia.

Agradezco de manera especial a mi amada pareja, quien ha estado a mi lado en las buenas y en las malas, compartiendo mis sueños y celebrando mis triunfos. Gracias por tu amor incondicional, paciencia y comprensión durante las largas noches de estudio y las etapas de estrés. Tu apoyo constante y tus palabras de ánimo han sido mi mayor fortaleza.

No puedo dejar de mencionar a mis queridos amigos, quienes han sido mis compañeros de aventuras y mis cómplices en esta etapa de mi vida. Gracias por su amistad, por alegrar mis días y por brindarme momentos de distracción y diversión que me han permitido encontrar un equilibrio entre el estudio y la vida social.

Asimismo, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor de trabajo de grado, Juan Bernardo Gomez Mendoza, por su orientación experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y consejos han sido invaluable para el desarrollo de este trabajo. Gracias por su guía constante, por desafiarme a ir más allá de mis límites y por ayudarme a convertir mis ideas en realidad.

Por último, agradezco a todos aquellos profesores, compañeros y personas que de una u otra manera han contribuido a mi formación académica y al desarrollo de este proyecto. Pues su influencia ha dejado una marca imborrable en mi desarrollo intelectual y personal.

A cada uno de ustedes, mi familia, pareja, amigos y asesor de trabajo de grado, les dedico este trabajo y les agradezco de todo corazón por su apoyo, amor y comprensión a lo largo de esta travesía académica que ha durado 5 años. Sin su presencia y aliento constante, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
MOTIVACIÓN PERSONAL.....	6
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
DESCRIPCIÓN DETALLADA.....	18
DISEÑOS.....	20
CONCLUSIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	45

RESUMEN

Este trabajo de investigación se ha dedicado a identificar, relacionar y buscar una solución a las diferentes problemáticas que se presentan hoy en día en cuanto a la salud y el monitoreo del corazón, pues conforme pasan los años las personas van entendiendo cada vez más que un chequeo frecuente de este nos previene de una tragedia mayor en el futuro, esto por muchas causas como lo puede ser las enfermedades hereditarias, el sedentarismo, complicaciones por diversos procedimientos médicos y malos hábitos alimenticios. Esto nos lleva a concluir que la detección temprana de estas puede prevenir un problema más grave a futuro, pues se considera que en muchos países del mundo las enfermedades cardíacas son una de las mayores causas de y muertes discapacidad.

Por lo tanto para desarrollar este proyecto se planteó la creación de un dispositivo portátil y de bajo costo que tenga la capacidad de realizar electrocardiogramas con una visualización de 6 canales con una futura actualización que permite leer hasta 12 canales, haciéndolo un dispositivo en igualdad de condiciones con los electrocardiógrafos convencionales que se pueden encontrar en hospitales o los vendidos por grandes marcas, que sin mencionar su elevado costo, su menor cantidad de canales para leer, lo poco portátiles y difíciles de manejar para personas del común. Se podría considerar que estos están un peldaño por debajo de este dispositivo, se llegó a esta conclusiones basándose en todos los estudios de mercado y el estado del arte que se realizó como primer paso para realizar este proyecto.

Finalmente tenemos un proyecto con la tarea de hacer exámenes de electrocardiograma con un fin de chequeo/rutina/monitoreo, que además sea portátil, de bajo costo, con una aplicación muy intuitiva y amigable que haga de este dispositivo útil para una persona que sea profesional en el sector de la salud hasta para una persona natural que simplemente quiera hacerse un chequeo rutinario o por un dolor padecido en un momento al azar.

MOTIVACION PERSONAL

Desde que comencé mi carrera hace ya 5 años siempre estuve buscando una rama que me diera un propósito el cual me apasionara y que acompañado de esta pasión me llevara a hacer aportes a la sociedad, transformando esta o haciéndola mejor, en la búsqueda de ese propósito que fuera capaz de complementar mi carrera encuentre el campo de la ingeniería biomédica y pude ver de primera mano todos los aportes que hacía constantemente al desarrollo de una sociedad con los recursos necesarios para resolver necesidades médicas acompañado de la tecnología más reciente, esto sumado a su gran campo laboral e investigativo fueron unas de las muchas razones que me llevaron a enfocar este proyecto investigativo por este campo.

Por otro lado se puede ver que se hace muy difícil encontrar un dispositivo capaz de hacer un electrocardiograma que cuente con muy buenas capacidades, que a su vez tenga un precio asequible y competitivo en el mercado. Eso sin mencionar que los que vemos mencionados como “Electrocardiografos portatiles”, a pesar de tener buenas capacidades como las de uno profesional que podríamos encontrar en un hospital , quedan en un segundo plano por su tamaño ya que terminan siendo muy grandes para considerarlo algo realmente portátil, un ejemplo de esto y lo que podemos encontrar en el mercado son los siguientes dispositivos:

1:AIESI® Electrocardiografo portatil



Este producto se trata de un monitor de ECG con la particularidad de que es muy ligero y portátil, facilitando su transporte y manejo lo máximo posible. Además, a diferencia de otros tantos modelos que hay en el mercado, este resulta muy fácil de utilizar y de medir. Incluso hasta cuenta con una aplicación de medición individual muy precisa que nos muestra la forma de onda del ECG y la frecuencia cardiaca.

Cuenta con una toma USB en la estructura, además de incluir el propio cable (no tendremos que comprarlo de manera adicional).

✓ Ventajas	✗ Desventajas
<ul style="list-style-type: none">● Compacto: Mide tan poco que no nos costará nada llevarlo.● Práctico: Realmente es muy útil.	<ul style="list-style-type: none">● Las instrucciones que nos da el fabricante son algo escuetas.

2:Denshine Electrocardiografo Digital Portátil



Denshine Electrocardiografo Digital Portátil

[Leer opiniones de usuarios](#)

Ver precio

amazon

Si buscas un electrocardiógrafo más completo, entonces echa un vistazo a esta opción. Además de tener un software específico que registra las mediciones, también tiene conexión de Bluetooth. La gran ventaja de esta tecnología inalámbrica es que nos permitirá transferir todos los datos sin necesidad de tener que utilizar ningún cable físico; tan solo necesitaremos que el bluetooth esté disponible y activo en el dispositivo de transferencia, enviar los datos y ya los tendremos listos.

La aplicación que trae para el PC es muy sencilla de utilizar: los datos los guarda de manera local, por lo que no hará falta tener que conectarse a la red. Se puede acceder a ellos fácilmente, incluso imprimirlos para llevarlos al médico, y que el profesional haga la valoración pertinente.

Su tamaño es de 10 cm x 4,5 cm x 1,5 cm y su peso de 59 gramos.

✓ Ventajas

- **Transferencia de datos:** Los datos se transfieren vía bluetooth.

✗ Desventajas

- Falta información importante en la ficha técnica.

3: Denshine Electrocardiógrafo Digital Portátil



Denshine Electrocardiógrafo Digital Portátil

Leer opiniones de usuarios

Ver precio

amazon

Este monitor funciona de manera muy rápida: es capaz de registrar 30 segundos de una única frecuencia de ECG y latidos del corazón en tiempo real. Puede detectar arritmias, elevación del ST, PVCs, latidos salteados, taquicardias, bradicardias e, incluso, hasta latidos salteados.

Los reportes de este aparato pueden almacenarse en PDF, imprimirlos y compartirlos sin tener que pagar por ello (algo que sí que ocurre con algunos modelos).

Es muy fácil de utilizar: no hará falta que oprimir el botón de la estructura. No hará falta usar cables, o cualquier otro elemento que pueda elevar la dificultad.

✓ Ventajas

- **Peso ligero:** Es un aparato que pesa nada y menos.
- **Fácil de usar:** Solo habrá que pulsar un botón.

✗ Desventajas

- No tiene ninguna pega de importancia.

4: Cardio-B 33261



Este electrocardiógrafo palmar tiene un precio bastante más elevado que el que tienen la gran mayoría de los modelos que encontramos en el mercado, pero en cuanto conozcas sus prestaciones te darás cuenta de que realmente merece la pena, y mucho. Es compacto, portátil y muy fácil de utilizar: nos ofrece la forma de onda cada 30 segundos y es muy fidedigno a la hora de ofrecernos las mediciones.

En la estructura cuenta con una toma USB que nos permitirá la descarga de datos. Lo único que tendremos que hacer es conectar con cable que vaya desde el dispositivo al ordenador, además de instalar el software correspondiente. Así podremos visualizar el ECG y hasta imprimir los datos para llevarlos al centro médico.

Puntos positivos:

Conectividad: Se conecta al PC con USB para transferir los datos.

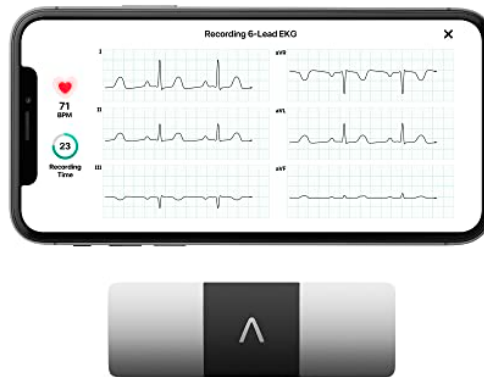
Compacto: Aparato muy compacto y fácil de utilizar.

Preciso: Ofrece las mediciones de manera muy precisa.

Puntos negativos:

Poca información en la ficha técnica.

5: Monitor de ECG Portátil ALIVECOR Kardia Mobile 6L



El electrocardiógrafo portátil personal AliveCor KardiaMobile 6L es el último modelo de la firma estadounidense especializada en dispositivos clínicos e inteligencia artificial.

Este pequeño monitor de ECG digital es especial porque, además de ser el más completo, es el único dispositivo para uso doméstico de 6 derivaciones que tiene aprobación de la FDA.

Mide sin necesidad de cables, geles ni complicaciones, porque únicamente debes colocar tus dedos sobre los 2 sensores de acero inoxidable (además de 1 sensor sobre la pierna) y en sólo 30 segundos tendrás los resultados en la pantalla de tu móvil o tablet.

Es capaz de detectar: AFib (fibrilación auricular), bradicardia, taquicardia y ritmo cardíaco, con mediciones de 30 segundos a 5 minutos.

Con un ECG de 6 derivaciones podrás tener una visión más amplia de tu salud cardíaca e incluso enviar los datos a tu médico, porque es capaz de medir: EKG I, II, III, aVL (potencial absoluto del brazo izquierdo), aVR (potencial absoluto del brazo derecho) y aVF (potencial absoluto de la pierna izquierda).

KardiaMobile 6L es tan pequeño que es ideal para llevar, porque no ocupa apenas espacio y pesa sólo 24 gramos.

Podrás realizar todo un electrocardiograma de 6 derivaciones en cualquier momento y lugar, en tu casa o de vacaciones, fin de semana, en el trabajo, etc. y es muy fácil de usar,

La funcionalidad de este pequeño electrocardiógrafo electrónico se multiplica con su transmisión de los datos por Bluetooth a la App Kardia (compatible con smartphones iOS y Android), donde puedes guardar y compartir tu historial de ECG.

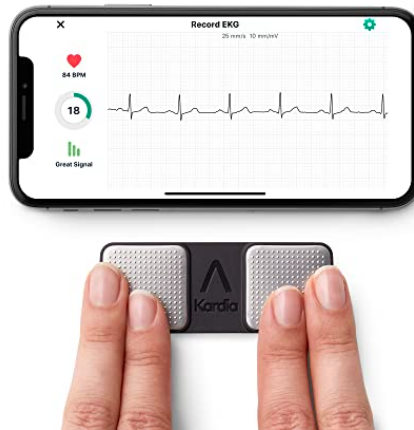
En definitiva, el AliveCor KardiaMobile 6L es un electrocardiógrafo que te permite un ECG limpio en la comodidad de casa y más completo (puede detectar ciertas arritmias) que otros aparatos similares de la competencia. Lo consideramos casi imprescindible en cualquier hogar, ya sea por necesidades de salud o para todo aquel que le guste llevar un estilo de vida saludable y lo quiera comprobar... ¡a un precio muy razonable!

Ventajas e Inconvenientes

- ✓ Validado clínicamente FDA y marcado CE.
- ✓ Marca especializada.
- ✓ El más recomendado por Cardiólogos.
- ✓ EKG de 6 derivaciones.
- ✓ Sin necesidad de cables.
- ✓ Fácil de usar.
- ✓ Transmisión de datos al móvil por Bluetooth.
- ✓ En la App, ECG ilimitados y envío de mediciones por email.
- ✓ 1 Año de autonomía con la pila incluida.
- ✓ Muy pequeño.
- ✓ Muy Ligero.

✗ Ofrece un servicio de revisiones periódicas de tu historial de electrocardiogramas por médicos de la compañía, informe mensual, compartir datos, etc. pero es de pago (servicio KardiaCare).

6: Electrocardiógrafo Portátil Inalámbrico ALIVECOR KardioMobile



El dispositivo digital para realizar ECG AliveCor Kardia Mobile es el más vendido de la marca americana y todo un referente en la gama de este tipo de aparatos personales.

Es un monitor de electrocardiogramas validado clínicamente, con aprobación de la U.S. Food and Drug Administration (FDA, agencia del Gobierno de los Estados Unidos), por lo que su fiabilidad está plenamente garantizada.

Al igual que el modelo anterior, es un dispositivo de medición de la actividad eléctrica del corazón que es muy sencillo de usar, donde sólo necesitas abrir la App propia en tu móvil y colocar los dedos en sus 2 sensores para iniciar un proceso automático, sin hacer nada más.

El electrocardiograma (de nivel médico) aparecerá en pantalla tras medio minuto de espera.

Es un aparato totalmente portátil y fácil de llevar contigo a cualquier lugar, con unas dimensiones muy compactas (con poco más de 8 cm de largo, 3 cm de ancho y sólo 3,5 mm de espesor) y un peso ultraligero (18 gramos).

Se alimenta con una sola pila de botón, pero tiene una larga autonomía (con un uso normal) de 12 meses.

Ventajas e Inconvenientes

✓ Validado clínicamente (FDA).

✓ Muy compacto.

✓ Ultraligero.

✓ Fácil de usar.

✓ Conexión Bluetooth con el móvil.

✓ App gratuita (para Android o iPhone).

✓ Larga autonomía.

✓ Rapidez de las mediciones.

✓ Historial de ECG en la nube.

✓ Envío de mediciones por email.

✓ Inalámbrico (sin cables ni electrodos).

✓ Sensores de acero inoxidable.

El servicio personalizado **KardiaCare** (evaluación de tus

✗ ECG por un médico, informes mensuales, etc.) es de pago.

7: Monitor Portátil de Frecuencia Cardíaca Doméstico EMAY EMG-20:



El monitor digital para ECG de uso doméstico EMAY EMG-20, es un electrocardiógrafo de la firma tecnológica Emay Healthcare especializada en este tipo de monitores y oxímetros con sede en Hong Kong y California (Estados Unidos).

Su uso es muy sencillo porque, a diferencia de los electrocardiógrafos convencionales, no necesita de electrodos ni cables y tan solo debes agarrar con las dos manos tocando los sensores situados en su lateral. Así, comenzará la grabación y podrás ver en pantalla tanto la gráfica como el ritmo cardiaco en tiempo real.

Permite realizar un ECG de nivel médico en la comodidad de casa (o cualquier lugar) en sólo 30 segundos de medición y que se puede sincronizar, para ver el electrocardiograma tanto en su pantalla LCD, como con tu smartphone (iOS o Android) como con un PC (Windows o Mac). Para ello dispone de conexión inalámbrica por Bluetooth y de puerto USB.

Permite obtener resultados precisos y detección de: arritmias (AFib), PVC (5 tipos), taquicardias, bradicardias, elevación del ST, depresión del ST y ritmos perdidos del corazón.

Ventajas e Inconvenientes

- | | |
|--|---|
| ✓ Relación Calidad/Precio. | ✗ Por poner una pega, no incluye funda de transporte. |
| ✓ Validado por la FDA. | |
| ✓ Se puede usar sin necesidad de smartphone. | |
| ✓ Pantalla digital LCD en color. | |
| ✓ Gráficas de ECG y pulso en tiempo real. | |
| Evaluación resumida de anomalías detectadas justo después de la medición y en la misma pantalla del aparato. | |
| ✓ Batería recargable. | |
| ✓ Conexión Bluetooth con móviles o mediante USB al PC. | |
| ✓ Compatible con iOS, Android, PC Windows y Mac. | |
| ✓ Guardado de datos de forma ilimitada y gratuita (sin suscripciones, cargos adicionales ni costes ocultos) | |
| ✓ App gratuita y software incluido. | |
| ✓ Exportación de datos en csv o pdf, generación e impresión de informes, envío de datos por email, etc. | |
| ✓ Compacto y robusto. | |
| ✓ Pesa muy poco. | |

8: Cardiómetro con Bluetooth BEURER ME 90-BT



El aparato de ECG portátil Beurer ME90-BT es la propuesta de la prestigiosa firma alemana en su gama de dispositivos electrónicos para el control de la salud (Beurer Medical). Se trata de un electrocardiógrafo de un canal, con el que es muy fácil y cómodo saber el ritmo cardiaco, el pulso, así como posibles desviaciones en los valores de un ECG normal.

Por eso, es ideal para utilizar en casa o incluso de viaje, porque su tamaño es muy reducido y no ocupa nada en cualquier equipaje, bolso, etc.

Usarlo es muy fácil, con su gran pantalla digital y con 3 maneras de colocarlo: índice derecho-tórax, índice izquierdo-tórax o mano derecha-mano izquierda. En sólo 30 segundos realiza un proceso automático de medición de la actividad eléctrica del corazón (indica una cuenta atrás en pantalla) e instantáneamente te indicará cualquier anomalía detectada.

Para concluir, el cardiómetro con Bluetooth Beurer ME 90-BT es una solución recomendable para toda persona con problemas de corazón, cerebrovasculares, hipertensión, etc. pero también para cualquiera que le guste tener un control de su salud... ¡con la calidad de la mejor tecnología alemana!

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años, ha habido un aumento significativo en las enfermedades cardíacas en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en todo el mundo, y se estima que causan 17,9 millones de muertes cada año.

La mayoría de las enfermedades cardiovasculares son prevenibles, y la detección temprana y el tratamiento oportuno pueden ayudar a prevenir complicaciones graves. Es por eso que es importante que las personas se sometan a chequeos periódicos, especialmente si tienen antecedentes familiares de enfermedades cardíacas o si tienen factores de riesgo como hipertensión arterial, diabetes, obesidad o fumar.

Un electrocardiograma (ECG) es una prueba no invasiva que puede proporcionar información sobre la actividad eléctrica del corazón. Se puede utilizar para detectar una variedad de afecciones cardíacas, como arritmias, bloqueos cardíacos, isquémica y enfermedad cardíaca coronaria.

El aumento de enfermedades cardíacas en las personas es preocupante, especialmente durante la pandemia de COVID-19. Es importante que las personas se sometan a chequeos periódicos y tomen medidas preventivas para reducir el riesgo de enfermedades cardíacas.

Y si a esta problemática se le añade el hecho de que a pesar de que cada día hay más y más dispositivos capaces de hacer electrocardiogramas con más o menos

capacidad de canales, con mejor o peor transmisión y visualización de las señales, la verdad es que la adquisición de estos equipos se hace cada vez más y más difícil, incluso para los hospitales y aún peor para una persona del común. Por lo tanto se hace muy complicado tener el poder adquisitivo para contar con estos equipos, sin contar el hecho de que mientras más pequeños sean estos dispositivos tenderán a ser más caros en el mercado, además del hecho de que para una persona del común que no tiene los conocimientos suficientes a pesar de que tenga el poder adquisitivo esto resulta ineficiente al ser incapaz de realizarse un autoexamen, pues se vería en la obligación de recurrir a un profesional de la salud o más específicamente a un centro hospitalario.

Considerando todo lo anteriormente dicho a eso se le puede sumar los grandes problemas que hay en el sistema de salud actual en cuestión de costos y gestión de citas lo que hace de esto un problema muy grande en la cantidad de opciones que permitan tener chequeos constantes al avance de todas las personas.

En resumen, el aumento de las enfermedades cardíacas es un problema de salud importante en todo el mundo, y la detección temprana y el tratamiento oportuno pueden ayudar a prevenir complicaciones graves.

Ahora pasando al problema o reto que significa llevar esto a cabo y convertirlo en algo real, el primer reto que se puede llegar a encontrar sería el hecho de contar con una señal analógica que se debe convertir a una señal digital la cual debe contar con una frecuencia de muestreo de 500 hz por segundo con una duración de lectura de 1 minuto, dando así un total de 60000 muestras muestras en total para garantizar una alta fiabilidad y precisión en los resultados ofrecidos por el dispositivo

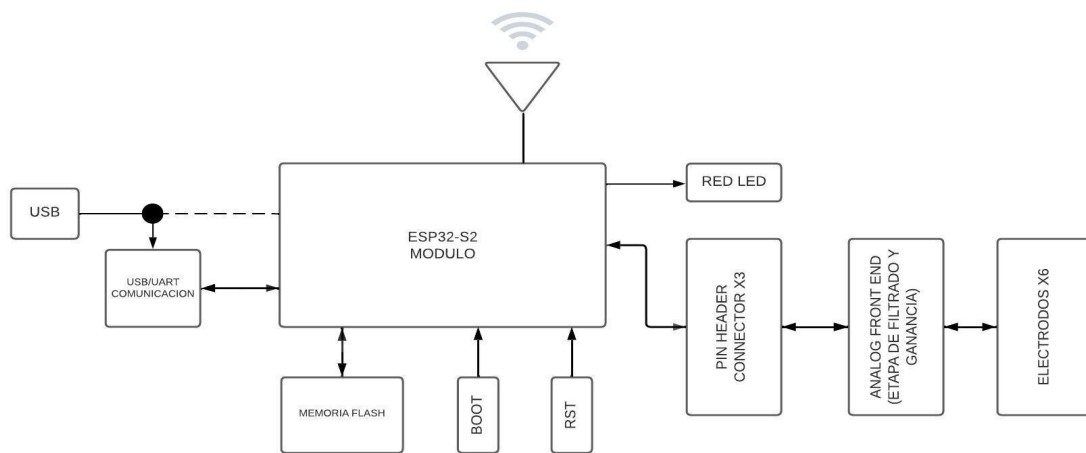
DESCRIPCIÓN DETALLADA

Para realizar este proyecto se parte de la recolección y del análisis de todas las necesidades presentes, como lo es una frecuencia constante que sea capaz de garantizar una X cantidad de muestras en un tiempo Y ya definido, así como el medio de transmisión de estos datos y el posterior análisis que se le hará a la señal luego de capturarla, además de las claras necesidades médicas y comerciales donde el gran objetivo es lograr hacer un dispositivo con altas capacidades médicas semejantes a dispositivos certificados y especializados en este ámbito pero con la gran característica de ser portátiles y de bajo costo.

Ahora basándose en todas las necesidades y problemáticas que presenta el proyecto, junto con todas las ideas que hay para este. Con todo esto se puede armar un diagrama de bloques que puede ayudar a dilucidar y plasmar todo esto para posteriormente después de la selección de componentes, usar esto para empezar a armar un diagrama esquemático que se hace necesario en la elaboración del proyecto y de la tarjeta PCB

Teniendo el siguiente diagrama de bloques que divide el circuito en diferentes etapas:

Diagrama de bloques



DISEÑOS

Para realizar este proyecto partimos con el módulo AFE (ad8232) el cual sirve para acondicionar señales analógicas antes de ser procesadas digitalmente. El módulo AD8232 es un AFE específico diseñado para aplicaciones de monitoreo de la actividad cardíaca.

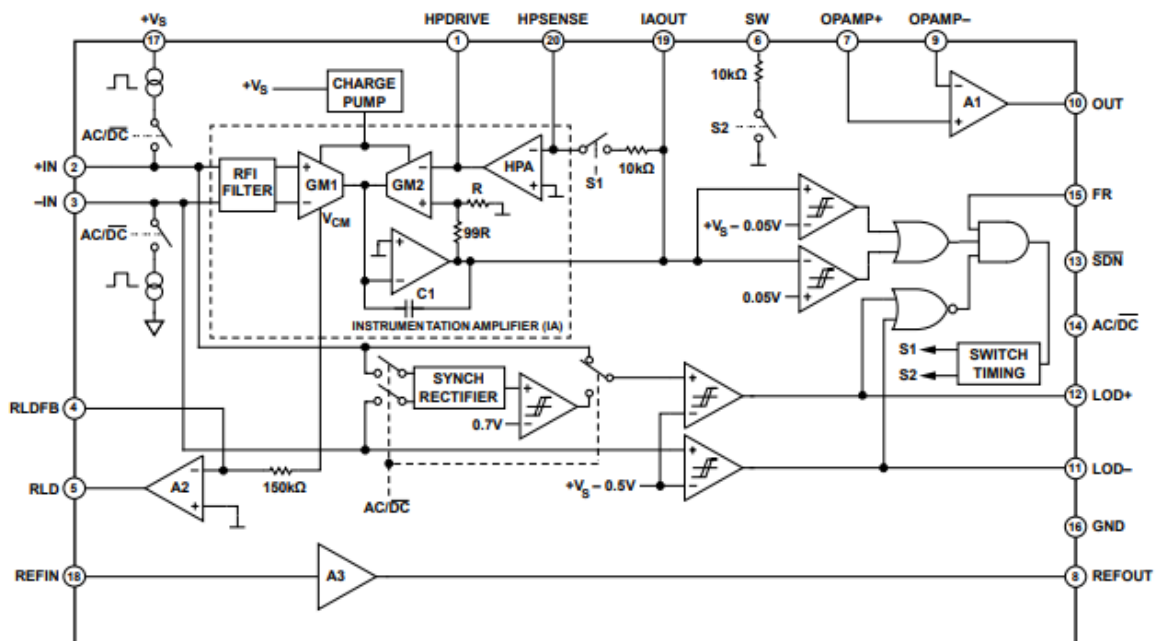
El AD8232 se utiliza comúnmente en dispositivos de monitoreo de la frecuencia cardíaca, como monitores de electrocardiograma (ECG) portátiles o dispositivos de monitoreo remoto de la salud. El módulo está diseñado para detectar y amplificar la señal eléctrica generada por el corazón, y luego filtrar para eliminar el ruido y otras interferencias.

El AD8232 tiene un alto nivel de integración, lo que significa que contiene muchos componentes en un solo paquete. Además de la etapa de amplificación y filtrado, el módulo también tiene circuitos de protección y un convertidor analógico-digital integrado, lo que lo hace fácil de usar en aplicaciones de monitoreo de la actividad cardíaca.

En resumen, el módulo AD8232 es un AFE diseñado específicamente para la detección y acondicionamiento de señales eléctricas del corazón.

Por lo que lo hace útil para este proyecto por sus prestaciones, precio y tamaño, siendo este el AFE más competitivo del mercado, a pesar de que solo tenga una salida y de que la comunicación de este módulo serial

A continuación se podrá ver el una imagen de dicho módulo acompañado de su respectivo diseño esquemático



Y al módulo antes mencionado lo acompaña el microcontrolador ESP32-S2-SOLO-N4R2 el cual se encargará de la recepción y de la transmisión de datos por medio de comunicación wifi con el protocolo UDP o TCP,

el cual cuenta con las siguientes características:

- Frecuencia: 2.412 GHz a 2.484 GHz
- Velocidad de transmisión de datos: 150 Mb/s
- .Tipo de interfaz: GPIO, I2C, I2S, PWM, SPI, UART, USB OTG 1.1
- Voltaje de alimentación - Mín.: 3 V
- Tamaño de memoria: 4MB Flash, 2MB PSRAM, 128kB ROM, 336kB SRAM

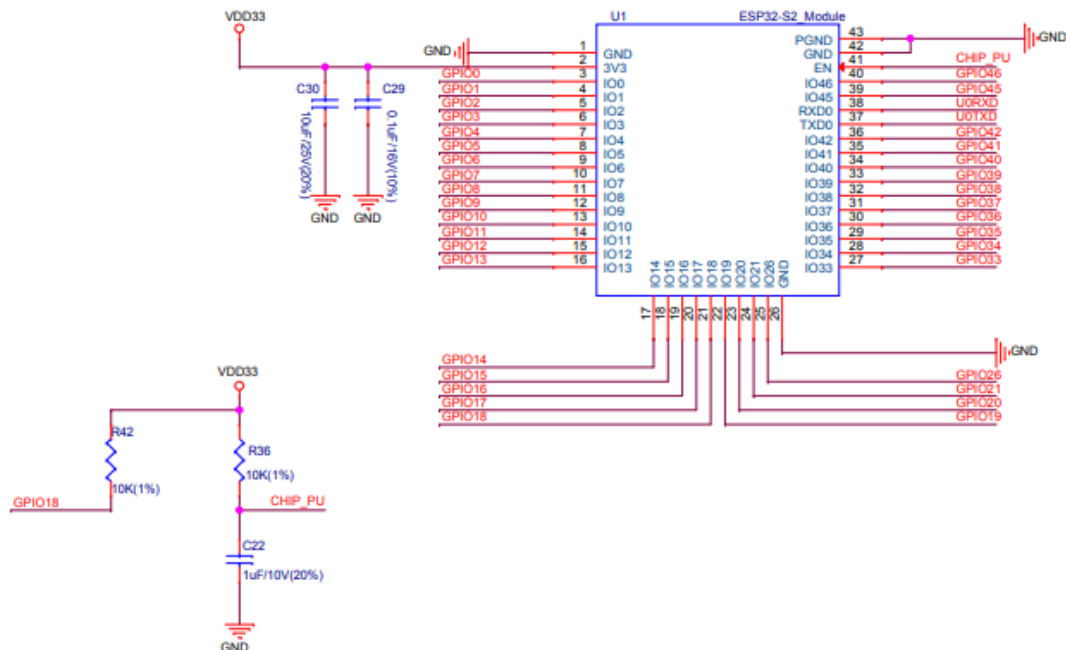
Podemos apreciar mejor este microcontrolador en la siguiente imagen:



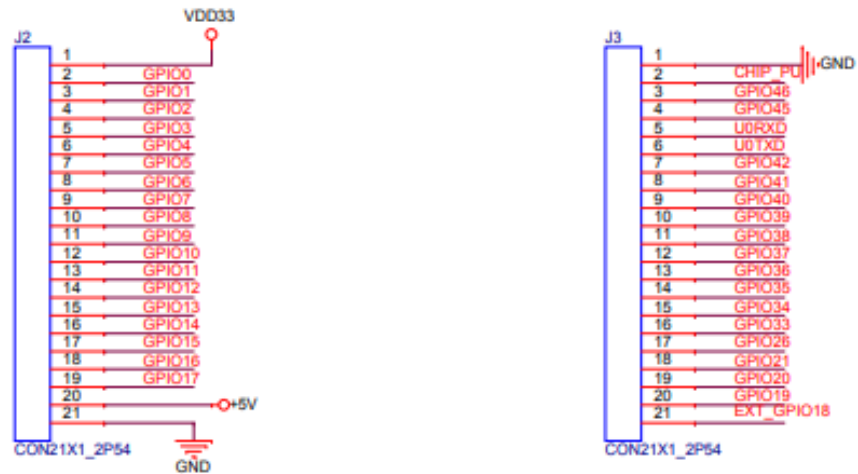
Ahora teniendo en cuenta que ya se seleccionó un microcontrolador que será capaz de cumplir con todos los requerimientos que implica el proyecto como el procesamiento de la señal analógica a digital, los tiempos de frecuencia, el tiempo de muestreo, la transmisión de datos por protocolo wifi procedemos a escoger el resto de componentes.

Para la selección del resto de componentes se usó como base el diagrama esquemático de la página de espressif (creadores del chip anteriormente escogido (ESP32-S2-SOLO-N4R2)), del cual se hicieron modificaciones para que la tarjeta se pudiera adaptar a la necesidades del proyecto. Aparte de esto también se tuvo como referencia la página “Mouser Electronics”, la cual es una distribuidora de componentes electrónicos, allí se buscaron los componentes usado en el diagrama esquemático base y en caso de que no hubiera disponibilidad o de que el componente estuviera discontinuado, este se reemplaza por un componente similar en cuanto a características electrónicas y monetarias que cuente con disponibilidad para envío inmediata en el momento de realizar la compra

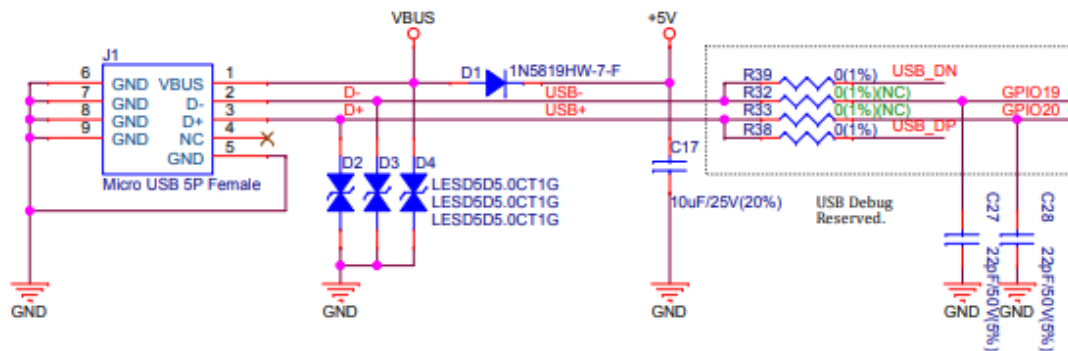
DISEÑO ESQUEMÁTICO ESP32-S2-SAOLA (MICROCONTROLADOR Y PINES)



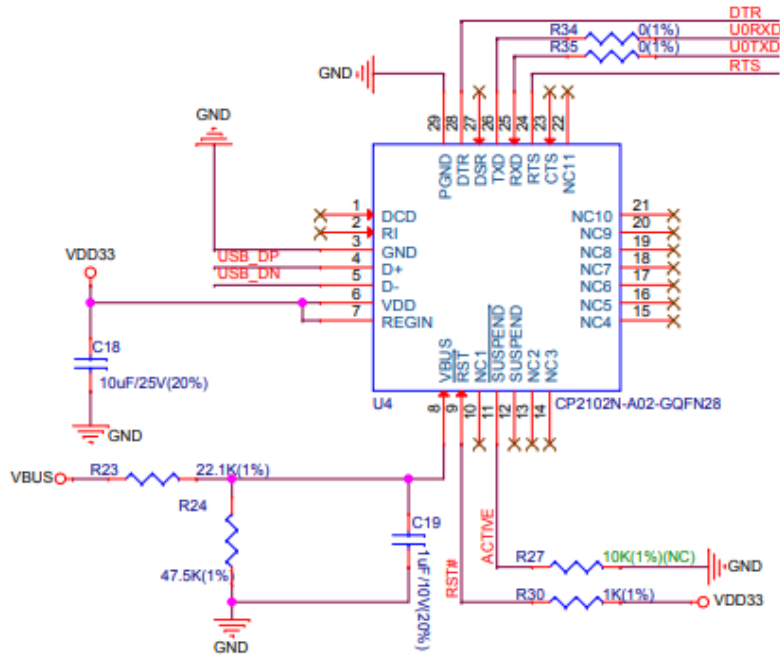
HEADERS



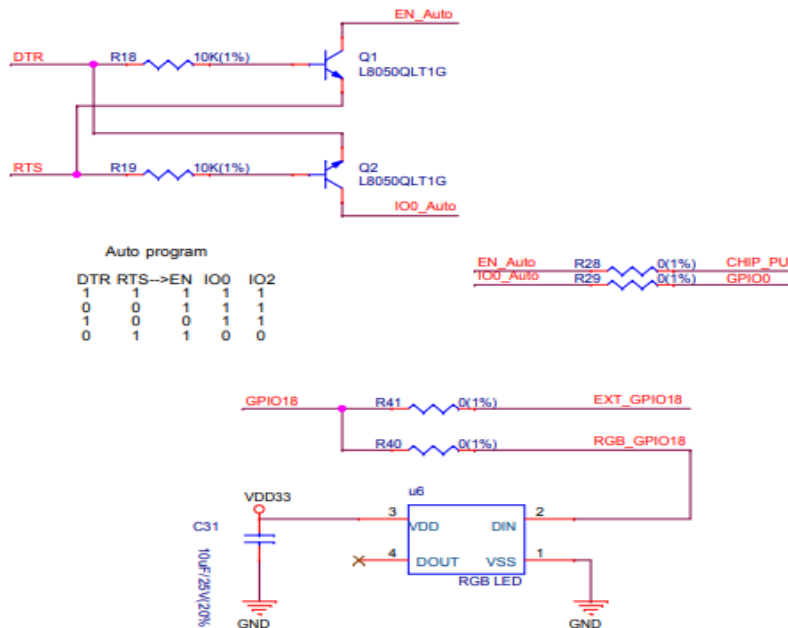
COMUNICACIÓN PUERTO USB A MICRO CONTROLADOR



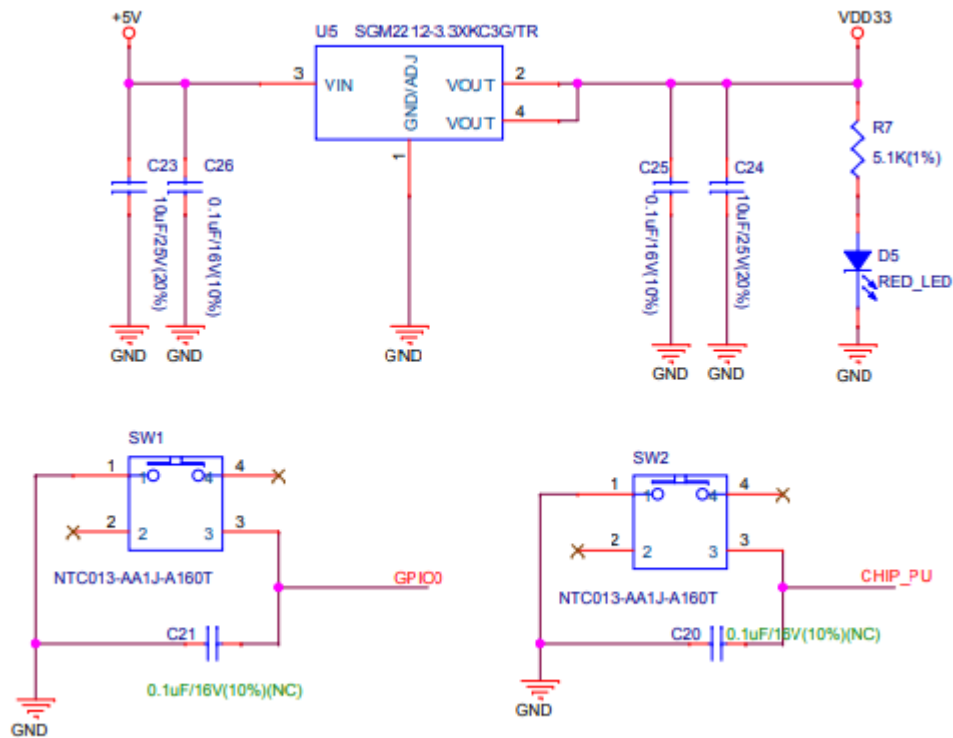
CONEXIÓN USB A UART



LED Y TRANSISTORES

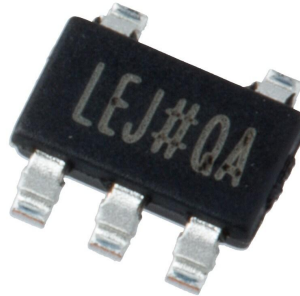


REGULADOR DE VOLTAJE (LDO) Y BOTONES DE RESET Y BOOT



Teniendo todo esto en cuenta se procede a mostrar todos los componentes que van a ser usados en el diseño final, junto con una breve descripción técnica y de su funcionalidad en el circuito, obviamente esto sin mencionar a los componentes pasivos (resistencias y capacitores) y el microcontrolador previamente mencionado y escogido para este diseño (ESP32-S2-SOLO-N4R2)

1. ADP150AUJZ-3.3-R7

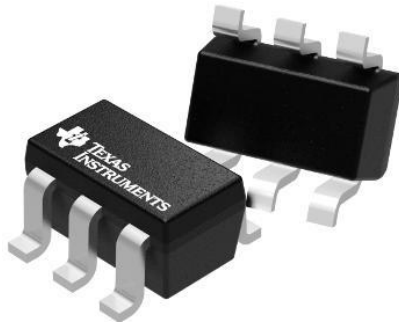


Especificaciones técnicas:

- Número de salidas: 1
- Voltaje de salida: 3.3V
- Corriente de salida: 150mA
- Tensión de entrada mín: 2.2V
- Tensión de entrada máx: 5V

Funcionamiento en el circuito: El **ADP150AUJZ-3.3-R7** es un regulador de voltaje lineal también conocido como LDO, es un tipo de circuito integrado utilizado para garantizar y mantener sobre el tiempo una salida de voltaje constante y estable a partir de una entrada variable. En este caso se va a encargar de regular los 5V de entrada recibidos por el puerto USB y los convertirá en 3.3V estables que llevará al resto de componentes pasivos y a los conectores tipo hembra, macho y por último para la alimentación del microcontrolador.

2. TPD4S009DBVR

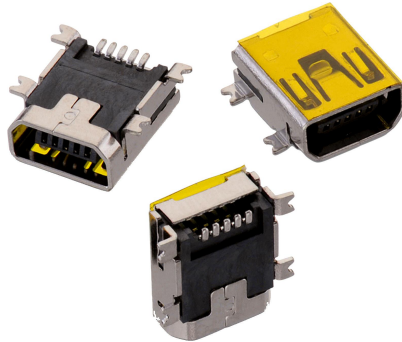


Especificaciones técnicas:

- Número de canales: 4 canales
- Voltaje en funcionamiento: 5V
- Tensión de disparo: 9V
- Polaridad: Unidireccional
- Voltaje de fijación: 20V

Funcionamiento en el circuito: El **TPD4S009DBVR** es un supresor de descargas electrostáticas o también conocido como ESD, es un dispositivo diseñado para proteger componentes electrónicos que sean sensibles a daños causados por descargas electrostáticas. En este caso este componente se encarga de proteger los demás componentes del circuito, así como las interfaces de alta velocidad y diferenciales, como USB.

3. 651305142821



Especificaciones técnicas:

- Estándar: USB 2.0
- Genero: Jack(Hembra)
- Número de contactos: 5 Contactos
- Número de puertos: 1 Puerto

Funcionamiento en el circuito: El **651305142821** es un conector USB tipo AB de montaje superficial. Su función principal es el de proporcionar una interfaz de conexión para dispositivos USB, permitiendo la transmisión de datos y la alimentación eléctrica. En este caso este se encargará de la alimentación de entrada para el circuito que será de 5V que luego pasará por la etapa de regulación de voltaje y también de la transmisión del código para el correcto funcionamiento del circuito

4. W25Q80DVSSIG

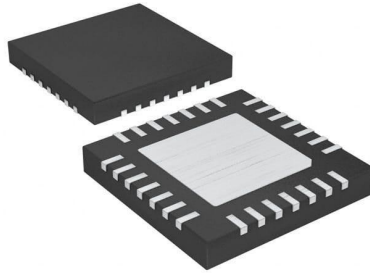


Especificaciones técnicas:

- Tamaño de memoria: 8 Mbit
- Voltaje de alimentación mín: 2.7V
- Voltaje de alimentación máx: 3.6V
- Tipo de interfaz: SPI
- Frecuencia de reloj máxima: 104MHz
- Ancho de bus de datos: 8 bit
- Tipo de memoria: NOR

Funcionamiento en el circuito: El **W25Q80DVSSIG** es un dispositivo de almacenamiento serial no volátil que utiliza tecnología de memoria flash para retener la información incluso cuando la energía se desconecta. En este caso se encargará de almacenar la información de las muestras tomadas para cada examen como una copia auxiliar.

5. CP2102N-A02-GQFN28



Especificaciones técnicas:

- Estándar: USB 2.0
- Velocidad de transmisión de datos: 3 Mb/s
- Voltaje de alimentación mín: 3V
- Voltaje de alimentación máx: 3.6V
- Tipo de interfaz: UART
- Corriente de suministro operativa: 13.7mA

Funcionamiento en el circuito: El **CP2102N-A02-GQFN28** es un chip que actúa como controlador de USB a UART. Este proporciona una interfaz de comunicación entre un dispositivo USB y un dispositivo UART, lo que permite la transmisión de datos entre ambos. En este caso este componente se encargará de transmitir el código de programación diseñado para el buen funcionamiento y recepción de la señal y de las muestras de cada canal

Con todo esto y los demás componentes pasivos como son el led, el diodo rectificador, los conectores, los switches, las resistencias y los capacitores. Se tiene la siguiente lista de componentes:

Listado de componentes

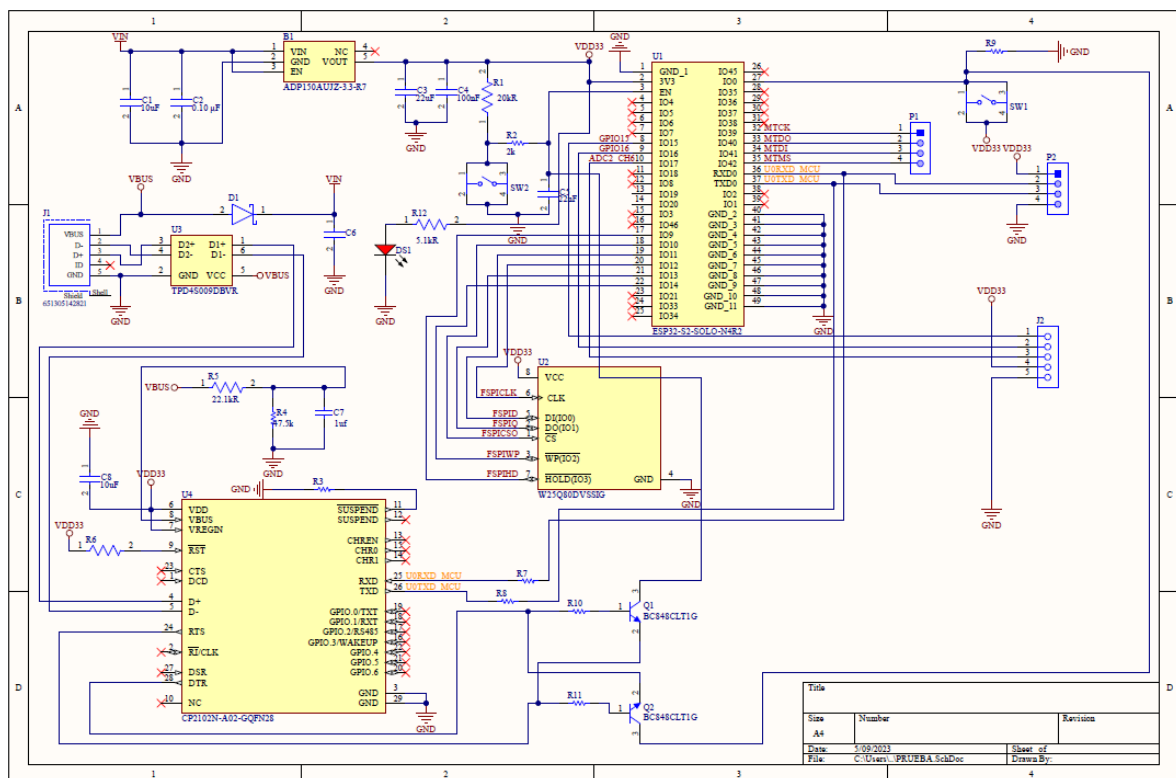
Description	Designator	Quantity	Manufacturer Part Number 1	Manufacturer 1	Supplier 1	Supplier Part Number 1	Supplier Unit Price
150 mA CMOS Line	B1	1	ADP150AUJZ-3.3-R7	Analog Devices	Mouser	584-ADP150AUJZ-3.3R7	1,50\$
for General Purpose	C1, C8	2	GRM21BR61C106KE15L	Murata	Mouser	81-GRM21BR61C106KE15	0,15\$
MLCC - SMD/SMT	C2	1	C1206C104K1RACTU	Kemet	Mouser	80-C1206C104K1R	0,22\$
for General Purpose	C3	1	GRM21BR60J226ME39L	Murata	Mouser	81-GRM21R60J226ME39L	0,23\$
MLCC - SMD/SMT	C4	1	CL03A104KQ3NNNH	Samsung	Mouser	187-CL03A104KQ3NNNH	0,10\$
MLCC - SMD/SMT	C5	1	CL21B223KBANNNC	Samsung	Mouser	187-CL21B223KBANNNC	0,10\$
for General Purpose	C6	1	GRM21BR61E106KA73L	Murata	Mouser	81-GRM21BR61E106KA3L	0,21\$
múltiples (MLCC) - SMD	C7	1	CC0805KXK7R7BB105	Yageo	Mouser	603-CC805KXK7R7BB105	0,14\$
odes & Rectifiers 1.0 A	D1	1	MSS1P4-M3/89A	Vishay	Mouser	625-MSS1P4-M3	0,22\$
0 degC, 2-Pin SMD (0603)	DS1	1	TLMS1100-GS08	Vishay	Mouser	782-TLMS1100	0,46\$
ical, -55 to 125 degC, 1-Pin	J2	1	SSW-105-01-G-S	Samtec	Mouser	200-SSW10501GS	1,70\$
2-COM Type AB SMT	J1	1	651305142821	Würth Electronics	Mouser	710-651305142821	2,49\$
WR-PHD, Pitch 2.54	P1, P2	2	61300411121	Würth Electronics	Mouser	710-61300411121	0,19\$
ansistors - BJT 100mA	Q1, Q2	2	BC848CLT1G	onsemi	Mouser	863-BC848CLT1G	0,14\$
ms 100mW 0603 1% 0603	R1	1	AC0603FR-0720KL	Yageo	Mouser	603-AC0603FR-0720KL	0,10\$
itors - SMD 2 kOhms 1% 0603	R2	1	RC0603FR-072KL	Yageo	Mouser	603-RC0603FR-072KL	0,10\$
, -55 to 155 degC, 0603	R3, R9, R10, R11	4	CR0603-FX-1002ELF	Bourns	Mouser	652-CR0603FX-1002ELF	0,10\$
istors - SMD 1/10watt	R4	1	CRCW060347K5FKEA	Vishay	Mouser	71-CRCW0603-47.5K-E3	0,10\$
22.1K OHM 1% 1/16W	R5	1	RC0402FR-0722K1L	Yageo	Mouser	603-RC0402FR-0722K1L	0,10\$
S 1kΩ 1.00% 0.1W 0603	R6	1	AC0603FR-071KL	Yageo	Mouser	603-AC0603FR-071KL	0,10\$
-55 to 155 degC, 0603	R7, R8	2	RC0603JR-070RL	Yageo	Mouser	603-RC0603JR-070RL	0,10\$
ilm Resistors - SMD 5	R12	1	CR1206-FX-5101ELF	Bourns	Mouser	652-CR1206FX-5101ELF	0,10\$
TACTILE SPST-NO 0.05A	SW1, SW2	2	PTS810SJG250SMTRLFS	ITT C&K	Mouser	611-PTS810SJG250SMTR	0,40\$
-S2R2 with 2 MB PSR	U1	1	ESP32-S2-SOLO-N4R2	Espressif System	Mouser	356-ESP32-S2-SOLON4R2	2,48\$
SH 8MBIT SPI 104MHz	U2	1	W25Q80DVSSIG	Winbond	Mouser	454-W25Q80DVSSIG	0,52\$
Diodes 4Ch ESD Sol	U3	1	TPD4S009DBVR	Texas Instrument	Mouser	595-TPD4S009DBVR	0,95\$
B TO UART BRIDGE C	U4	1	CP2102N-A02-GQFN28	Silicon Labs	Mouser	634-CP2102NA02GQFN28	4,29\$
	TOTAL	35				TOTAL	17,29\$

A esto se le debe sumar el módulo AD8232 previamente antes conseguido, el cual se acoplara por medio de los conectores macho a los conectores hembra que lleva la tarjeta de este proyecto.

Después de tener la lista de componentes se procede a hacer el diseño esquemático del primer prototipo, pues hacer la versión definitiva que lleva

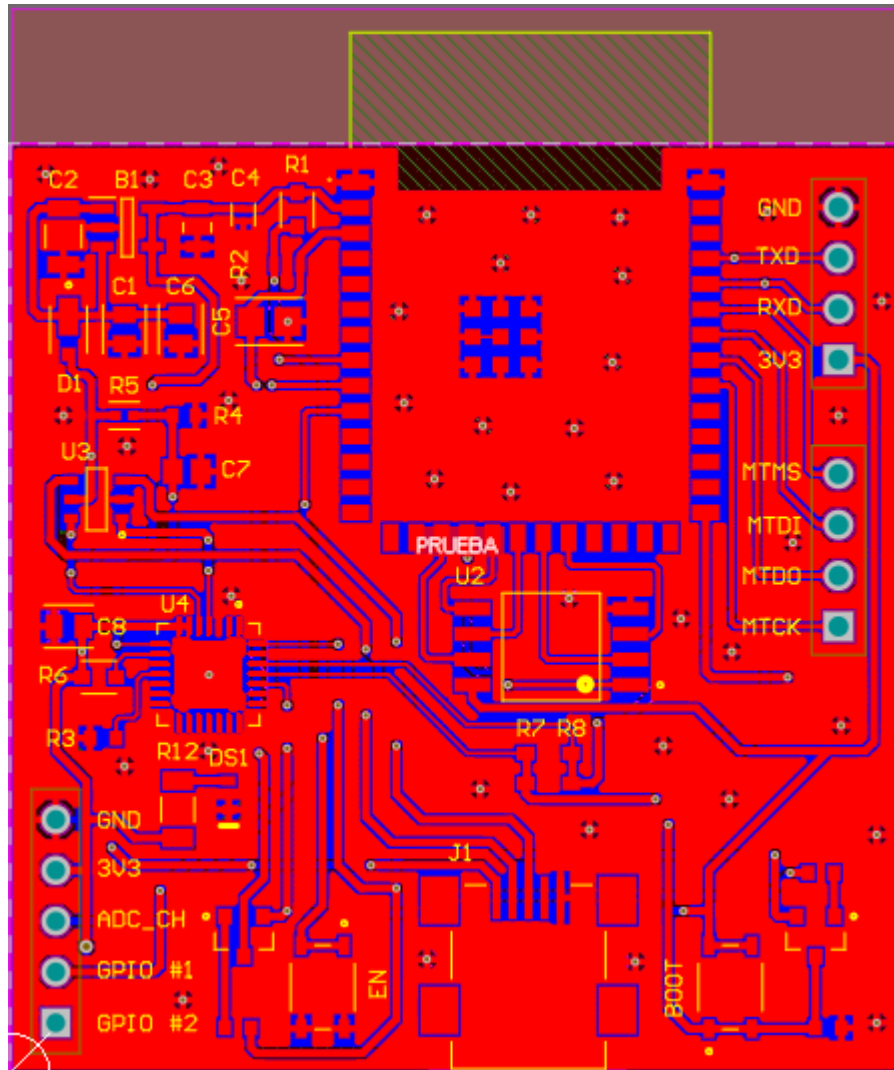
muchos más componentes de los que hay ahora y conexiones más complejas de las actuales significa un gran riesgo y un gasto de dinero, pues este diseño definitivo podría fallar más fácil. Por lo tanto se llegó al siguiente diseño esquemático del circuito:

Diseño Esquemático del prototipo

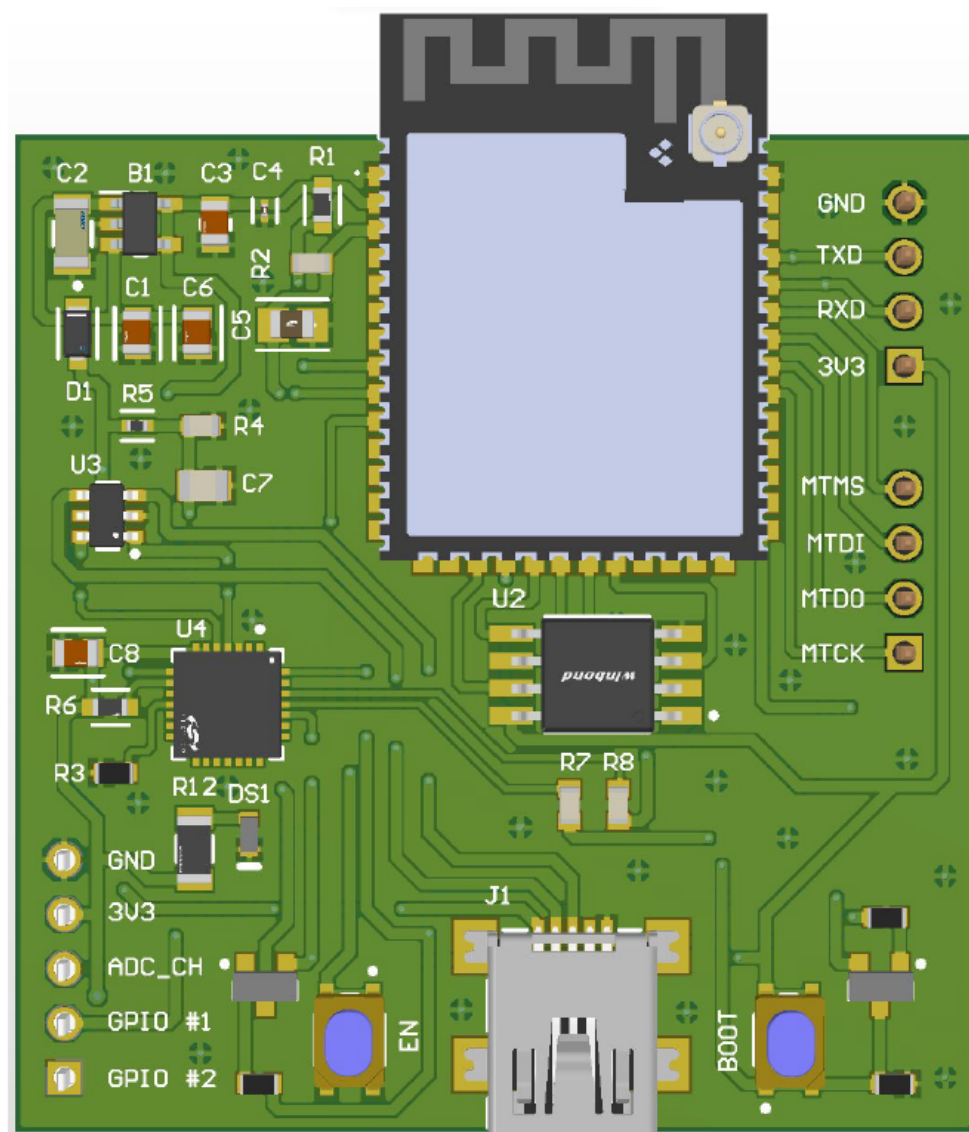


Después de esto se lleva el diseño esquemático al diseño de PCB, el cual es una vista más real de como se verá el diseño de la placa al final del proceso de fabricación dejando así las siguientes imágenes:

DISEÑO PCB DEL PROTOTIPO (PCB RUTEADA)

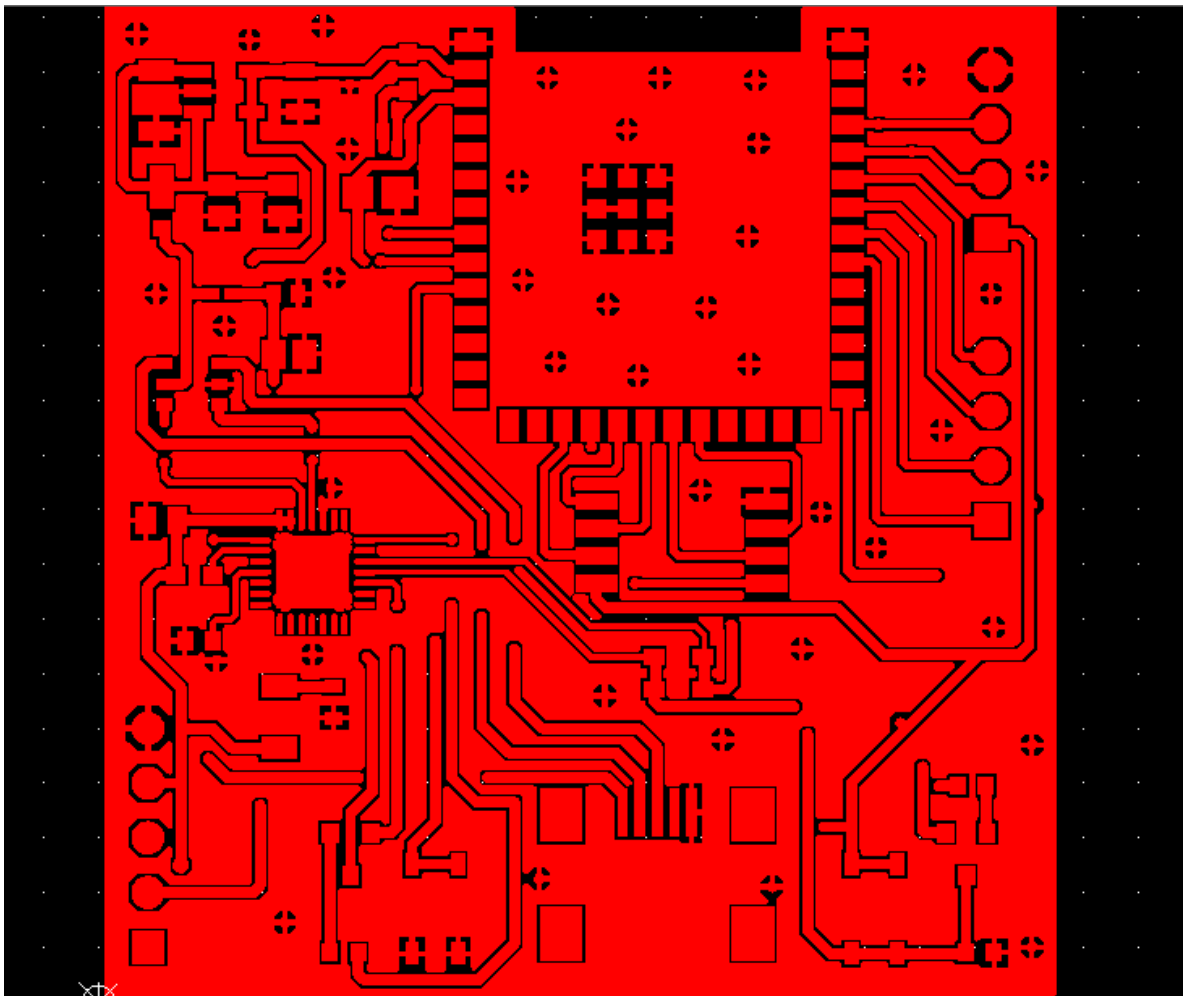


ARCHIVOS DE FABRICACION (PCB 3D View)

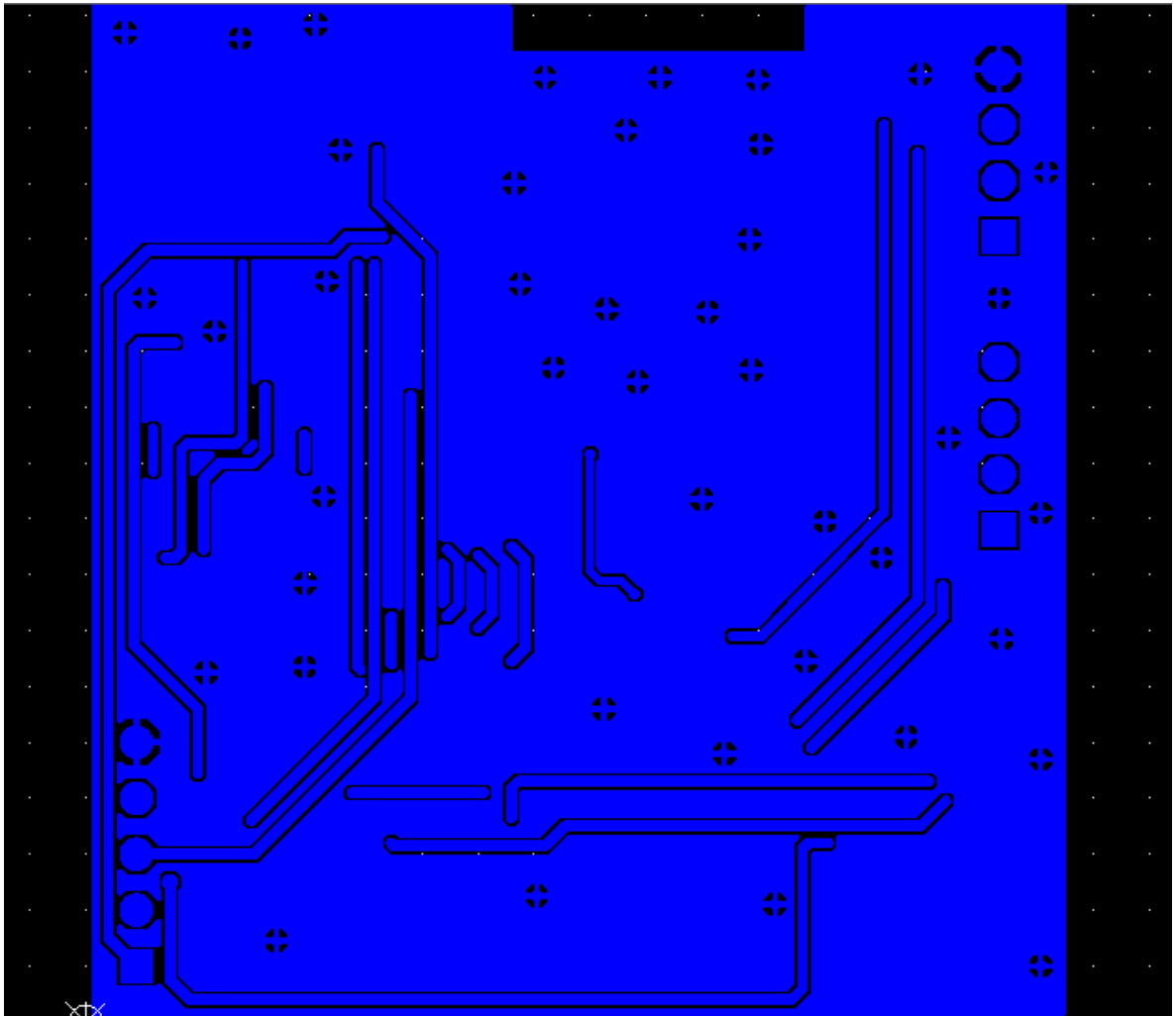


Las siguientes imágenes mostradas abajo enseñan los archivos de fabricación que se usarán para hacer la PCB, entre ellos están los archivos gerber (vista de arriba y vista de abajo), NC drill files (archivo que muestra los puntos donde van las perforaciones o también conocidas como vías)

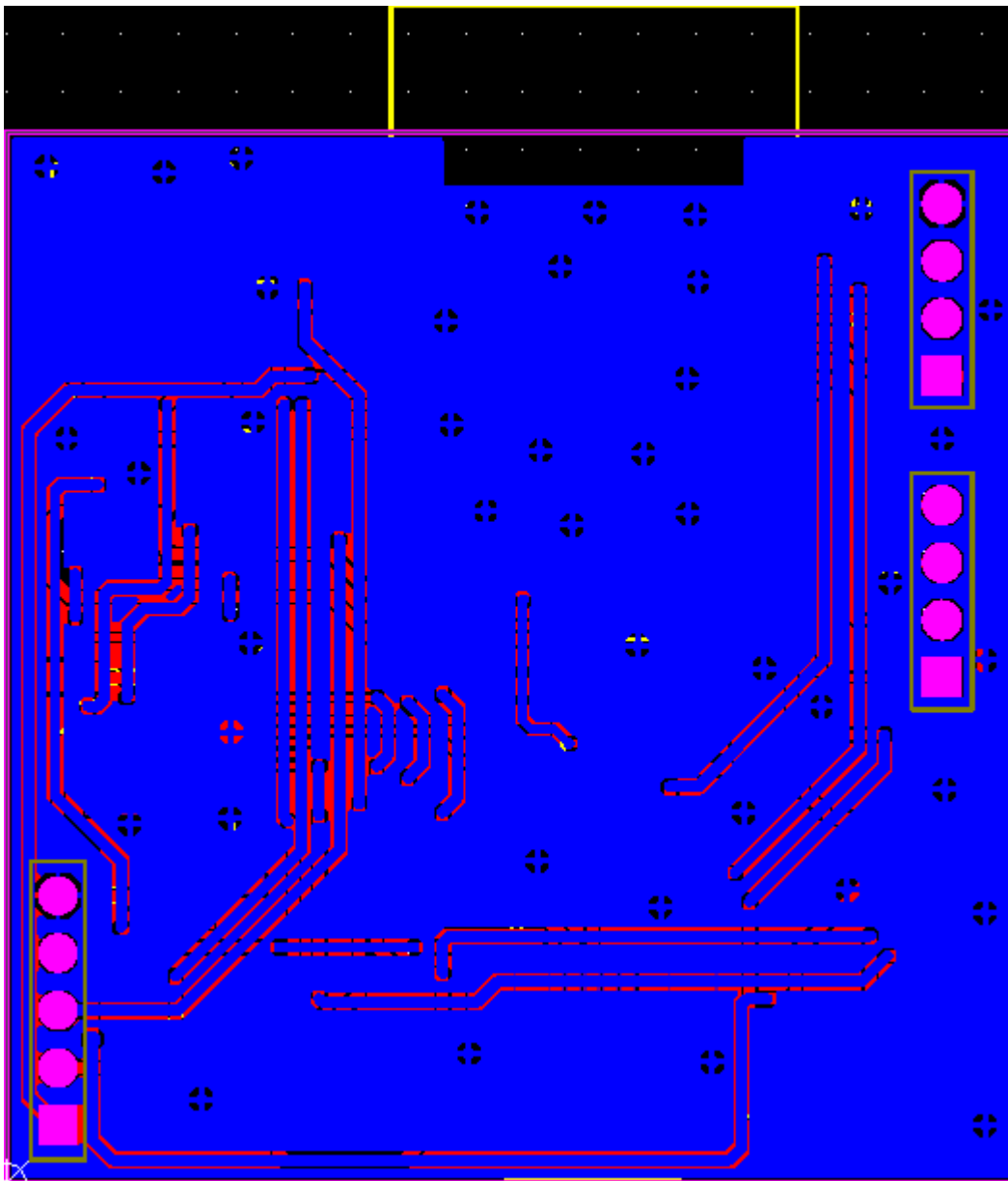
ARCHIVOS DE FABRICACIÓN(Archivos Gerber - Top View)



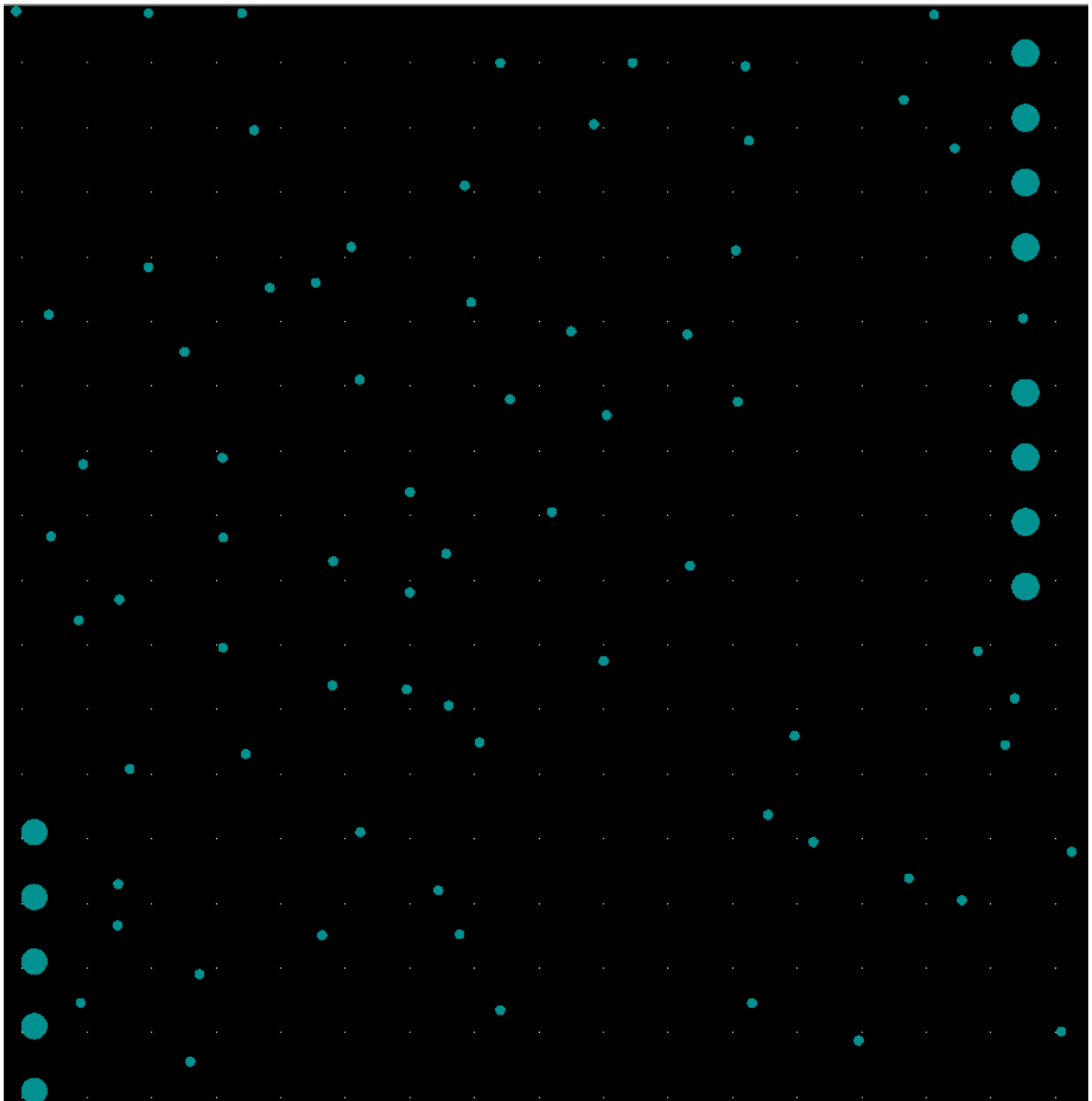
ARCHIVOS DE FABRICACIÓN (Archivos Gerber - Bottom View)



ARCHIVOS DE FABRICACIÓN (Archivos Gerber)



NC DRILL FILES PCB (PERFORACIONES)



PROBLEMAS DE DISEÑO Y/O FUNCIONAMIENTO

En esta sección se describirán y mostrarán los errores y/o problemas que tuvo el diseño para su funcionamiento final encontrados en la tarjeta PCB, analizando diferentes aspectos que se deben tener en cuenta al momento de realizar un diseño, de selección de componentes y la conexión de estos mismos.

En este caso se presentó un problema con el chip encargado de la conversión de USB a UART (CP2102N-A02-GQFN28), el cual es el 5 componente de los que se encuentran en la lista de selección de componentes. Pues a la hora de conectar la tarjeta PCB a un computador este no es capaz de reconocerlo, por lo tanto no se le puede subir un código de programación a la tarjeta por medio del puerto USB para que este sea capaz de muestrear la señal y los datos con la frecuencia y el tiempo exigido.

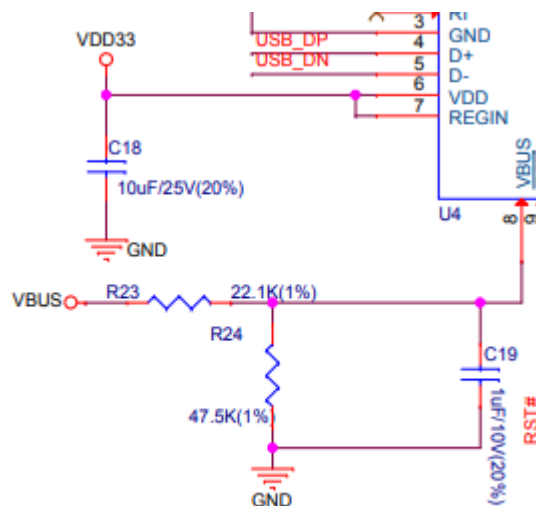
Revisando la hoja de datos del fabricante (Silicon Labs) del chip (CP2102N-A02-GQFN28) este presenta muchos ejemplos de conexión entre este y el conector USB o entre estos dos y un cargador de batería externa, pero mirando más detalladamente nos enseña las funciones de cada pin del chip, entre estos están los siguientes pines de alimentación:

-VDD: Regulador de salida de 5V / Fuente de alimentación de entrada

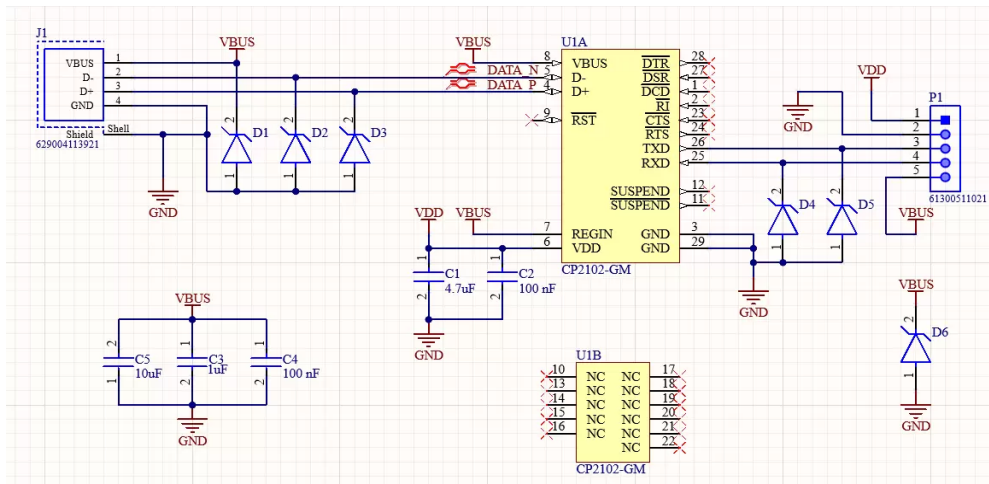
-VBUS: Entrada digital. Entrada de detección VBUS. Este pin debe estar conectado a la señal VBUS de una red USB. Una señal de 5 V en este pin indica una conexión de red USB.

-VREGIN: Regulador de entrada de 5V

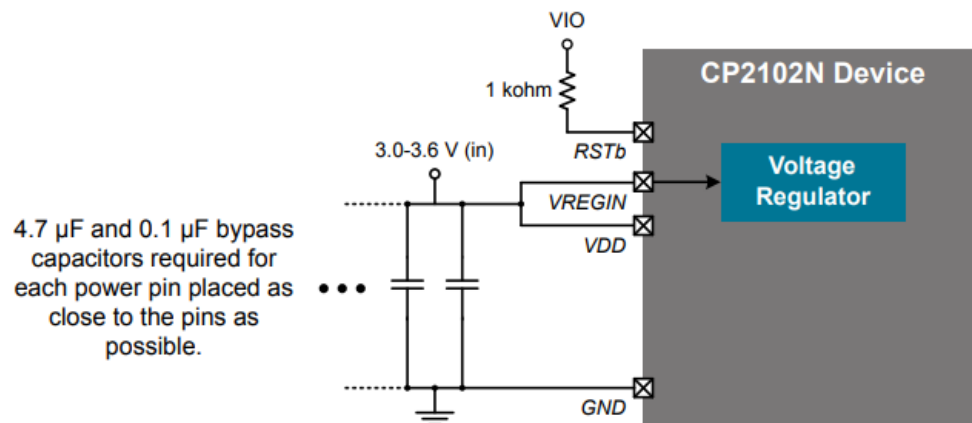
Con la definición de estos pines más los ejemplos de conexión suministrados por el fabricante y teniendo en cuenta el diagrama esquemático que se usó de base para realizar el diseño se puede detectar el error, esto se puede apreciar mejor en la siguiente imagen:



Se puede ver que VDD y VREGIN están conectados entre sí, dando así origen al error que impide reconocer la tarjeta PCB al momento de conectarla a un computador. Pues basado en las referencias encontradas en internet y especificaciones de la hoja de datos, la manera correcta en la que debería ir conectado el chip para una correcta detección sería así:



Aunque también hay una variante en las conexiones que debería funcionar, solo que esta funciona usando el regulador de voltaje interno del chip



Por esta y muchas más razones es obvio y necesario concluir además de resaltar la importancia de revisar a fondo la hoja de datos de fabricante para cada componente, exceptuando obviamente de todo esto a los componentes pasivos que aunque se crea que son conexiones sencillas o explícitas es importante siempre corroborar pues se hace imposible pensar que no habrá ocasiones donde haya cosas distintas a las convencionales. Esto está sujeto a las decisiones del fabricante, ante esto solo queda revisar el diseño y sus conexiones siempre, en especial antes de mandar a fabricar la tarjeta PCB.

CONCLUSIONES

1. Un electrocardiograma fiable como lo es el que se pueden realizar en centros hospitalarios con equipos profesionales creados específicamente para esta función deben tener una duración de 10 segundos (siendo este el más básico) hasta 1 minuto, pero se sabe que mientras mayor sea el tiempo de duración, será más completa y precisa los datos resultantes. Esto dependerá de las necesidades del paciente y de las indicaciones médicas especificadas por el médico especialista
2. La etapa de ganancia y filtrado de la señal es una parte muy importante de un electrocardiógrafo. Ya que esto permitirá que se pueda obtener una amplitud de onda óptima (acorde a las necesidades del paciente), junto con una señal más clara y libre de interferencias, que en este caso es el módulo AD8232 el que se encarga de hacer esta etapa de ganancia y filtrado.
3. La frecuencia de muestreo permite capturar las muestras necesarias de las señales, ya que mientras más alto sea este valor va permitir una mejor representación de la forma de onda del ECG
4. Es importante tener en cuenta que a pesar de que se implementen los anteriores parámetros y otros aparte de esos, este dispositivo no reemplaza el juicio clínico de un médico general o médico especialista. Por lo tanto es importante de que después de registrar algún problema en el electrocardiograma siempre se acuda a un centro médico o un profesional de la salud

5. En principio este proyecto está diseñado para tener la suficiente capacidad de ser un electrocardiógrafo con máximo 9 canales, pero esto podría cambiar haciendo ajustes y adiciones en hardware, teniendo el potencial de convertirse en un electrocardiógrafo de 12 canales, cantidad que lo convertiría en un dispositivo demasiado completo y con mucha fiabilidad, pues dicha cantidad de canales se encuentra relacionada con los dispositivos más confiables y precisos que podemos encontrar en hospitales
6. Este proyecto usa comunicacion wifi, pero perfectamente podría usar cualquier otro protocolo de comunicación como lo es el bluetooth o LoRa, aunque esto va más ligado a los consumos de energía / Rangos / Potencia de la señal, ya que dependiendo de la comunicación que se quiera usar los valores de energía por la transmisión y recepción de datos podría llegar a variar, haciéndolo tal vez una decisión no muy prudente u óptima para el proyecto, sin mencionar la pérdida de paquetes que perjudica la obtención de la señal ECG, haciendo inviable este proyecto.
7. Para concretar este proyecto se llevaron a cabo muchas etapas entre hardware, firmware y software, un ejemplo de esto mencionado es la etapa de selección de componentes, la etapa de diseño, la etapa de fabricación, la etapa de ensamble, la etapa de programación y la etapa de testeo. Todas estas formaron una parte importante para llevar a cabo este proyecto y aunque no se hubiera contado solo con una, el resultado sería un error total.

BIBLIOGRAFÍA

<https://co.mouser.com/ProductDetail/Esspressif-Systems/ESP32-S2-SOLO-N4R2?qs=pBJMDPsKWf0j4qPDQHWJuA%3D%3D>

https://co.mouser.com/datasheet/2/891/Esspressif_Systems_09072021_ESP32_S2_SOLO-2577094.pdf

<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/49611/3560901068959UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6034/T04036.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10560/u258540.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/10420/TESIS%20FINAL.pdf?sequence=1>